

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

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Trabajo Fin de Grado***

**DISEÑO DE MORDAZA CON DIAMETRO DE  
SUJECIÓN VARIABLE**

**(Desing of variable diameter clamping jaw)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autor: Ervin Sebastián Bufu**

**Julio – 2021**



## Resumen del trabajo

La calidad no se aplica solamente al producto final, sino que también, y cada vez tiene más peso, en el proceso de manufacturación.

No invertir el suficiente dinero en sistemas de calidad, puede conllevar a unas pérdidas significativas en chatarra y reprocesos, además de desestimar la marca debido a la liberación de productos de baja calidad en el mercado.

Uno de los sectores con mayor número de normativas aplicables es el de la automoción, que fue pionero en la aplicación de estándares de calidad y sigue manteniendo una posición muy destacada en su compromiso con la mejora continua.

Hoy en día hay más de 150 proveedores y se fabrican más de 90 millones de coches anualmente, siendo el sistema de seguridad, uno de los puntos vitales a la hora de destacar en la competencia.

Los frenos son el sistema de seguridad activa más importante de los vehículos, y por ello hemos decidido diseñar una máquina que controle la calidad de estas piezas y compruebe si cumplen con los requisitos establecidos antes de ponerlas en el mercado.

Esta máquina consistirá en una mordaza que asegure una sujeción perfecta del disco de freno y de un brazo robot que se encargará de tomar varias medidas en diferentes puntos para comprobar la planitud de la zona que se encuentra en contacto con las pastillas de freno, y evitar un desgaste innecesario de los componentes de este sistema de seguridad.

**Abstract**

Quality does not only apply to the final product, but also, and it has more and more weight, in the manufacturing process.

Not investing enough money in quality systems can lead to significant losses in scrap and reprocessing, as well as brand devaluation due to the release of low-quality products on the market.

One of the sectors with the largest number of applicable regulations is the automotive industry, which was a pioneer in the application of quality standards and continues to maintain a very prominent position in its commitment to continuous improvement.

Today there are more than 150 suppliers and more than 90 million cars are manufactured annually, with the safety system being one of the vital points when it comes to standing out from the competition.

Brakes are the most important active safety system in vehicles, and for this reason we have decided to design a machine to control the quality of these parts and check if they comply with the established requirements before putting them on the market.

This machine will consist of a clamp that will ensure perfect clamping of the brake disc and a robot arm that will take several measurements at different points to check the flatness of the area in contact with the brake pads, and avoid unnecessary wear of the components of this safety system.



*Dedicado a mi familia, amigos y compañeros de trabajo, por el comienzo de una nueva etapa en la vida.*

---

## ÍNDICE

1. MEMORIA .....	13
1.1 MARCO DEL PROYECTO.....	13
1.1.1 Técnica neumática.....	13
1.1.2. Características del aire comprimido.....	14
1.1.3 Ventajas del aire comprimido.....	15
1.1.4 Inconvenientes de los sistemas neumáticos.....	17
1.1.5 Principales componentes del circuito neumático .....	17
1.1.6 Sistemas de control .....	23
1.1.7 Sector automoción.....	24
1.1.8 Automatización del sector automoción .....	25
1.1.9 Seguridad en los vehículos.....	27
1.2. ESTADO DE LA TÉCNICA .....	28
1.2.1. Fabricación de piezas.....	28
1.2.2. Calidad de las piezas.....	29
1.2.3 Calidad de la maquinaria .....	31
1.3 Alcance: problema planteado y solución propuesta.....	32
2 REQUISITOS DE DISEÑO.....	35
2.1 Discos de freno .....	35
2.2 Sistema de agarre.....	38
2.3. Condiciones de la prueba de calidad .....	39
2.4. Sensores.....	39
2.5 Actuadores.....	42
3 SOLUCIÓN PROPUESTA .....	44
3.1 Equipo prueba de calidad .....	44
3.2 Mordazas .....	45
3.3 Diagrama de flujo circuito neumático .....	47

---

3.4 Estructura neumático y electromagnético .....	48
3.5 Desglose circuito neumático y electromagnético .....	52
4 Arduino .....	65
4.1 ¿Por qué Arduino? .....	66
4.2 Características .....	67
4.3 Placas Arduino .....	68
4.3.1 Placas oficiales .....	68
4.3.2 Placas no oficiales .....	69
4.3.3 Modelos de Placas más Representativos .....	70
4.4 Elección realizada .....	74
5. Language de programación C++ .....	76
5.1 Programación del Circuito de Control .....	76
5.1.1 Código, versión simplificada. ....	77
5.1.2 Código, versión método iterativo .....	87
6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FABRICANTE DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS .....	93
6.1 ACTUADORES NEUMÁTICO.....	93
6.1.1 Cilindros neumáticos para el movimiento del brazo.....	93
6.1.2 Cilindros neumáticos para el movimiento de las mordazas .....	95
6.2 Sensor de distancia .....	97
6.3 Placa Arduino.....	98
7. MARCADO CE MAQUINÁRIA .....	99
8. PLANOS.....	102
9. PRESUPUESTO .....	113
10. BIBLIOGRAFÍA .....	115

---

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Mecanizado de piezas. Fuente <a href="http://www.smc.es">www.smc.es</a> .....</i>	14
<i>Ilustración 2 Compresor ABAC y simbología neumática. Fuente: <a href="http://www.abacaircompressors.com">www.abacaircompressors.com</a> .....</i>	18
<i>Ilustración 3 Unidad de mantenimiento y simbología. Fuente: <a href="http://www.rdv.com">www.rdv.com</a>.....</i>	19
<i>Ilustración 4 Acumulador de aire comprimido. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a> .....</i>	20
<i>Ilustración 5 Redes de distribución sistema neumático. Fuente <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a> .....</i>	20
<i>Ilustración 6 Válvula distribuidora 5/2. Fuente: <a href="http://www.rscomponents.com">www.rscomponents.com</a>.....</i>	21
<i>Ilustración 7 Cilindro de simple efecto. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a> .....</i>	22
<i>Ilustración 8 Cilindro de doble efecto. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a> .....</i>	23
<i>Ilustración 9 Componentes de un circuito neumático. Fuente: <a href="http://www.iberfluid.com">www.iberfluid.com</a>...</i>	24
<i>Ilustración 10 Principales productores de automóviles. Fuente: <a href="http://www.statista.es">www.statista.es</a>.....</i>	25
<i>Ilustración 11 Cadena de montaje Ford T. Fuente: <a href="http://www.ford.es">www.ford.es</a> .....</i>	26
<i>Ilustración 12 Principales componentes de seguridad de un vehículo. Fuente: <a href="http://www.aprendeemergencias.es">www.aprendeemergencias.es</a>.....</i>	27
<i>Ilustración 13 PLC Simatic S7 – 1500. Fuente: <a href="http://new.siemens.com">new.siemens.com</a> .....</i>	29
<i>Ilustración 14 Norma UNE EN ISO 1101: Especificaciones geométricas de producto. Fuente: <a href="http://www.kupdf.net">www.kupdf.net</a>.....</i>	30
<i>Ilustración 15 Disco de freno. Fuente: <a href="http://www.bmw.es">www.bmw.es</a>.....</i>	32
<i>Ilustración 16 Características Disco de freno BREMBO 09.9772.11. Fuente: <a href="http://www.oscaro.es">www.oscaro.es</a>.....</i>	35
<i>Ilustración 17 Plano dimensional BREMBO 09.9772.11. Fuente: <a href="http://www.bremboparts.com">www.bremboparts.com</a>.....</i>	36
<i>Ilustración 18 Características disco de freno BREMBO 09.C547.11. Fuente: <a href="http://www.oscaro.es">www.oscaro.es</a>.....</i>	36
<i>Ilustración 19 Plano dimensional BREMBO 09.C547.11. Fuente: <a href="http://www.bremboparts.com">www.bremboparts.com</a>.....</i>	37
<i>Ilustración 20 Disco de freno con puntos de referencia marcados.....</i>	39
<i>Ilustración 21 Final de Carrera Denor Serie ME-8104. Fuente: <a href="http://www.adajusa.es">www.adajusa.es</a> ....</i>	40
<i>Ilustración 22 Celula de carga de compresión F1814. Fuente: <a href="http://www.wika.es">www.wika.es</a>.....</i>	41
<i>Ilustración 23 Palpador INELTA LVDT-ISAP-20-50. Fuente:<a href="http://www.sensores-de-medida.es">www.sensores-de-medida.es</a>.....</i>	42
<i>Ilustración 24 Cilindro normalizado DSNU-20-300-P-A. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a> ....</i>	43

<i>Ilustración 25 Cilindro normalizado DSNU-20-100-PPV-A. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a></i>	43
<i>Ilustración 26 Máquina de control de planitud. Brazo móvil acoplado al soporte de las mordazas. ....</i>	44
<i>Ilustración 27 Máquina de control de planitud. Brazo móvil acoplado al soporte de las mordazas. Cilindro desplazamiento en X desplegado.....</i>	45
<i>Ilustración 28 Mordaza disco de 312 mm y 25 mm de espesor. ....</i>	45
<i>Ilustración 29 Mordaza disco de 276 mm y 24 mm de espesor. ....</i>	46
<i>Ilustración 30 Diagrama de flujo del control de calidad de planitud.....</i>	47
<i>Ilustración 31 Sistema neumático movimiento del brazo robot .....</i>	48
<i>Ilustración 32 Sistema neumático movimiento mordazas.....</i>	49
<i>Ilustración 33 Cuadro de mando .....</i>	50
<i>Ilustración 34 Circuito de potencia .....</i>	50
<i>Ilustración 35 Circuito de control .....</i>	51
<i>Ilustración 36 Sistema neumático movimiento mordazas.....</i>	52
<i>Ilustración 37 Disco de freno con puntos de referencia marcados. ....</i>	53
<i>Ilustración 38 Sistema neumático movimiento brazo robot. ....</i>	54
<i>Ilustración 39. Circuito electromagnético de control. ....</i>	56
<i>Ilustración 40. Ramas 3 y 9. Circuito de control. ....</i>	56
<i>Ilustración 41. Rama 14. Circuito de control.....</i>	57
<i>Ilustración 42. Rama 23. Circuito de control.....</i>	58
<i>Ilustración 43. Ramas 31 y 11. Circuito de control. ....</i>	59
<i>Ilustración 44. Ramas 34 y 36. Circuito de potencia. ....</i>	60
<i>Ilustración 45. Rama 14. Circuito de control.....</i>	61
<i>Ilustración 46. Ramas 38, 12 y 32. Circuito de control.....</i>	62
<i>Ilustración 47. Rama 42. Circuito de control.....</i>	63
<i>Ilustración 48. <a href="http://www.tme.com">www.tme.com</a> .....</i>	65
<i>Ilustración 49. Placa Arduino básica, con principales componentes. Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a>.....</i>	68
<i>Ilustración 50. Placa Arduino UNO. Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a> .....</i>	70
<i>Ilustración 51. Placa Arduino Leonardo. Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a> .....</i>	71
<i>Ilustración 52. Placa Arduino Genuino. Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a>.....</i>	72
<i>Ilustración 53. Placa Arduino Nano. Fuente:<a href="http://www.arduino.com">www.arduino.com</a>.....</i>	72
<i>Ilustración 54. Placa Arduino Mega. Fuente: <a href="http://www.arduino.cc">www.arduino.cc</a> .....</i>	73
<i>Ilustración 55. Especificaciones técnicas placa Arduino Mega 2560. ....</i>	75

<i>Ilustración 56. Cilindros neumáticos DSNU-20-300-P-A. Fuente: <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a>...</i>	93
<i>Ilustración 57. Cilindro neumático DSNU-20-100-PPV-A. Fuente <a href="http://www.festo.com">www.festo.com</a>...</i>	95
<i>Ilustración 58. Palpador Neumático INELTA serie LVDT-ISAP-20-K. ....</i>	97
<i>Ilustración 59. Componentes Comerciales.....</i>	113
<i>Ilustración 60. Componentes mecanizados.....</i>	114
<i>Ilustración 61. Presupuesto General.....</i>	114



# 1. MEMORIA

## 1.1 MARCO DEL PROYECTO

Este proyecto se realiza con el departamento de ingeniería eléctrica y energética de la universidad de Cantabria. Entre los numerosos puntos de estudio que se aborda en esta rama de la ingeniería, se encuentran los mecanismos neumáticos controlados por sistemas eléctricos.

### 1.1.1 Técnica neumática

La técnica neumática junto a la oleohidráulica constituye hoy día el complemento ideal de la mecánica en cualquier proceso de producción moderno. Muchos problemas de la ingeniería, a lo largo de los años, han sido resueltos mediante la mecánica tradicional, pero con la incorporación relativamente reciente de las tecnologías se ha conseguido simplificar las máquinas haciendo más sencillos los movimientos, a la vez que se ha logrado cierto grado de automatización de forma sencilla y económica. La automatización se ha convertido con el paso del tiempo en una necesidad cotidiana, que no solo afecta ya a las grandes empresas, sino a cualquier industria independientemente de su capacidad de producción. Se trata de sustituir los procesos manuales por mecanismos y máquinas automáticos, que eviten en lo posible la participación directa del hombre para lograr mayor rapidez y seguridad en los sistemas productivos.

La neumática es la rama de la mecánica que estudia el equilibrio y movimiento de los flujos gaseoso. El aire, o cualquier otro gas que presente mejores cualidades para un tipo específico de mecanismo, tiene la capacidad de comprimirse al aplicarle presión, mantener esta energía y devolverla en el momento en el que se le permite expandirse. Debido a esta propiedad, la neumática es una de las tecnologías más utilizadas para automatizar procesos repetitivos.

Al resultar muy flexible y capaz de ser utilizada en prácticamente cualquier tipo de industria, se utiliza en un amplio abanico de campos, de los que cabe destacar: máquinas y mecanismos diversos en la industria en general, elevación y transporte, industria alimentaria, manipulación y robotización, medida y control, automoción...

Es necesario advertir también que no siempre puede ser utilizada en forma de transmisión de energía ya que tiene ciertas limitaciones. La mayor de ellas es, por supuesto, la fuerza. Con la neumática no es conveniente sobrepasar los 30.000 N (3.000 Kp) de fuerza directa. Otra limitación importante es el ruido; existen actividades como por ejemplo centros hospitalarios, donde su uso está muy limitado debido al ruido que producen los escapes de aire de los diferentes componentes.



*Ilustración 1. Mecanizado de piezas. Fuente [www.smc.es](http://www.smc.es)*

### **1.1.2. Características del aire comprimido**

El aire comprimido empleado en la industria es el aire de la atmósfera sometido a presiones de hasta unos 12 bar aproximadamente. Es una energía fácilmente transportable, pero no se recomiendan grandes distancias en su distribución debido a las pérdidas de carga que se originan en tuberías y racores de unión. Se puede almacenar en depósitos que eviten el continuo funcionamiento de los compresores con lo cual, se alarga la vida de estas máquinas.

El aire es un gas casi perfecto que se caracteriza esencialmente por su fluidez, compresibilidad y elasticidad.

- La fluidez permite a las partículas no ofrecer resistencia apenas al deslizamiento.

- La compresibilidad hace que una determinada cantidad de gas pueda reducir su volumen si esta se encuentra en un recinto herméticamente cerrado.
- La elasticidad permite que, al comprimirlo en ese mismo recinto, ejerza sobre sus paredes una determinada presión normal a la superficie de contacto.

De estas cualidades esenciales destaca la compresibilidad, que la diferencia de los líquidos empleados en oleohidráulica. Así, al someter a compresión el aire encerrado en un cilindro, el pistón cede y, al igual que un resorte helicoidal mecánico, la deformación experimentada será directamente proporcional a la fuerza aplicada. El aire constituye un excelente resorte que puede ser utilizado como un elemento amortiguador, con el volumen sin escape posible o bien escape regulado.

Los mecanismos accionados con este medio poseen cierta elasticidad y capacidad de amortiguamiento. Esta cualidad resulta negativa en un gran número de casos, debido precisamente a este retroceso del pistón, si se supera una determinada fuerza de reacción. También es problemática la imposibilidad de detener la carrera del cilindro cuando este deja de ser alimentado. Si el caudal de alimentación del aire se detiene bruscamente, el cilindro no para, sino que sigue avanzando hasta que las fuerzas de una y otra cámara se igualan o bien un tope mecánico lo detiene.

Otra de las características que ofrece este medio de transmisión es que el aire comprimido es antideflagrante y, por tanto, insustituible en ambientes explosivos o con riesgos de incendio. Puede también regularse el flujo con facilidad, simplemente estrangulando el paso, y regular los esfuerzos de los elementos de trabajo, controlando la presión del fluido de una forma muy simple.

### **1.1.3 Ventajas del aire comprimido**

Dadas las características que hemos explicado anteriormente, es fácil considerar todas las aplicaciones que tienen los sistemas neumáticos hoy en día en el sector de la industria y las ventajas que estos aportan en comparación con los sistemas eléctricos o hidráulicos. Las principales ventajas son:

- Fácil acceso: Hay un suministro ilimitado de aire en la atmosfera que puede ser utilizado para producir aire comprimido. En la mayoría de los casos este aire debe ser filtrado antes de entrar al sistema, pero evitar la contaminación de este, aunque esto no supone un grave inconveniente. También posibilita su

almacenamiento en grandes volúmenes y después de su uso, puede liberarse directamente a la atmósfera sin necesidad de procesamiento.

- Alta durabilidad y fiabilidad: en comparación con los componentes eléctricos y electrónicos, los componentes del sistema neumático son más duraderos y fiables, ya que la mayoría son componentes mecánicos que trabajan a presiones controladas.
- Diseño simple: Los diseños de los componentes del sistema neumático son relativamente simples. Esto no implica que no se puedan realizar circuitos complejos, ya que los componentes como las válvulas, se pueden desarrollar lo necesario para formar circuitos más avanzados.
- Alta adaptabilidad a ambientes hostiles: Como hemos mencionado anteriormente en las características del aire comprimido, al tratarse de un compuesto antideflagrante, se ve menos afectado por las altas temperaturas, el polvo y el ambiente corrosivo.
- Seguridad: Los sistemas neumáticos son más seguros que los sistemas eléctricos ya que la sobrecarga de este no sobrecalienta ni quema los componentes, con una desconexión del suministro de aire es suficiente para detener todo el sistema.
- Fácil selección de velocidad y presión: Las velocidades de movimiento rectilíneo y oscilante de los sistemas neumáticos son fáciles de ajustar, en función de la presión y el volumen de aire comprimido.
- Respetuoso con el medioambiente: Los sistemas neumáticos son limpios y no producen contaminantes, con un tratamiento adecuado del aire de escape se puede utilizar incluso en entornos que requieren de un alto nivel de limpieza.
- Económico: los componentes de estos sistemas son bastante económicos y como además son muy duraderos, el coste del mantenimiento es significativamente menor que el de otros sistemas.
- Instalación sencilla rápida y limpia, además de un fácil montaje y mantenimiento.

El aire comprimido tiene muchas más aplicaciones que no plantearemos en este proyecto, como las de métodos de corte, suministro para equipos de minería o atracciones, consiguiendo grandes velocidades en poco tiempo.

---

#### 1.1.4 Inconvenientes de los sistemas neumáticos

Como todos los sistemas, los neumáticos también están sujetos a varias limitaciones:

- Humedad: el aire, al salir del compresor, puede tener una alta temperatura, lo que hace que al recorrer la línea de distribución se presente enfriamiento y se produzca condensación, traduciéndose en presencia de agua en las tuberías. Este es uno de los más graves inconvenientes que presenta el trabajo con aire comprimido, pues el contenido de humedad puede afectar los dispositivos de trabajo (actuadores, válvulas, etc.).
- Ruido: la operación de los elementos de trabajo ocasiona gran cantidad de ruido lo que obliga al uso de silenciadores en los escapes de las válvulas, incrementando costos. Esto no elimina todo el ruido, pero lo disminuye. También el compresor produce mucho ruido, razón por la cual se debe instalar en un lugar apartado del área de producción de la empresa.
- Limitación de fuerza: cuando se trabaja con aire comprimido no se logran fuerzas muy grandes, lo que obliga a utilizar otras alternativas como la hidráulica cuando se requiere aplicación de grandes fuerzas. La fuerza máxima es de 30000N, aproximadamente.
- Difícil detección de fugas: las fugas normalmente se detectan por el sonido que producen, pero en una industria hay gran presencia de ruido, lo que dificulta el poder determinar que hay presencia de fugas. Esto genera caídas de presión y disminución en el caudal, obligando al compresor a trabajar más tiempo incrementando los costos en el consumo de energía.
- Costosa producción: el compresor consume mucha energía, por eso se hace muy costosa la generación de aire comprimido.

#### 1.1.5 Principales componentes del circuito neumático

A pesar de todas las utilidades que le podemos dar a estos sistemas, todos deben tener unos componentes básicos para asegurar su correcto funcionamiento. Un sistema neumático complejo posee elementos que permitan comprimir el aire tomado del entorno (compresores), tratarlo y adecuarlo para su uso (filtro con o sin purga para eliminar impurezas, regular su presión y lubricar para reducir rozamientos y desgastes

en las piezas móviles), almacenarlo (depósito), distribuirlo (red de tuberías), controlarlo (válvulas) y utilizarlo (actuadores neumáticos).

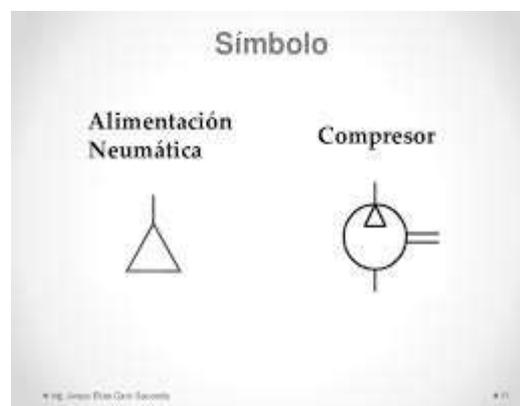
Viendo de una manera más detallada estos elementos tenemos:

### **Compresores**

Es el equipo encargado de coger el aire del entorno en el que se encuentra y reducir su volumen lo que genera, según la ley de gases ideales, un aumento de la presión.

Existen diferentes tipos de compresores en función de su principio de funcionamiento:

- Compresores volumétricos: son los más utilizados. Su principio de funcionamiento se basa en introducir aire en una cámara cerrada, reduciendo su volumen y aumentando la presión, normalmente utilizando pistones, tornillos, palas...
- Compresor dinámico o turbocompresor: Son aquellos que incorporan elementos rotativos que se encargan de aportar energía cinética al aire. Su funcionamiento se basa en aumentar la velocidad del aire que aspira con lo cual aumenta su presión estática.



*Ilustración 2. Compresor ABAC y simbología neumática. Fuente:*

*[www.abacaircompressors.com](http://www.abacaircompressors.com)*

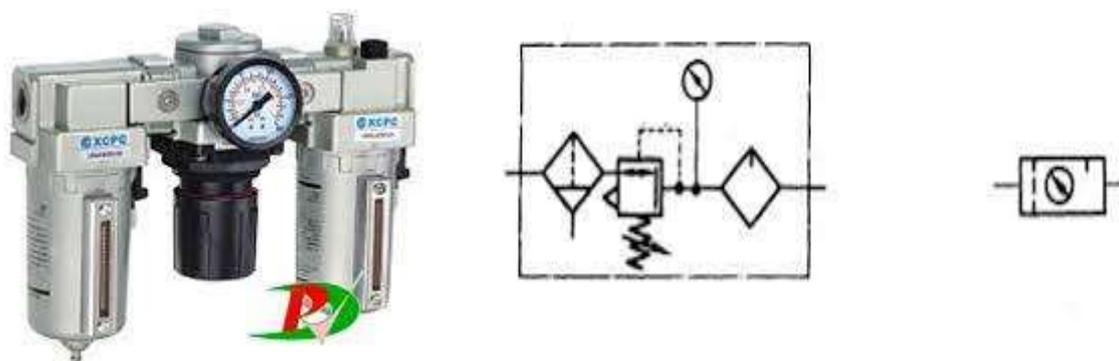
### **Unidad de mantenimiento**

Se denomina así al conjunto de equipos y elementos del sistema encargados de acondicionar el aire para su uso. El aire aspirado por el compresor contiene partículas de polvo, óxidos y otras sustancias, además de vapor de agua. Debemos tratar de

eliminar estos compuestos para que el funcionamiento de todos los elementos de la instalación sea el adecuado.

Generalmente esta formado por los siguientes componentes:

- Filtro de aire: Su misión es eliminar las impurezas del aire además de evitar el paso del agua que se condensa debido a la reducción del volumen de este tras su paso por el compresor. Generalmente se encuentran dotados de una válvula de purga en su parte inferior que permite eliminar dicha agua conforme se va acumulando.
- Regulador de presión: Se encarga de estabilizar el aire comprimido a una presión determinada y lo más constante posible para ser utilizada.
- Lubricador: Se encarga de nebulizar (o pulverizar) aceite lubricante en el aire comprimido que es distribuido al resto de la instalación neumática. Llegando a las válvulas de control y actuadores neumáticos permite reducir los rozamientos provocados en piezas móviles y evita la oxidación de estas.



*Ilustración 3. Unidad de mantenimiento y simbología. Fuente: [www.rdv.com](http://www.rdv.com)*

Cabe destacar la importancia de la unidad de mantenimiento debido a que el aire que pasa a través de los conductos es el componente más importante a la hora del desgaste del equipo. El aire tiene contacto directo con todos los elementos del equipo y, al trabajar con presiones elevadas, puede desencadenar en velocidades también de valores muy elevado que harían de las impurezas un peligro real para los componentes del equipo neumático. Por otro lado, con una buena lubricación, aumentaríamos la vida útil de estos elementos además de proporcionar fluidez y reducir los ruidos en los movimientos realizados por válvulas, actuadores ...

### Depósito acumulador

Permite disponer de una reserva de aire comprimido en su interior con el fin de mantener el consumo de la red y evitar caídas de presiones bruscas en la instalación. Deben disponer de una válvula de purga para evacuar el agua de su interior.

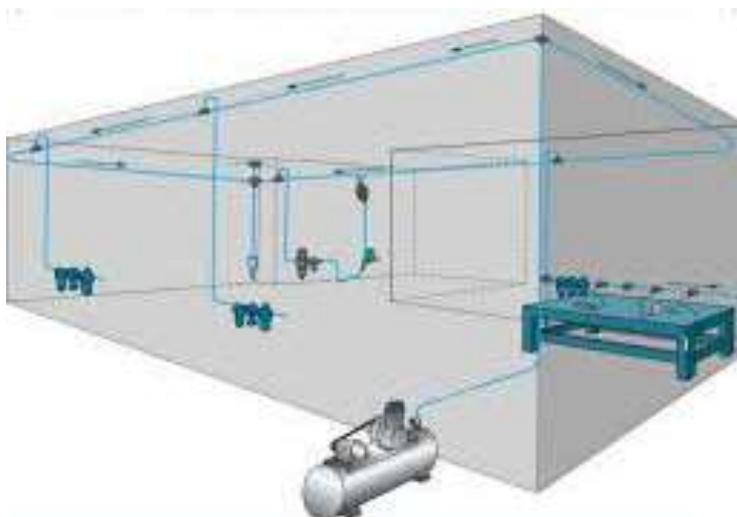


*Ilustración 4. Acumulador de aire comprimido. Fuente: [www.festo.com](http://www.festo.com)*

### **Redes de distribución**

Se utiliza para distribuir el aire comprimido hasta los diferentes elementos terminales. La distribución general suele realizarse con tuberías rígidas de acero, cobre e incluso polietileno, mientras que las conexiones finales se suelen realizar con tuberías flexibles. El diámetro de los mismos debe dimensionarse adecuadamente.

La red de tuberías rígidas se suele diseñar e instalar con una pequeña pendiente en los tramos horizontales en el sentido del flujo de aire para facilitar la expulsión de las gotas de agua y partículas arrastradas.



*Ilustración 5. Redes de distribución sistema neumático. Fuente [www.festo.com](http://www.festo.com)*

### Regulación y control. Válvulas neumáticas.

El aire comprimido se utiliza para mover cilindros y/o motores neumáticos (actuadores), por lo que estos movimientos deben ser gobernados por un sistema de regulación y control en función de unas determinadas condiciones.

Las válvulas neumáticas son los elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión y el caudal del aire comprimido.

Dichas válvulas se clasifican en:

- Válvulas distribuidoras
- Válvulas antirretorno
- Válvulas selectoras
- Válvulas de simultaneidad
- Válvulas de regulación de caudal
- Válvulas temporizadoras

Todos estos elementos nos permiten crear circuitos neumáticos muy elaborados que nos ofrezcan todo tipo de servicios cumpliendo gran variedad de premisas.

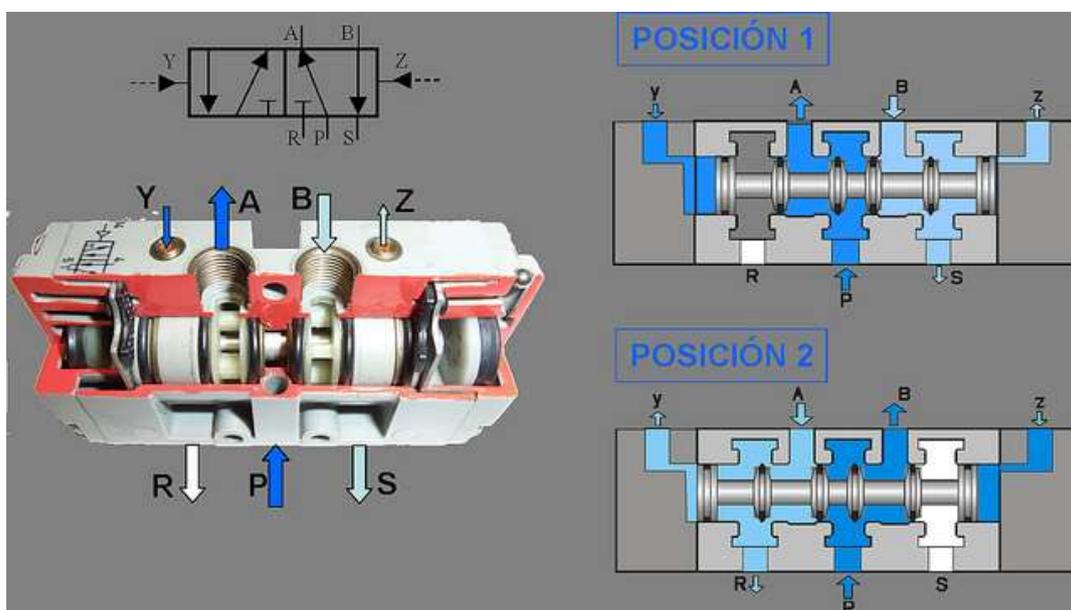


Ilustración 6. Válvula distribuidora 5/2. Fuente: [www.rscomponents.com](http://www.rscomponents.com)

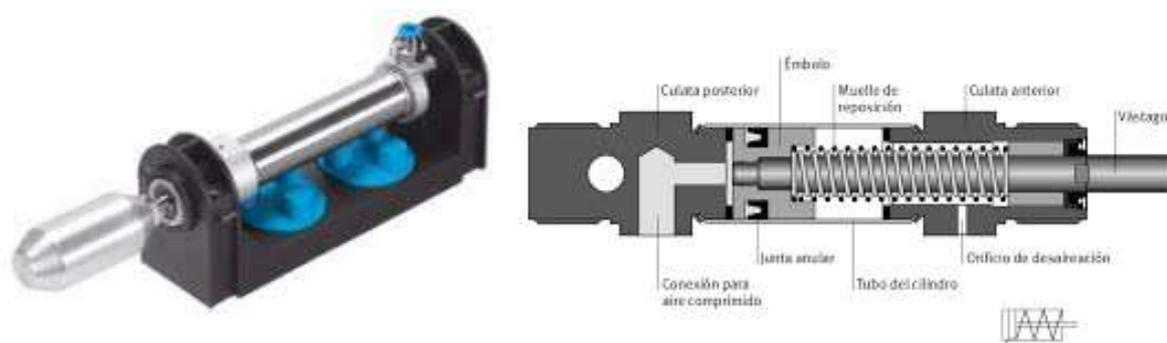
## Actuadores

Los actuadores más comunes son los motores y los cilindros neumáticos, que se encargan de transformar la energía neumática en energía mecánica.

**Motores:** En su interior disponen de una rueda con palas. Cuando el aire comprimido incide sobre las palas provoca el giro de estas y, por tanto, el eje al que están unidas, provocando el movimiento rotativo del motor. Se emplea bastante en consultas dentales o en talleres mecánicos.

**Cilindros:** El funcionamiento de los cilindros neumáticos se basa en el movimiento de avance y retroceso de un pistón o émbolo dentro de un cámara provocado por la entrada o salida del aire comprimido. Por ello son denominados elementos lineales. Entre la gran variedad de cilindros que existen, los dos más básicos que además son origen de los demás son:

**Cilindro de simple efecto:** Disponen de una sola toma o conexión para la entrada y salida del aire comprimido. Al entrar empuja el embolo haciendo avanzar el vástago. El movimiento de retroceso del vástago es provocado por un muelle, en el momento en que el aire contenido en su interior deja de ejercer presión al salir por la válvula de escape.



*Ilustración 7. Cilindro de simple efecto. Fuente: www.festo.com*

**Cilindro de doble efecto:** Disponen de dos conexiones. Si el aire entra por una de ellas provoca el avance del vástago y si entra por la toma opuesta provoca el retroceso del vástago. Si durante el proceso de avance o retroceso dejamos de introducir aire en la

vía correspondiente el cilindro se detiene. Lo mismo ocurriría si se conectase el aire por las dos entradas a la vez.

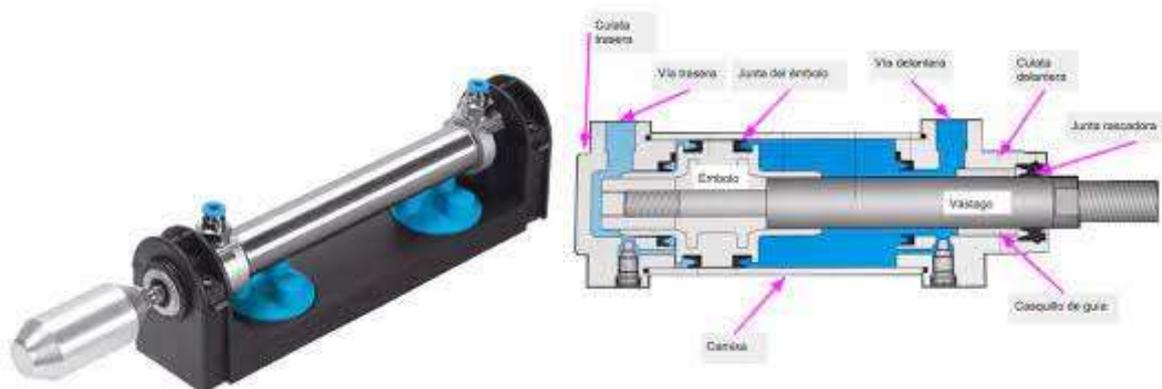


Ilustración 8. Cilindro de doble efecto. Fuente: [www.festo.com](http://www.festo.com)

### 1.1.6 Sistemas de control

Necesita de un sistema de control que determine los movimientos a realizar por el mecanismo. Los movimientos se obtienen mediante válvulas direccionales o distribuidoras y tubos, que son los que hacen que un vástago avance o retroceda a base de inyectar aire comprimido en la cámara correspondiente del cilindro. Realizando una analogía eléctrica, harían de interruptores, conmutadores, resistencias... Logrando de esta manera un control minucioso de la fuerza generada por el sistema neumático. También se tienen en cuenta los elementos captadores de señal, como microválvulas neumáticas, finales de carrera eléctricos, temporizadores, con los que obtenemos información en tiempo real acerca del estado de nuestro circuito. Por lo tanto, podemos obtener complejos circuitos neumáticos llenos de elementos que tendrán uno u otro papel en el desempeño de la transmisión de energía.

Gobernando a todos estos elementos neumáticos que hemos mencionado suele haber un circuito auxiliar eléctrico que genere los impulsos necesarios para activar o desactivar los componentes, aunque actualmente, los circuitos son electrónicos y las ordenes del sistema se realizan a través de la programación de autómatas, con multitud de entradas y salidas que permiten un seguimiento en tiempo real del comportamiento del circuito neumático.

Estos circuitos neumáticos se usan en el proceso de fabricación de multitud de diferentes productos gracias a sus prestaciones y a la durabilidad de sus componentes. Una de las principales aplicaciones se da en la industria de la automoción.



*Ilustración 9. Componentes de un circuito neumático. Fuente: [www.iberfluid.com](http://www.iberfluid.com)*

### 1.1.7 Sector automoción

De acuerdo con un estudio hecho en 2019 por WardsAuto, existen 1.42 mil millones de vehículos en el planeta, de los cuales alrededor del 2% son eléctricos. Esta cantidad aumenta cada año, y aunque es verdad que en 2020 la venta de vehiculas ha descendido considerablemente debido a la pandemia, la venta se estima en unos 90 millones de vehículos nuevos cada año. Todos estos automóviles son creados en fabricas automatizadas, que son capaces de producir hasta 19,9 coches por minuto, como las fábricas de Volkswagen y Toyota.

Actualmente, además de los principales fabricantes europeos, estadounidenses o japoneses, existen cerca de 155 marcas de automóviles por todo el mundo y cientos de fábricas repartidas por todo el planeta.

Dado que este sector es muy demandado, los fabricantes utilizan máquinas autónomas para realizar los procesos de fabricación, ya que la precisión y el tiempo que esto aporta se hace indispensable para competir en el mercado automovilístico.

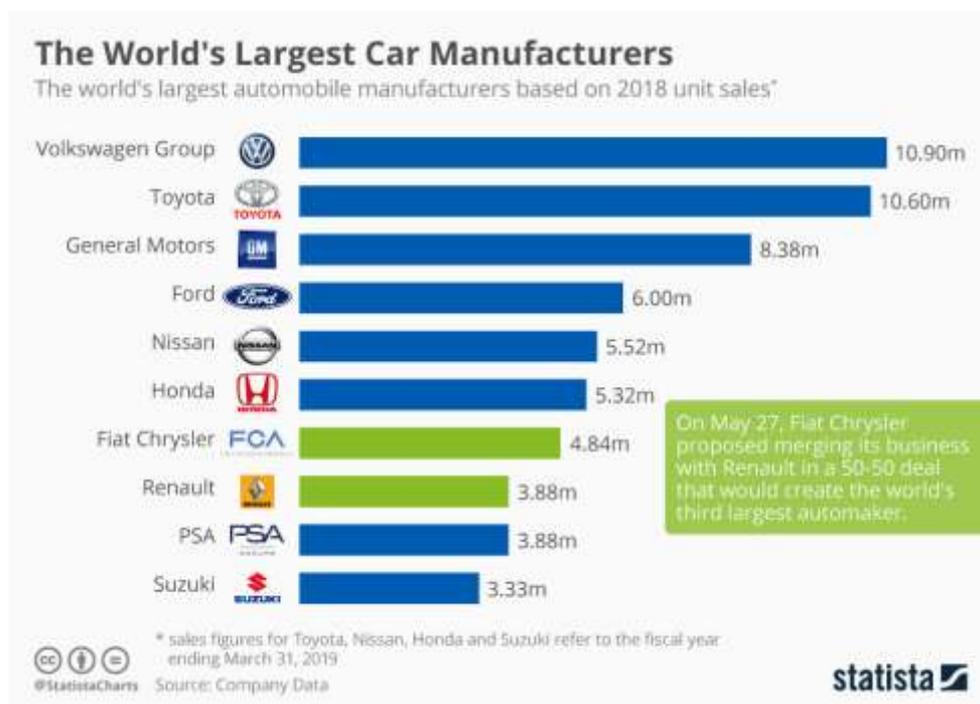


Ilustración 10. Principales productores de automóviles. Fuente: [www.statista.es](http://www.statista.es)

### 1.1.8 Automatización del sector automoción

Para comprender el origen de las fábricas automatizadas, debemos retroceder en el tiempo hasta el siglo XVIII. Es este siglo, en Inglaterra, cuando se dieron los primeros pasos hacia la fabricación automatizada. La revolución tuvo lugar en el sector textil - se introdujeron potentes máquinas mecánicas y cambió la forma de trabajar de la gente. Los primeros sistemas automatizados no se parecían en nada a las soluciones modernas; tenían funciones muy sencillas y todavía requerían que la gente las manejara. Sin embargo, fue en el siglo XIX, con el comienzo del período del vapor y la electricidad, cuando se crearon los primeros motores a vapor, y los antepasados de los actuales vehículos. Fue un período de nuevas preguntas sobre el futuro de los negocios y de drásticos cambios sociales que nacieron de los nuevos retos tecnológicos. Todavía no era el momento de la robotización, pero a partir de ese momento, la relación hombre-máquina comenzó a ser vista de manera diferente.



*Ilustración 11. Cadena de montaje Ford T. Fuente: [www.ford.es](http://www.ford.es)*

La Tercera Revolución Industrial fue el resultado de los cambios políticos y la inestabilidad entre Estados Unidos y Rusia durante la Guerra Fría. Durante este periodo, la demanda de bienes antes considerados de lujo creció rápidamente, impulsada por el capitalismo y el consumismo estadounidenses. A pesar de sus desafortunados orígenes, la llamamos revolución científico-técnica. Así comenzó el proceso de desarrollo de la producción en masa de máquinas y bienes, así como la construcción de fábricas modernas y, en nuestro caso, el uso de robots para fabricar coches. También ha habido un cambio de mentalidad por parte de los fabricantes, que han empezado a centrarse en la localización de la producción en zonas con potencial demográfico. Se crearon centros dedicados (tecnópolis) cerca de universidades de renombre, que siguen contribuyendo al desarrollo, como Silicon Valley. La tercera revolución trajo la tecnología a la vanguardia. Pero aún estaban por llegar tecnologías aún mejores, concretamente la Industria 4.0 y la robotización total en muchos ámbitos de la producción.

Desde hace décadas hasta el presente, las innovaciones tecnológicas han surgido de manera constante alcanzando unos niveles de prestaciones, confort y seguridad inimaginables en los inicios de la industria automovilística.

### 1.1.9 Seguridad en los vehículos

El objetivo era crear vehículos más rápidos y seguros. Al aumentar el número de coches que transitaban por las carreteras, los accidentes de tráfico empezaron a convertirse en un grave problema, por lo que las compañías de coches empezaron a fabricar vehículos más seguros. En primer lugar, surgieron los cinturones de seguridad y posteriormente los airbags. Ya en los 90, los vehículos comenzaron a incorporar importantes innovaciones en materia de seguridad activa como el ABS y el ESP.

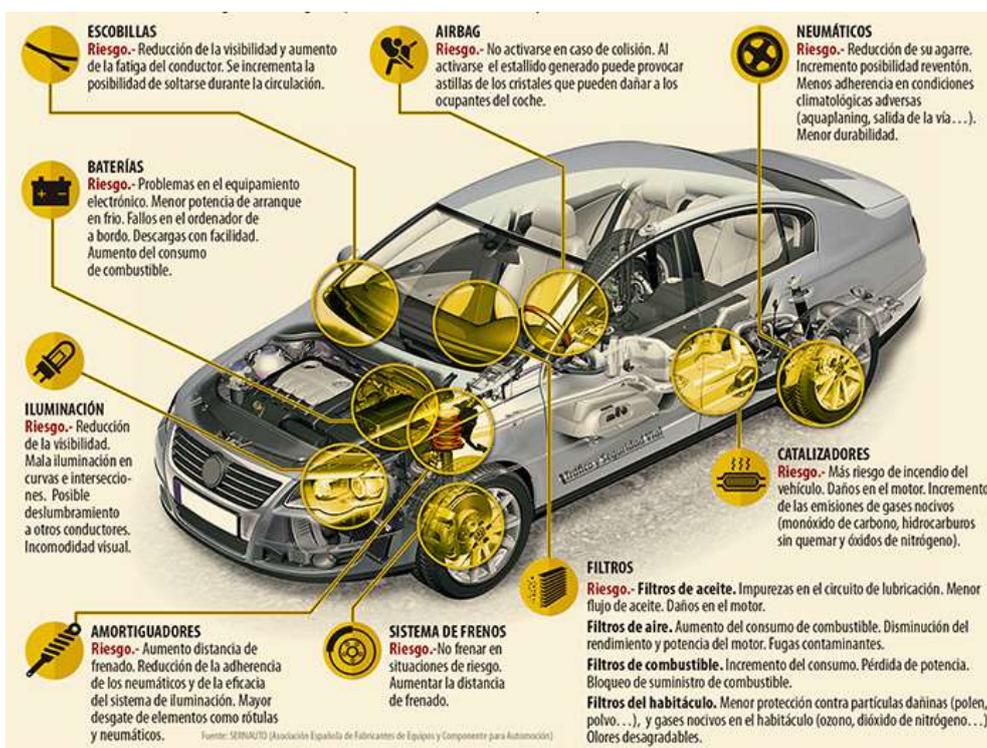


Ilustración 12. Principales componentes de seguridad de un vehículo. Fuente: [www.aprendeemergencias.es](http://www.aprendeemergencias.es)

Los discos de freno son una de las mejoras aplicadas para fomentar la seguridad en los autos, ya que los frenos que se utilizaban eran los de tambor. El mecanismo es similar a estos frenos de tambor, con la diferencia de que la superficie en contacto es mucho menor, aunque la evacuación de calor es mucho más eficiente, compensando así esa disminución de la superficie en contacto.

## 1.2. ESTADO DE LA TÉCNICA

### 1.2.1. Fabricación de piezas

Actualmente, todas aquellas piezas que precisan de gran exactitud dimensional y complejidad geométrica se manufacturan en los centros de mecanizado. Gracias a la tecnología, los métodos de fabricación se han ido desarrollando con la finalidad de obtener mayor calidad y disminuir los tiempos de producción. Estas características son primordiales debido a que ofrecen una gran ventaja en el mercado, se producen mayor número de productos de forma más económica y con unas características técnicas superiores a la de los competidores.

Tan importante es sobresalir en el mercado y aumentar la rentabilidad que en el último siglo se ha ido pasando gradualmente de utilizar personas como principal mano de obra en las fábricas, a máquinas automatizadas controladas por control numérico. De esta forma, surgieron todo tipo de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento y no de forma manual mediante volantes y palancas. Las primeras máquinas de control numérico se construyeron en los años 40 y 50, consiguiendo un rápido desarrollo combinando los equipos analógicos y digitales. Hoy en día, gracias al aumento de la potencia y disminución del tamaño de los procesadores, la electrónica digital se utiliza para todo tipo de herramientas.

Uno de los grandes avances queda reflejado en la aparición de los PLC o autómatas programables, que son un tipo de computadoras con múltiples señales de entrada y salida diseñadas para el control del funcionamiento de la maquinaria en los procesos de producción. La principal característica de estos dispositivos es que ofrecen respuesta en tiempo real, en función de las condiciones de entrada de cada momento. Estas características hicieron del PLC un dispositivo ideal para reemplazar los sistemas de relés lógicos, ya que ofrecían mejores prestaciones y mayor versatilidad debido a su programación mediante listados de instrucciones.

Hoy en día se utilizan métodos de programación mucho más gráficos e intuitivos, tanto que, para programas de mecanizado, primero se diseña la pieza a mecanizar a través de un software con herramientas de dibujo, para que seguidamente, un sistema tome automáticamente los parámetros de diseño y genere la ruta de corte precisa para

fabricar la pieza. Este proceso abarca numerosas disciplinas, desde el diseño gráfico hasta la robótica y la visión computarizada, y supone un gran avance en la tecnología.

Todas estas características dan lugar a piezas con muy altas prestaciones, pero que, aun así, es necesario realizar controles de calidad para verificar el cumplimiento de las tolerancias admitidas, tanto del mecanizado como de la medición.



*Ilustración 13. PLC Simatic S7 – 1500. Fuente: new.siemens.com*

### 1.2.2. Calidad de las piezas

Antes de planificar la producción, debemos estudiar los requerimientos de calidad, es decir, todas las tolerancias y estrategias admitidas tanto en las piezas mecanizadas como en los aparatos de medida y de mecanizado que van a realizar las debidas incisiones.

En lo referente a las estrategias de mecanizado, se define el tipo de herramienta, las condiciones de trabajo y las trayectorias que van a darse a la hora de fabricar las piezas.

Dado que estamos hablando de estrategias de control, las especificaciones no se limitan solamente a la comprobación de la pieza final, sino a todo el proceso que conlleva. Los pasos por seguir serían los siguientes:

- Definición de los instrumentos a emplear.
- Realización de la Hoja de Control.

- Elaboración de la Ficha de Control en Proceso (si procede) y de Control Final.

Las hojas de control son formas estructuradas que facilitan la recopilación de información, previamente diseñadas con base en las necesidades y características de los datos que se requieren para evaluar o medir un proceso. Estas fichas pueden destinarse para verificar el adecuado cumplimiento de cada fase del proceso o para un control final aludiendo a todas las especificaciones técnicas requeridas.

Otro punto clave es la medición de los defectos que se encuentran en las piezas. Estos pueden ser defectos dimensionales, de forma o de posición. Los defectos dimensionales son la diferencia entre las dimensiones obtenidas midiendo la pieza y las teóricas dadas por el diseño o pieza prototipo. Pueden ser de tipo lineal o angular. Los defectos de forma indican la diferencia entre la forma (línea o superficie) real de la pieza y la forma geométrica ideal representada por el diseño.

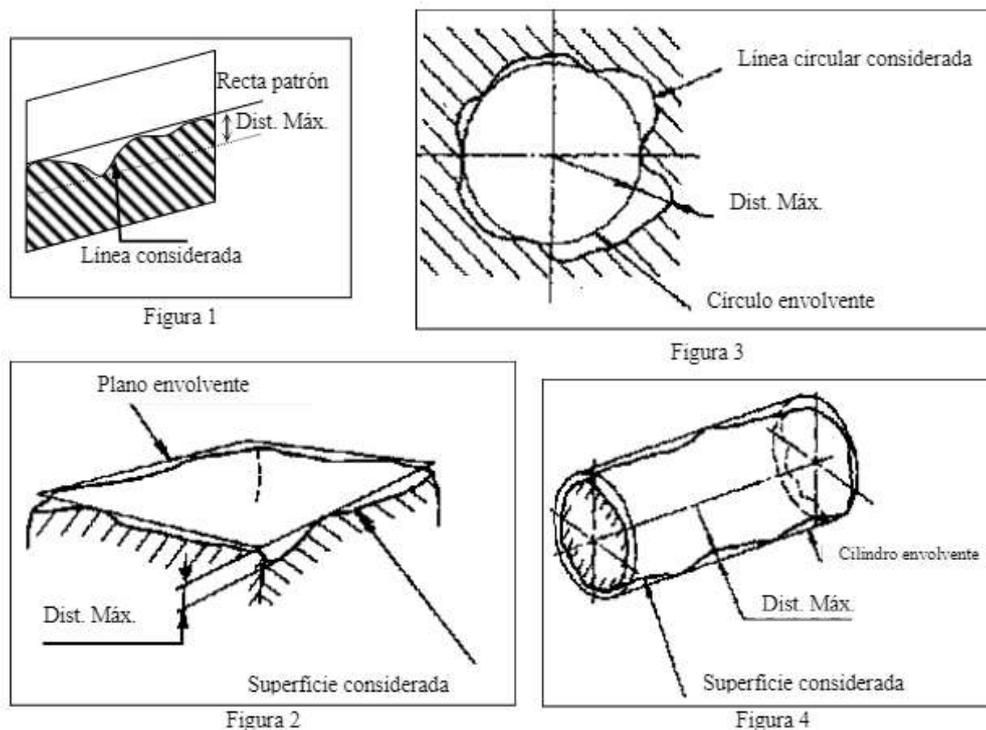


Ilustración 14. Norma UNE EN ISO 1101: Especificaciones geométricas de producto. Fuente: [www.kupdf.net](http://www.kupdf.net)

Los defectos de posición marcan la diferencia existente entre la posición real de una recta o plano de la pieza respecto de otra pieza o plano tomados como referencia cuyas formas geométricas son correctas.

Generalmente la superficie de las piezas presenta una combinación de los errores de forma, ondulación y rugosidad. Todos estos defectos macrogeométricos se hayan definidos en la norma UNE-EN ISO 1101:2017, donde se explican el tipo de tolerancias que hay y como se define cada una.

Es importante indicar que la veracidad de una tolerancia se sostiene en el número de puntos que se definan en un plano o cara. Es decir, no es lo mismo definir cuatro puntos en una superficie que definir 8. Al medir su defecto de superficie, este puede variar de tal manera que la misma pieza puede ser valida en una prueba y no valida, dependiendo de la estrategia adoptada.

### **1.2.3 Calidad de la maquinaria**

Aunque la mayor parte de la mano de obra de una fábrica este formada por autómatas, sigue habiendo personas trabajando al lado de ellas, por lo tanto se han generado varias leyes nacionales e internacionales que controlen la calidad de estas máquinas sobre todo en el ámbito de prevención y riesgos laborales.

Una de las principales leyes es el Real Decreto 1215/1997 que se aplica a todos los equipos de trabajo, entendiéndose como tales cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo.

Este real decreto obliga a los empresarios a adoptar las medidas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores al utilizar dichos equipos de trabajo (artículo 3 del R.D. 1215/1997).

Por otra parte, como obligación para las empresas, todas las máquinas producidas que se fabriquen a partir del 1 de enero de 1995 deben tener el marcado CE. Este marcado CE hace referencia a los requisitos básicos de prevención de riesgos laborales que cumplen las máquinas. De todas estas condiciones legales hablaremos en un apartado más adelante.

### 1.3 ALCANCE: PROBLEMA PLANTEADO Y SOLUCIÓN PROPUESTA

Dado que los frenos son el sistema de seguridad activa más importante del coche es primordial que se encuentre en perfecto estado de funcionamiento. Actualmente los discos de freno son los más utilizados en automóviles, ya que se ha demostrado su mayor eficiencia frente a los frenos de tambor, que todavía se siguen utilizando en el eje trasero de coches de precios muy económicos.

Analizando el funcionamiento de los frenos de disco, podemos decir que sus principales componentes son el disco rotor metálico, las pinzas y las pastillas.

El disco rotor va acoplado a la rueda y gira con esta, siendo el elemento que soporta la fuerza de frenado. Las pinzas, normalmente accionadas por un sistema hidráulico, son las encargadas de ejercer la presión contra la superficie del disco y generar la fuerza de frenado. Por último, las pastillas van acopladas a la pinza y son el elemento de fricción que va a soportar la presión ejercida por la pinza y el contacto con la superficie del disco. Estas pastillas están compuestas de materiales que soportan muy bien el calor y pueden llegar a calentarse hasta los 500 °C, al convertir la energía cinética rotacional de las ruedas del coche en calor y provocar la disminución de la velocidad de este o el frenado.



*Ilustración 15. Disco de freno. Fuente: [www.bmw.es](http://www.bmw.es)*

Es imprescindible que cada uno de los componentes tenga unas características y cumpla ciertos estándares de calidad para asegurar un óptimo frenado, dado que el

mal funcionamiento de uno de ellos desgastaría excesivamente los otros componentes, provocando una disminución de la vida útil del conjunto.

En este caso, y como finalidad de este trabajo, vamos a diseñar una máquina (brazo robot) que realice una comprobación automática de la calidad del disco metálico del freno, reflejada por la regularidad y uniformidad de la superficie plana que se encuentra en contacto con la pastilla. La planitud del disco afecta directamente a la pastilla y puede hacer que aumente su desgaste considerablemente si resulta que tiene un ángulo o un bache fuera de las tolerancias permitidas. Como las pastillas son los elementos que ya de por sí se desgastan con mayor facilidad, es importante que el disco presente unas altas especificaciones de calidad que ayuden a prolongar su vida lo máximo posible, economizando de esta forma el mantenimiento de los vehículos.

Para realizar la prueba de calidad, tomamos 8 puntos de la superficie del disco de freno en la zona que hace contacto con las pastillas y realizaremos sus respectivas medidas del espesor. De esta forma obtendremos valores con los que analizar la planitud de la superficie del disco de freno, y comprobar si cumplen o no los requisitos de calidad.

Por otra parte, un problema adicional que planteamos es el tiempo que se tarda en hacer las pruebas de calidad a las piezas. La mayor parte del mecanizado y las comprobaciones se realizan automáticamente, y por su parte, las pruebas de calidad no generan un valor añadido directo, por lo tanto, el tiempo es un factor clave en la rentabilidad de un producto.

Además, si tenemos en cuenta la amplia variedad de discos de freno que una sola empresa puede llegar a producir, ya que cada serie y cada modelo de coche puede llevar unos discos de tamaños y pesos diferentes, la polivalencia de las máquinas de las pruebas de calidad es un factor imprescindible.

Por estos motivos vamos a desarrollar una mordaza capaz de diferenciar el tipo de disco que se le ha suministrado en función de su tamaño y su peso y accionar el cierre adecuado para esa pieza. De esta forma, optimizaremos los tiempos al no tener que reajustar la mordaza en función de la pieza que tengamos y aseguraremos un agarre firme y adecuado para no dañar la pieza, pero si asegurar que se encuentra en la posición indicada para realizar las mediciones.

Tanto el brazo robot que realiza la prueba como las mordazas, son accionados por un sistema neumático, fiable y eficiente, que hemos diseñado y que, a su vez, es gobernado por un circuito eléctrico. Este tiene en cuenta la información administrada a través de los sensores y acciona las diferentes válvulas que componen el circuito neumático para llevar a cabo la prueba, rechazar la pieza o dar el visto bueno y pasarla a la siguiente fase del proceso de fabricación.

## 2 REQUISITOS DE DISEÑO

### 2.1 DISCOS DE FRENO

En primer lugar, vamos a determinar con que discos de freno vamos a trabajar, para poder adecuar el sistema a las exigencias que nos remitan estas piezas.

Los discos elegidos para realizar este prototipo de prueba de calidad corresponden a los discos de freno delantero del SEAT León III 5 puertas 1.2 TSI 16V DSGT S&S 105cv Trasmisión automática. Para este modelo, hemos seleccionado dos variedades de discos diferentes de la marca BREMBO:

#### **BREMBO 09.9772.11**

Características:

Saber todo acerca de la pieza	
<b>Para vehículo con:</b>	
Posición:	Delante
Código opción de vehículo:	1ZA
<b>Hay que saber:</b>	
Contiene:	1 paquete de 2 artículos
Diámetro:	312 mm
Cantidad:	2
Ventajas producto:	Tratamiento anticorrosión, alto contenido en carbono
Tipo:	Ventilado
Perfil:	Liso
Gama:	Origen
Cantidad taladros:	5
Diámetro de centrado:	65 mm
Par de apriete:	120 Nm
Espesor mínimo:	22 mm
Altura:	49,5 mm
Espesor:	25 mm
<b>Vendido con:</b>	
Tornillo, disco de freno	

Ilustración 16. Características Disco de freno BREMBO 09.9772.11. Fuente:

[www.oscaro.es](http://www.oscaro.es)

Con su correspondiente plano dimensional:

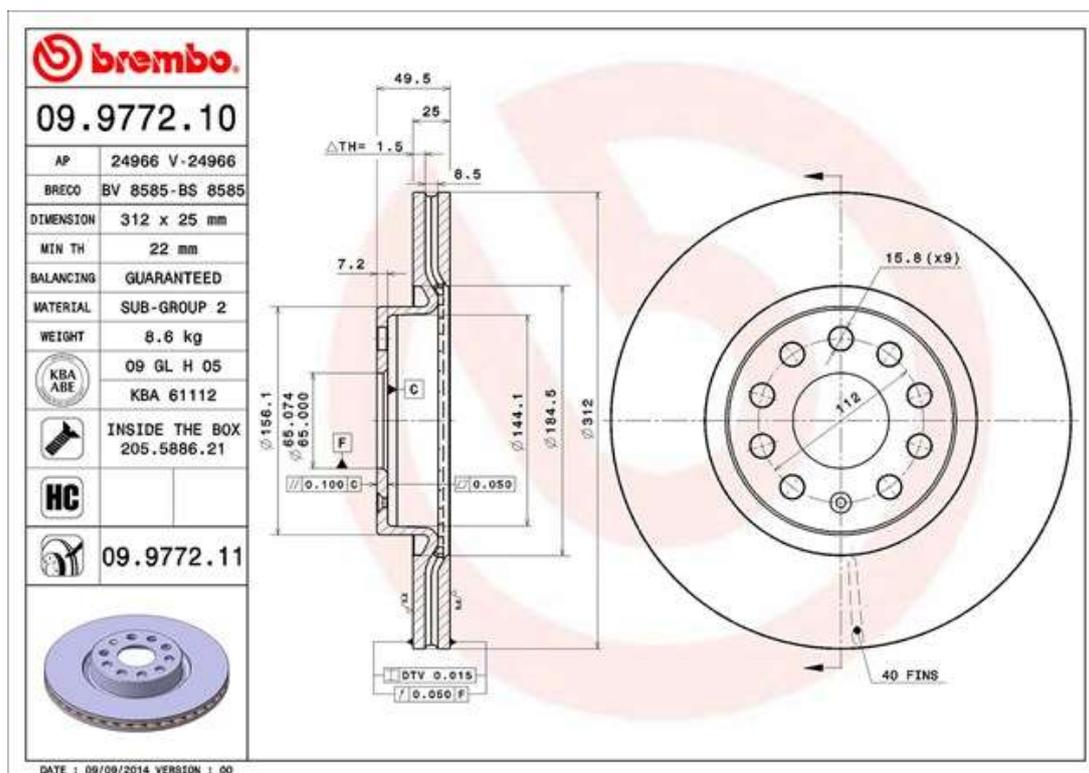


Ilustración 17. Plano dimensional BREMBO 09.9772.11. Fuente: [www.bremboparts.com](http://www.bremboparts.com)

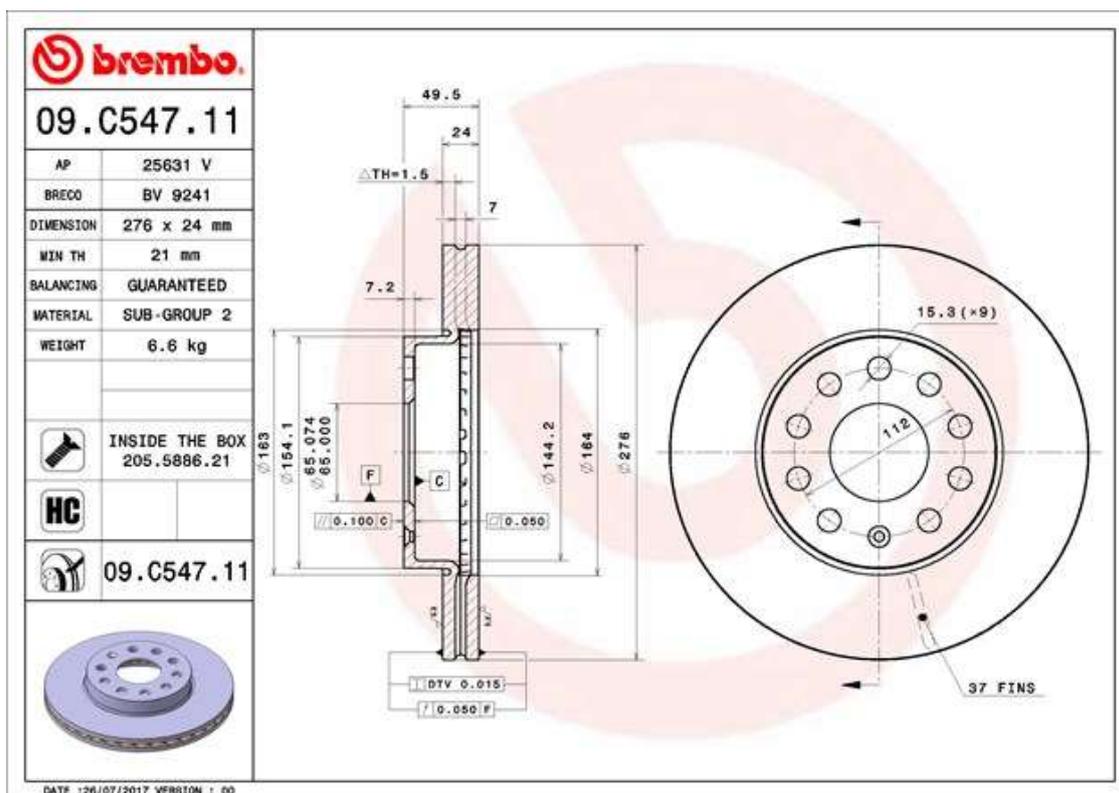
**BREMBO 09.C547.11**

Características:

Saber todo acerca de la pieza	
<b>Para vehículo con:</b>	
Posición:	Delante
Código opción de vehículo:	12F, 12H
<b>Hay que saber:</b>	
Contiene:	1 paquete de 2 artículos
Diámetro:	276 mm
Cantidad:	2
Ventajas producto:	Tratamiento anticorrosión, alto contenido en carbono
Tipo:	Ventilado
Gama:	Origen
Cantidad taladros:	5
Diámetro de centrado:	65 mm
Espesor mínimo:	21 mm
Altura:	49.4 mm
Espesor:	24 mm
<b>Vendido con:</b>	
Tornillo, disco de freno	

Ilustración 18. Características disco de freno BREMBO 09.C547.11. Fuente: [www.oscaro.es](http://www.oscaro.es)

Con su correspondiente plano dimensional.



*Ilustración 19. Plano dimensional BREMBO 09.C547.11. Fuente: [www.bremboparts.com](http://www.bremboparts.com)*

Como podemos observar, este disco de freno tiene unas dimensiones que defieren del anterior en diámetro y espesor, por lo tanto, los dientes de la mordaza que se acoplaran a esta pieza deben tener un diseño diferente para asegurar una perfecta sujeción.

Ambas piezas están hechas de acero al carbón recubiertas por una capa de pintura especial UV que garantiza una protección superior frente a la corrosión. Con una densidad de  $7850 \text{ kg/m}^3$  y el volumen que nos proporciona la Data Sheet, obtenemos el peso de los discos de freno, valor que utilizaremos como condición más adelante para comprobar si lo que se ha situado en la mordaza es uno de nuestros discos.

La sección del disco que se somete a la prueba de calidad es la corona circular exterior, que es la que hace el contacto con la pinza y la pastilla de freno. Como hemos mencionado anteriormente, es muy importante que esta sección del disco se encuentre dentro de las tolerancias establecidas para asegurar que el contacto con la pastilla es el adecuado y no procede a efectuar desgastes innecesarios.

## 2.2 SISTEMA DE AGARRE

Dado que pretendemos dar servicio a dos tipos diferentes de disco con el mismo equipo, vamos a tener que diseñar dos tipos diferentes de mordazas para asegurar una sujeción sólida y un encaje perfecto, ya que cualquier variación en el posicionamiento del disco de freno, generaría un ángulo indeseado con el plano horizontal, y por lo tanto nos darían unos resultados incongruentes. Por lo tanto, la mordaza tiene que asegurar una sujeción perfecta y un posicionamiento ideal, interfiriendo lo menos posible con el brazo que realiza la prueba.

Las mordazas que hay en el mercado, tienen unas características que las hacen muy versátiles, pudiendo utilizarse como sistema de agarre para una gran variedad de piezas. Pero en nuestro caso, y dado que lo que quedemos es un encaje perfecto con el disco de freno, vamos a diseñar nuestras propias mordazas.

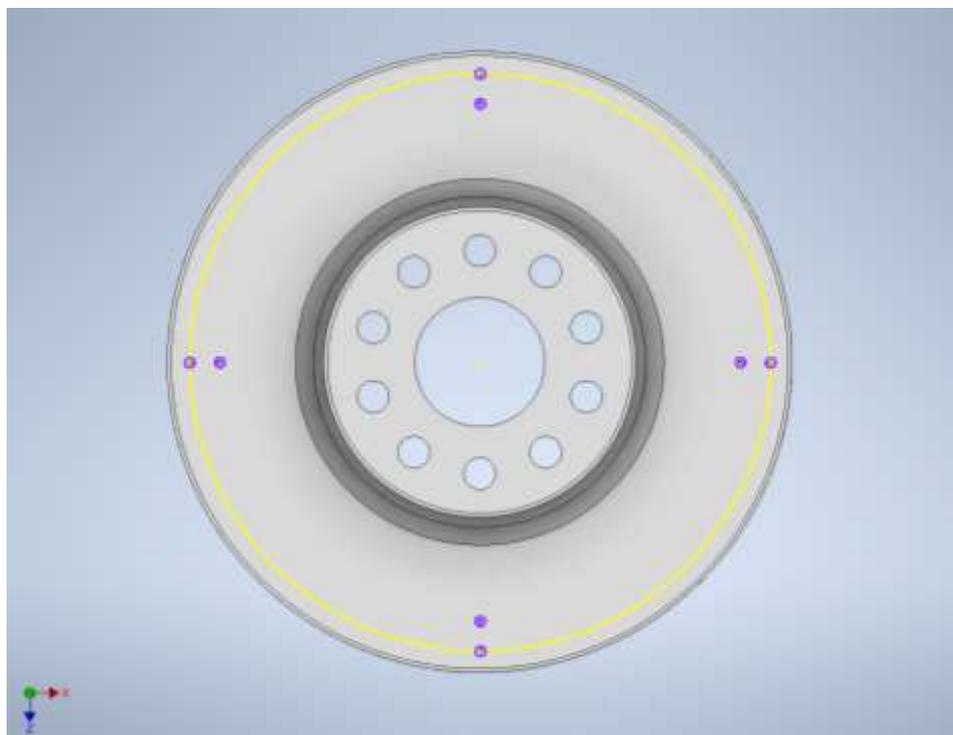
Las condiciones que estas deben cumplir son:

- Interferir lo menos posible con la trayectoria del brazo robot, para que este pueda acceder sin problemas a los puntos seleccionados para la medición.
- Encajar perfectamente con los discos de freno. Dado que uno de los discos de freno tiene un diámetro de 312 mm y un espesor de 25 mm y el otro 276 mm y 24 mm respectivamente. La diferencia en los diámetros no implicaría la necesidad de cambiar de mordaza, pero el espesor de estos discos es definitivo en el diseño de la mordaza, y necesitaría unas especificaciones distintas para un perfecto encaje.
- Autocentrante. Dado que estamos trabajando con discos, es imprescindible que estos se encuentren centrados respecto al eje de coordenadas que vamos a seleccionar. Para asegurar esta condición, nos harán falta un juego de 3 mordazas por cada disco de freno.
- Automático. En función del disco de freno que se ha colocado en nuestro banco de trabajo, debe activarse un juego de mordazas u otro. Para determinar el tipo de disco, utilizaremos un sensor de peso y dos finales de carrera que nos indicarán el diámetro de la pieza colocada. Una vez colocada la pieza, se cerrarán las mordazas correspondientes y se dará paso a la prueba de calidad.

### 2.3. CONDICIONES DE LA PRUEBA DE CALIDAD

Para verificar la planitud de la sección seleccionada, vamos a tomar 8 puntos de la superficie y mediremos el espesor del disco en cada uno de ellos. Analizando estos valores obtendremos un valor diferencial, que cotejaremos con las tolerancias permitidas para este tipo de superficies. Esto determinará si la pieza se considera bueno o no, y por tanto si se rechaza o sigue adelante en el proceso productivo.

Por consecuente, nuestro mecanismo tiene que ser capaz de alcanzar todos estos puntos y examinarlos. Dado que lo que estamos realizando es una prueba de calidad, y no genera valor añadido como tal sobre el producto, la rapidez y eficiencia en el proceso es clave para rentabilizarlo.



*Ilustración 20. Disco de freno con puntos de referencia marcados.*

Para cumplir con estas exigencias, **diseñaremos un brazo mecánico** impulsado por un sistema neumático con un sensor de medida de distancia en su extremo, para poder recopilar los datos necesarios y analizar la pieza deseada.

### 2.4. SENSORES

Los sensores se convierten en un elemento clave de la prueba de calidad. Ya que nos vemos necesitados a utilizarlos tanto para el movimiento del mecanismo por todos los

puntos seleccionados como para tomar la medida solicitada. Además, para comprobar que tipo de disco de freno esta siendo sometido a la prueba vamos a necesitar sensores que nos indiquen el diámetro de la pieza y su peso.

Recapitulando en cuanto a todos los sensores que vamos a necesitar, tenemos:

Doce sensores finales de carrera: Diez de ellos vamos a utilizar para asegurarnos de que nuestro mecanismo está en la posición adecuada para realizar la medición. Dado que estamos trabajando en el plano XY, utilizando 5 sensores para el eje X y otros 5 para el eje Y, tendremos cubiertos todos los puntos.

Los dos sensores restantes los colocaremos en la mesa de trabajo, de tal forma que, al colocar un disco de freno, uno de se encontrará en una posición que no es accesible para ambos discos, solo para el de diámetro mayor, de tal forma sabremos el diámetro del disco que se ha colocado.

Para este caso, vamos a elegir un final de carrera que sea económico y de unas dimensiones reducidas, para que nos facilite su acoplamiento al equipo. Cumpliendo estas condiciones tenemos el Final de carrera palanca con roldana Serie ME-8104.



*Ilustración 21. Final de Carrera Denor Serie ME-8104. Fuente: [www.adajusa.es](http://www.adajusa.es)*

Sensor de peso o célula de carga: son versiones especiales de transductores de fuerza para su uso en tecnologías de pesaje. Las galgas extensométricas integradas

transforman las deformaciones elásticas de los sensores de peso causados por las cargas de peso proporcionalmente en señales eléctricas. Esto permite una exactitud de medición muy elevada entre 0,01 % y 0,05 % F<sub>nom</sub>.

Este sensor nos proporcionará el valor del peso de la pieza que se ha colocado. De esta forma nos aseguraremos de que se encuentra en el rango de peso esperado y que por lo tanto no es ninguna otra pieza que se halla colocado ahí accidentalmente, ya que al ser de distinta densidad y geometría las mordazas podrían dañarla o viceversa.

Para nuestra aplicación vamos a elegir la célula de carga de compresión tipo F1814, con un rango de pesaje de 0 a 1000 N, más que suficiente para nuestros discos de freno y además con una tolerancia del 0.1 %.



*Ilustración 22. Celula de carga de compresión F1814. Fuente: [www.wika.es](http://www.wika.es)*

Un palpador inductivo o sonda palpadora: están pensadas para la medida de distancias o desplazamientos por contacto sobre la superficie a medir. Son sensores de posición con resorte, pero su principio de funcionamiento es como el de los LVDT, inductivo, y además cuentan con un muelle de retorno interno que ejerce una fuerza sobre el punto de medida, lo que permite asegurar el contacto en todo momento.

Hay series para rangos muy pequeños con alta resolución, de hasta una micra, ya que los rangos parten de 0.25mm y llegan hasta decenas de milímetros. Dependiendo del tamaño y rango a medir, existen diferentes formatos, pudiendo hasta incorporar la electrónica dentro del propio sensor.

Entre todos los sensores disponibles, hemos elegido el Palpador Neumático INELTA serie LVDT-ISAP.

### Serie LVDT-ISAP

Induktiver Wegsensor / Displacement Sensor



*Ilustración 23. Palpador INELTA LVDT-ISAP-20-50. Fuente:www.sensores-de-medida.es*

Como hemos mencionado, este palpador se comporta como un cilindro de simple efecto, ya que es accionado neumáticamente y tiene un resorte para volver a su posición inicial. Al hacer contacto con el disco de freno tomará la medida de la elongación necesaria y por lo tanto, sabremos el espesor del disco de freno. Incorpora un cabezal de 4.8 mm de diámetro con un acabado en punto, por lo que la superficie de contacto es pequeña. Cuenta con una desviación lineal en la medida menor de 0.5%, por lo que, con un recorrido de 2 centímetros, nos daría un error absoluto de 0,1 milímetros.

## 2.5 ACTUADORES

### Actuadores para el movimiento del brazo robot

Con la finalidad de alcanzar todos los puntos propuestos en nuestra prueba de calidad, vamos a necesitar un actuador que nos permita mover el brazo robot en el eje X y otro en el eje Y. Los movimientos que debe realizar son tanto de avance como de retroceso, además de múltiples paradas en determinados momentos del recorrido del

vástago. Por ellos debemos seccionar dos cilindros de doble efecto, que nos permitan configurar libremente el sistema. Además, el cilindro debe ser capaz de alcanzar desde el punto más cercano al más lejano del disco de freno, por lo tanto, su recorrido debe ser mínimo de 300 mm.

Cumpliendo estas especificaciones, tenemos los cilindros normalizados DSNU-20-300-P-A, que con un recorrido de 300mm y una presión de hasta 10 bar, además de otras características que adjuntaremos más adelante, cubre perfectamente nuestras necesidades.



*Ilustración 24. Cilindro normalizado DSNU-20-300-P-A. Fuente: [www.festo.com](http://www.festo.com)*

### **Actuadores para las mordazas**

Para el movimiento de las mordazas, vamos a necesitar unos cilindros de doble efecto con un recorrido bastante menor que los anteriores (100 mm). En cuanto a la presión de funcionamiento, no necesitamos un gran aumento, debido a que vamos a tener un cilindro por cada mordaza, con un total de 6 cilindros, y dado que estos pueden llegar a ejercer una fuerza de 180 N, son más que suficientes para encajar y sujetar correctamente nuestro disco de freno.

Los cilindros seleccionados son los DSNU-20-100-PPV-A marca FESTO.



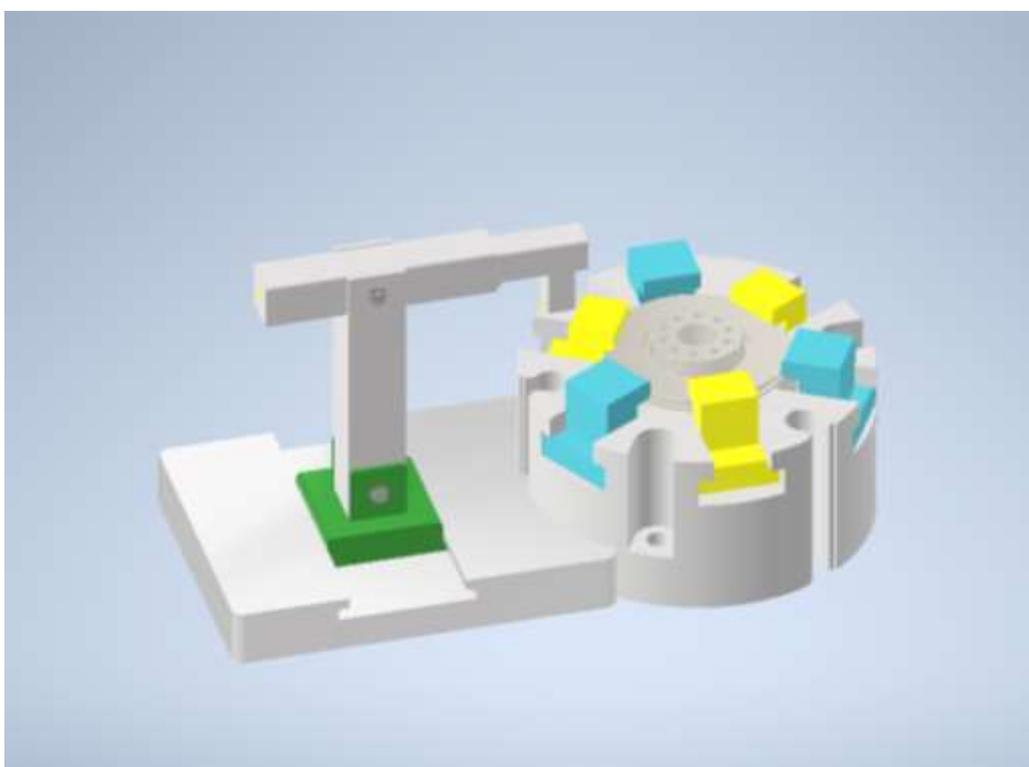
*Ilustración 25. Cilindro normalizado DSNU-20-100-PPV-A. Fuente: [www.festo.com](http://www.festo.com)*

### 3 SOLUCIÓN PROPUESTA

Teniendo en cuenta todas las premisas que hemos declarado anteriormente y los componentes que hemos seleccionado para cumplir nuestro objetivo, el siguiente paso es **desarrollar el brazo robot** que realiza la prueba de calidad, **las mordazas** que sujetan la pieza y **el circuito electromagnético / programa** que gobierne todos los componentes de nuestro circuito neumático.

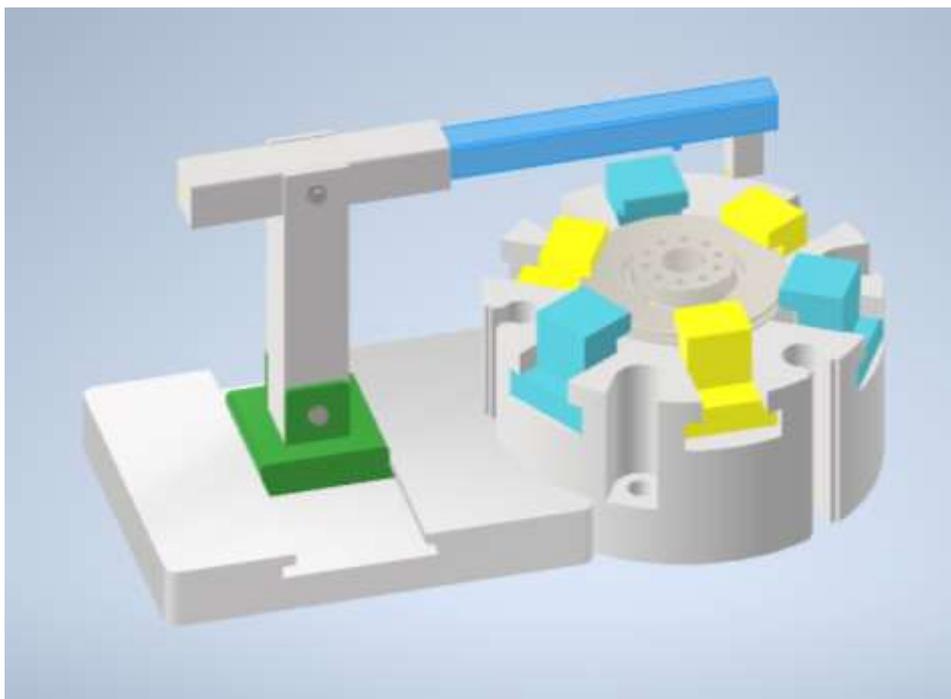
#### 3.1 EQUIPO PRUEBA DE CALIDAD

Agrupando todos los elementos mencionados anteriormente obtenemos el siguiente mecanismo encargado de realizar la prueba de calidad.



*Ilustración 26. Máquina de control de planitud. Brazo móvil acoplado al soporte de las mordazas.*

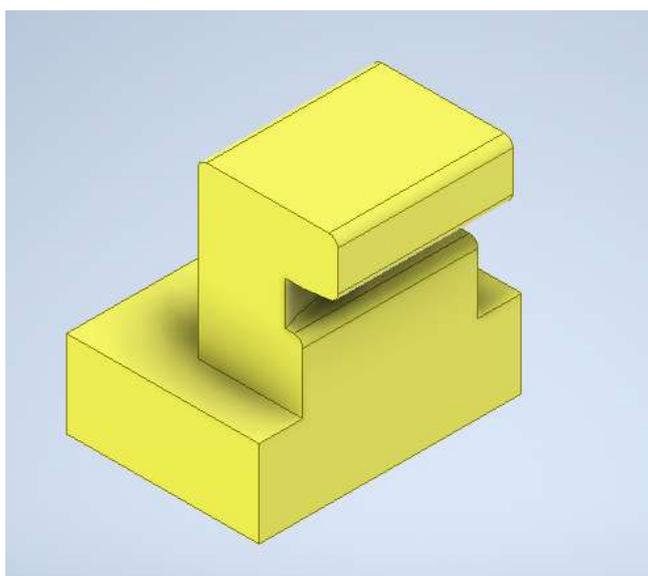
Los actuadores van acoplados en diferentes posiciones. Uno de los cilindros de doble efecto estaría fijado en el soporte, y movería el carril en un eje, mientras que el otro cilindro de doble efecto y 300 mm de recorrido se colocaría en el interior de la parte superior del brazo que, al ser hueco, alberga este dispositivo y permite el avance y retroceso del vástago.



*Ilustración 27. Máquina de control de planitud. Brazo móvil acoplado al soporte de las mordazas. Cilindro desplazamiento en X desplegado.*

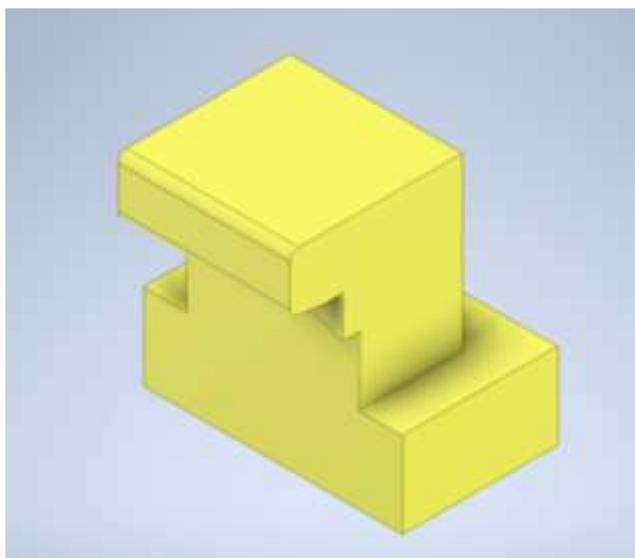
Además del cilindro, en la parte final del brazo movable lleva incorporado el palpador neumático, colocado de forma que apunte hacia abajo, consiguiendo que pueda activarse en las distintas posiciones y realice las medidas deseadas.

### **3.2 MORDAZAS**



*Ilustración 28. Mordaza disco de 312 mm y 25 mm de espesor.*

Las mordazas han sido diseñadas para encajar perfectamente con la forma del disco de freno, tanto que la zona que hace contacto con este, tiene un espesor del grosor del disco de freno y forma un arco que coincide con el diámetro de este, de forma que la sujeción se realiza a lo largo de todos los puntos de la mordaza. Además, esta forma de arco ayuda a centrar el disco de freno, ya que su mal posicionamiento no permitiría a las mordazas realizar su recorrido completo y por ende no se pondría en marcha la prueba de calidad.



*Ilustración 29. Mordaza disco de 276 mm y 24 mm de espesor.*

Por cada disco tenemos tres mordazas que se activan simultáneamente. Aunque cada mordaza tenga su propio actuador, estos cilindros estarán alimentados por el mismo circuito neumático, de forma que cuando una válvula alimenta o cierra el paso, esto afectará a las tres mordazas por igual y se moverán al mismo tiempo, facilitando el posicionamiento del disco de freno en el centro de la mesa de trabajo.

Adoptar esta estrategia nos permite reducir en los costes que implican el mecanizado del soporte de las mordazas, ya que el diseño necesario para acoplar un actuador por mordaza es mucho más sencillo que el de un actuador por cada juego de tres mordazas ya que habría que diseñar cierto mecanismo en el interior del soporte que conecte las tres mordazas y realice el movimiento deseado, además de que necesitaríamos actuadores con mayor fuerza y por lo tanto más caros.

### 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO CIRCUITO NEUMÁTICO

Los pasos que queremos que cumpla nuestro circuito son los siguientes:

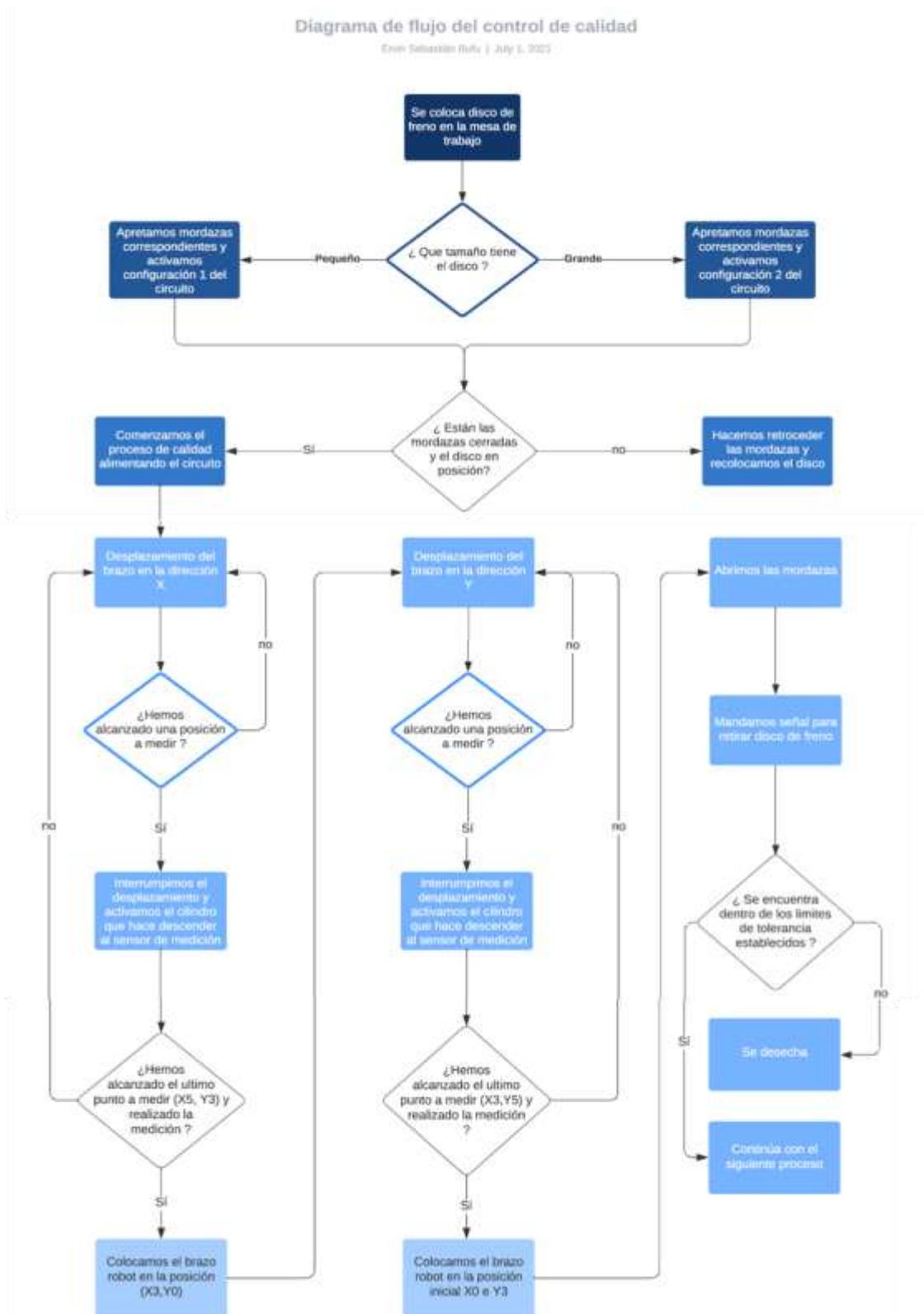


Ilustración 30. Diagrama de flujo del control de calidad de planitud

### 3.4 ESTRUCTURA NEUMÁTICO Y ELECTROMAGNÉTICO

Antes de proceder con la fabricación de un prototipo, vamos a realizar una simulación de su comportamiento, utilizando FluidSim, que es un software de simulación de circuitos electroneumáticos. Utilizaremos los componentes que nos proporciona su biblioteca para realizar nuestro circuito.

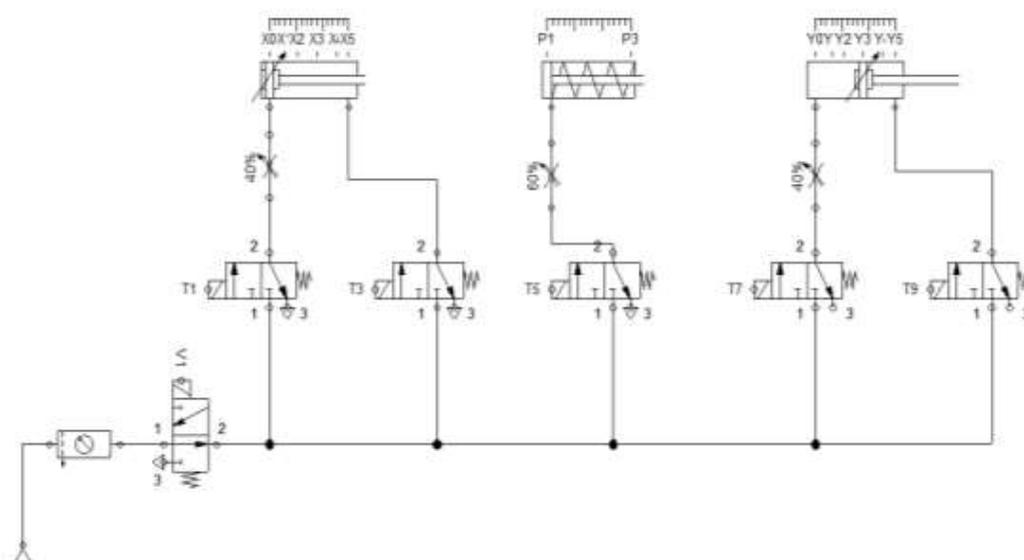
El circuito consta de cuatro partes claramente diferenciadas:

#### **Sistema neumático**

El sistema neumático consta de los dos cilindros de doble vía y uno con retorno de muelle, pilotados con válvulas 3/2 y regulados por solenoides activados en el circuito de potencia, que se encargarán del accionamiento del brazo, y de otros 6 cilindros de doble efecto, que manejarán las mordazas. Entre la fuente de presión y dichas válvulas hay otra válvula 3/2 que permite cortar la alimentación en caso de que se haga una parada de emergencia pulsando la seta de emergencia.

Debido a la cantidad de cilindros utilizados, hemos creados dos sistemas neumáticos individuales para su mejor visualización. En la realidad, todos los cilindros y válvulas formarían parte del mismo sistema.

Sistema relativo al movimiento del brazo, con dos cilindros de doble efecto para el movimiento en los ejes X e Y y un cilindro de simple efecto que representa el palpador neumático:



*Ilustración 31. Sistema neumático movimiento del brazo robot*

Sistema relativo al movimiento de las mordazas. Este es un esquema representativo, ya que el circuito consta de 6 cilindros que se dividen en dos juegos de mordazas. Al activar un juego u otro en función del disco de freno, con que mostremos el funcionamiento de un cilindro por cada juego es suficiente, ya que los restantes se comportaría de la misma manera.

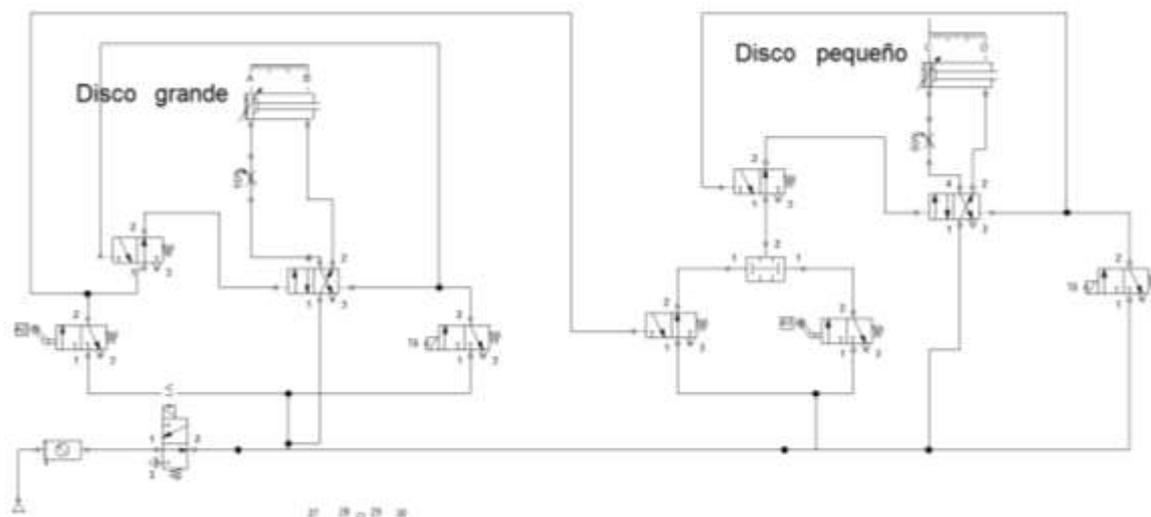


Ilustración 32. Sistema neumático movimiento mordazas

### **Cuadro de mando**

El cuadro de mando contiene cuatro botones que serán los que permitan la interacción entre la máquina y el usuario. Éstos son:

- Pulsador de Inicio

Es el primer botón que hay que pulsar para que funcione la máquina, su función es la de encender el sistema y dejarlo listo para funcionar.

- Pulsador de Paro

Al pulsarlo se le quita la alimentación a la máquina que queda desactivada y con todos sus valores a cero.

- Pulsador de Reinicio

Una vez está encendida la máquina, y el pulsador de paro desactivado. Hay que mantenerlo apretado hasta que el brazo se coloque en su posición inicial.

- Seta de emergencia.

Es un pulsador con enclavamiento que debe ser pulsado en caso de emergencia, con lo cual debe bloquear el sistema. En este caso al pulsarlo se activa un solenoide V1 que desplaza la válvula de alimentación de aire de los cilindros cortando su paso. Para rearmar la máquina debemos utilizar el pulsador de Reinicio.

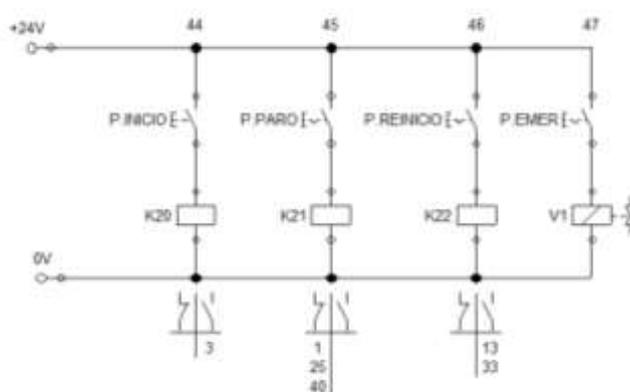


Ilustración 33. Cuadro de mando

### Circuito de potencia

Esta parte del sistema se encarga de controlar la parte de potencia del circuito, es decir, aísla la parte neumática de la parte de control con lo que se consigue mantener esta última protegida de las posibles altas tensiones y potencias que pueden ser necesarias para hacer funcionar el sistema mecánico.

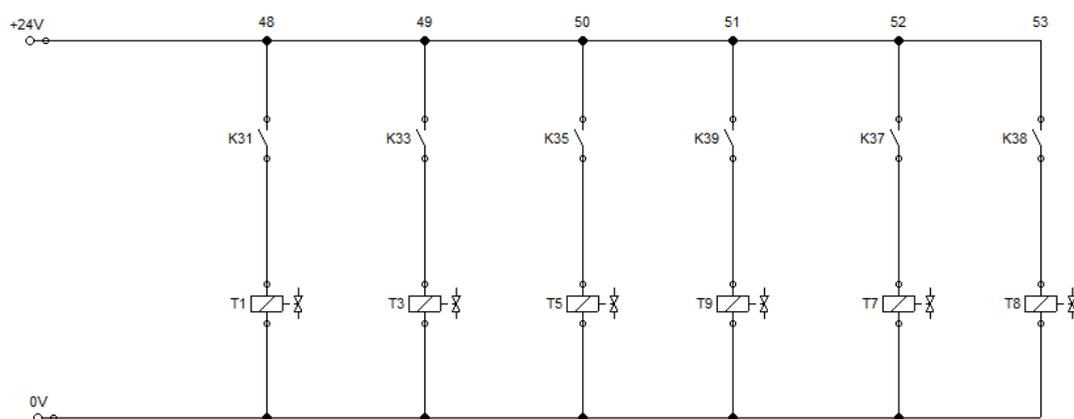
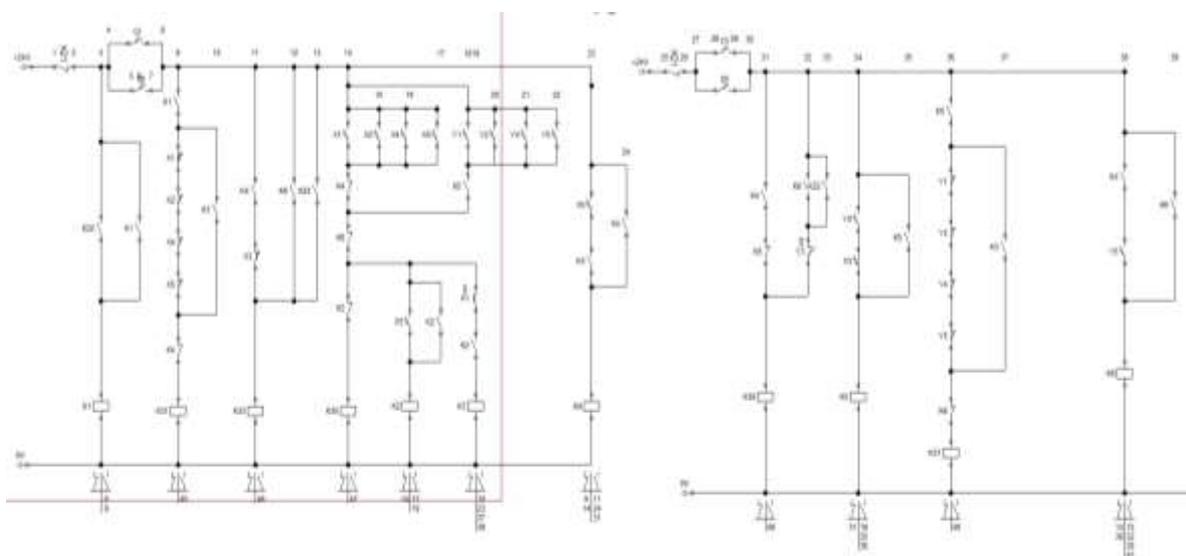


Ilustración 34. Circuito de potencia

### **Circuito de control**

Esta es la parte característica de la solución eléctrica, se compone de toda una red de interruptores, obturadores, franqueadores y relés que son capaces de reproducir la secuencia de los cilindros, es decir se trata de la parte lógica del sistema. Los relés controlan obturadores que pueden estar tanto dentro del propio circuito como en la parte del circuito de potencia y que son los encargados de activar los relés con solenoides que, a su vez transmitirán un impulso electromagnético a las válvulas del circuito neumático provocando los movimientos deseados.



*Ilustración 35. Circuito de control*

### 3.5 DESGLOSE CIRCUITO NEUMÁTICO Y ELECTROMAGNÉTICO

Nuestro circuito neumático se compone de multitud de sensores y finales de carrera que hacen de la prueba de calidad una forma segura y precisa de controlar las tolerancias de la pieza.

Comenzamos colocando un disco de freno sobre la mesa de trabajo. Tal y como hemos dicho anteriormente, diferenciaremos entre dos tipos de discos, uno con un diámetro menor y otro mayor. Por lo tanto, tendremos un final de carrera A1 colocado a una distancia cercana del centro, y el sensor de contacto A2, que estará a una distancia que solo el disco grande pueda activar. Si solo se activa el sensor A1, significará que el disco colocado es de diámetro menor y se activarán las mordazas correspondientes, mientras que si se activan ambos sensores (A1 y A2) el disco será catalogado como de diámetro mayor y se activarán las mordazas de menor recorrido.

El sensor de peso nos indicará que el material con el que se ha manufacturado el disco es el indicado, y no se ha colocado un disco de un material más dúctil que pueda deformarse debido a la presión ejercida por las mordazas, además de actuar como una medida de seguridad para corroborar que lo que se ha posicionado en la mesa es un disco de freno y no cualquier otro objeto que haya activado uno o ambos finales de carrera.

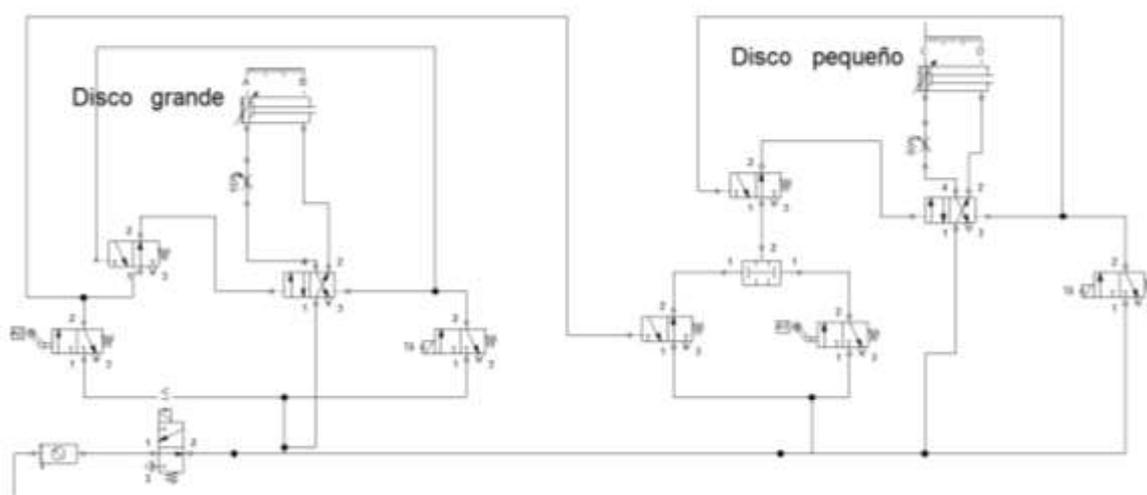
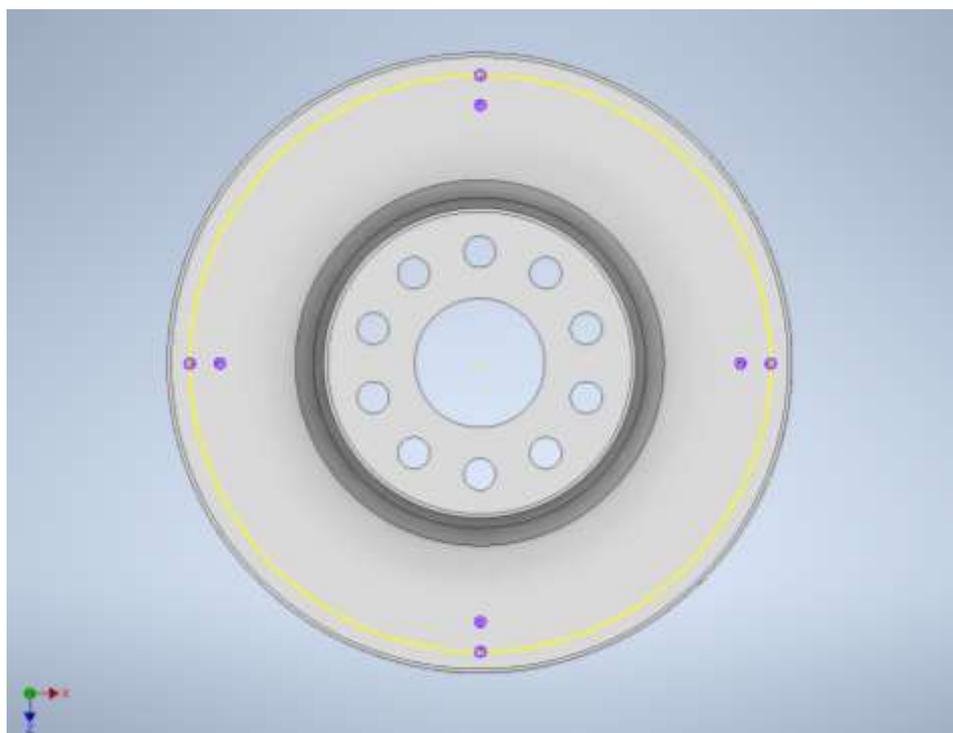


Ilustración 36. Sistema neumático movimiento mordazas

De esta forma, obtenemos un pequeño circuito neumático que activa las mordazas A-B para el disco grande y las C-D para el disco pequeño.

Una vez que el vástago de uno u otro cilindro llegue a la posición B o D, se activará otro sensor que dará paso al comienzo de la prueba de calidad.

Para la prueba de calidad vamos a disponer de un brazo robot que realiza 8 mediciones, cada una en un punto diferente del disco. Los puntos en los que se van a realizar las medidas son las siguientes:



*Ilustración 37. Disco de freno con puntos de referencia marcados.*

Controlando la posición del brazo, vamos a disponer de dos cilindros de doble efecto, uno determinará el avance en la dirección X y otro en la dirección Y.

Acoplado al vértice del brazo, tenemos un cilindro simple con retorno de muelle que se activará cada vez que el brazo se encuentre en uno de los puntos marcados para realizar la medición. Al activarse este cilindro, un sensor de cercanía colocado en la punta del vástago descenderá hasta completar el recorrido del émbolo y en ese momento tomará la medida de la distancia entre su posición (final del vástago) y la superficie del disco.

Procesando esta información, la propia máquina decidirá si el disco cumple con las tolerancias de planitud establecidas o si se sale de los límites y el disco tiene que ser rechazado.

Tanto en el cilindro dirección X como en la dirección Y, tenemos 6 finales de carrera. Cada uno se activará en el momento en el que el émbolo alcance esa posición del recorrido. Estas posiciones están marcadas como X0, X1, X2, X3, X4 y X5, y por otra parte Y0, Y1, Y2, Y3, Y4 e Y5 siendo estos sensores vitales para el funcionamiento del brazo robot.

Además, para tener controlado que se ha realizado la medición, colocamos otros dos sensores en el cilindro simple, uno al principio (P1) y otro al final (P3) de su recorrido, sabiendo así cuando se ha realizado el recorrido del vástago.

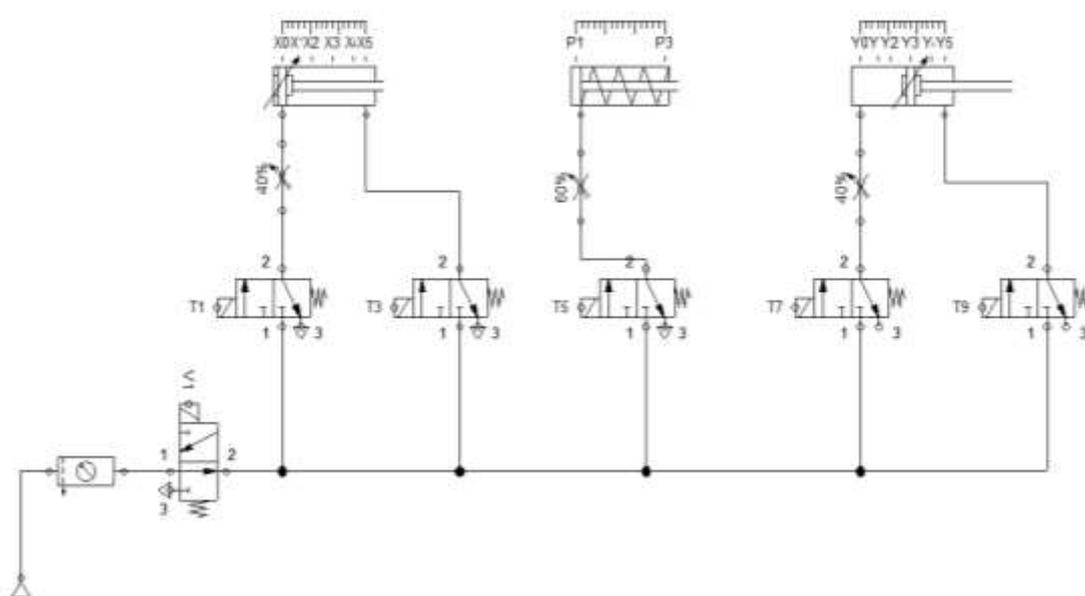


Ilustración 38. Sistema neumático movimiento brazo robot.

Con toda esta información, y utilizando las señales que emitan cada uno de estos sensores como entrada, realizamos un circuito eléctrico que gobierne este circuito neumático y ejecute el proceso deseado.

Hoy en día ya no se utilizan este tipo de circuitos eléctricos, ya que los PLC (Controlador Lógico Programable) han supuesto un gran avance en cuanto al control y procesamiento de la información en los circuitos electroneumáticos. Más tarde

dedicaremos un apartado a la explicación del funcionamiento de estos autómatas programables.

Para realizar el circuito eléctrico, que nos ofrece una forma muy didáctica y visual del proceso interno de una máquina automática, empleamos relés y contactores asociados utilizando una lógica clara y sencilla.

Obteniendo de esta manera el siguiente circuito de control:

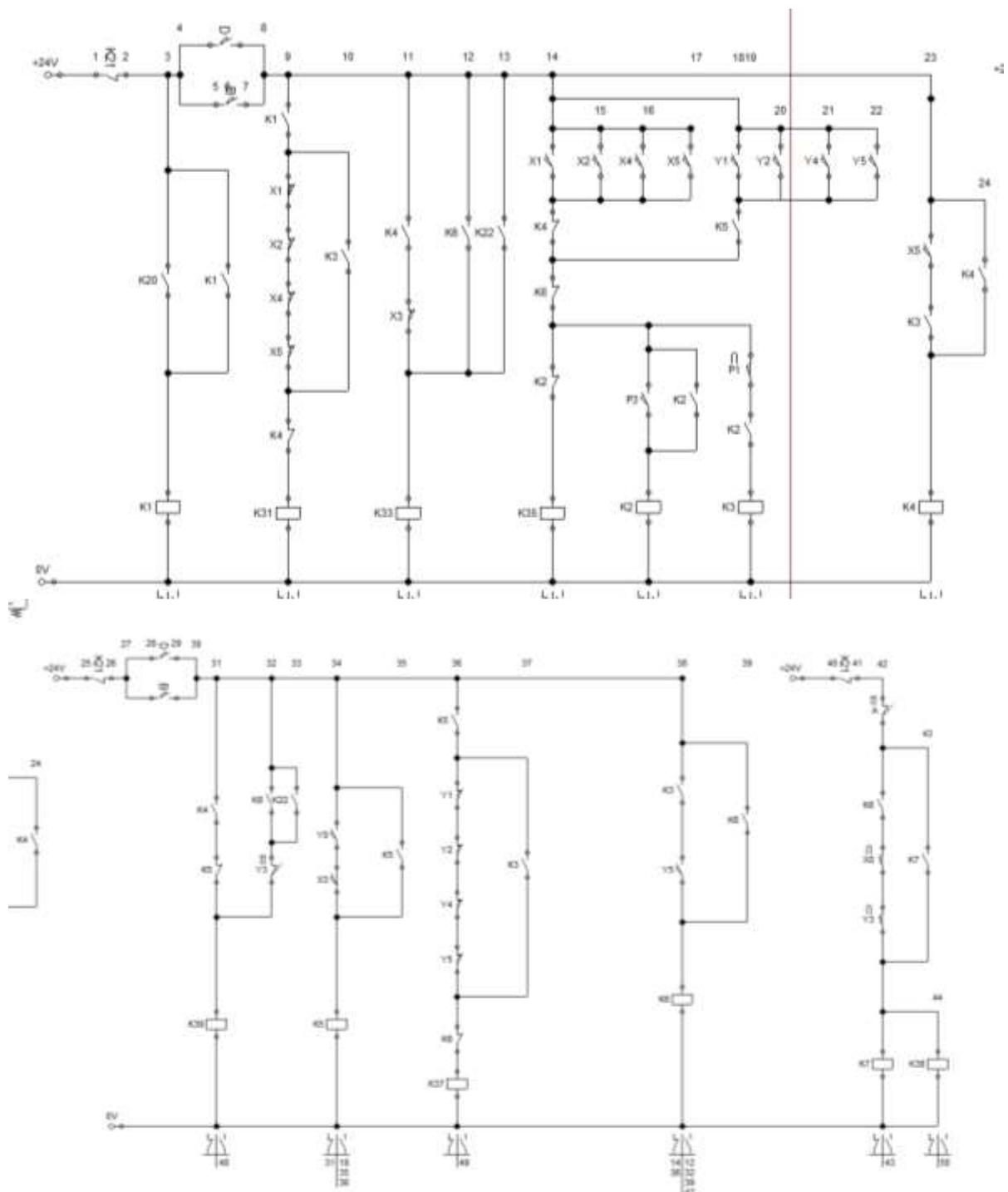


Ilustración 39. Circuito electromagnético de control.

Analizando detenidamente cada una de las ramas vamos a explicar el comportamiento de los interruptores y del circuito en general.

En primer lugar, debemos conectar todos los componentes a una diferencia de potencial de 24 V que es la tensión necesaria para activar los relés y mover los contactores.

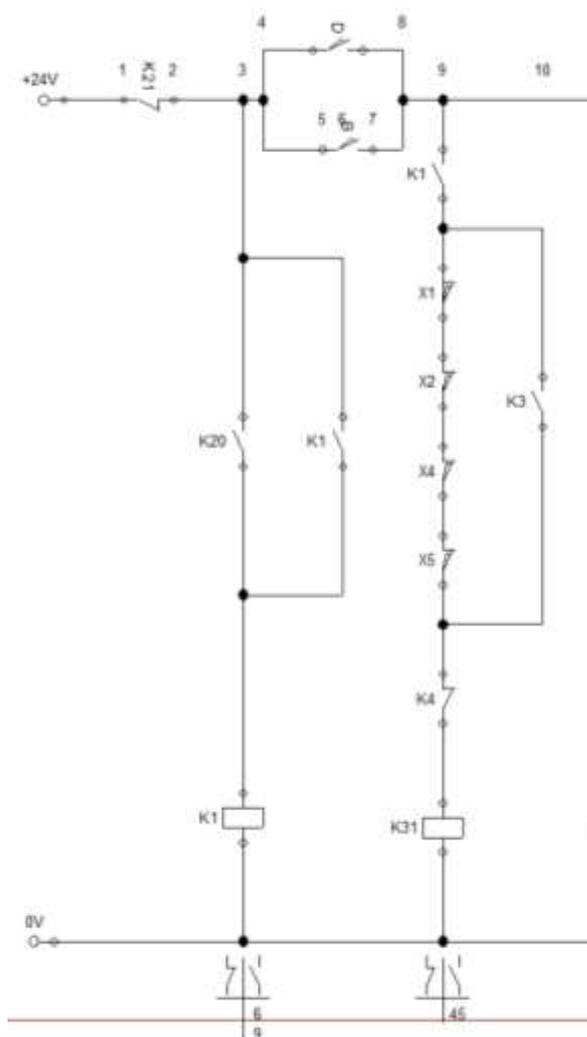


Ilustración 40. Ramas 3 y 9. Circuito de control.

En la rama 1 tenemos el pulsador P1 que va a determinar el encendido o apagado de la máquina y que puede activarse en cualquier momento como medida de seguridad. Seguidamente, la rama 4 contiene el relé con solenoide T1, que transmite un impulso eléctrico hacia la válvula neumática de 3/2 **que activa el “cilindro desplazamiento en X”**. Los interruptores normalmente cerrados “X1”, “X2”, “X3” y “X4” se abrirán en el momento en el que el embolo pase por una de estas posiciones, desactivando así el

relé con solenoide y cortando el flujo de aire comprimido, lo que frenará el avance del “cilindro desplazamiento en X”.

Dado que nos encontramos en una de las posiciones planificada anteriormente para realizar la medición, vamos a activar el “cilindro de medición”. La rama 8 es la que soporta el circuito lógico encargado de hacer descender el vástago con el sensor de medida.

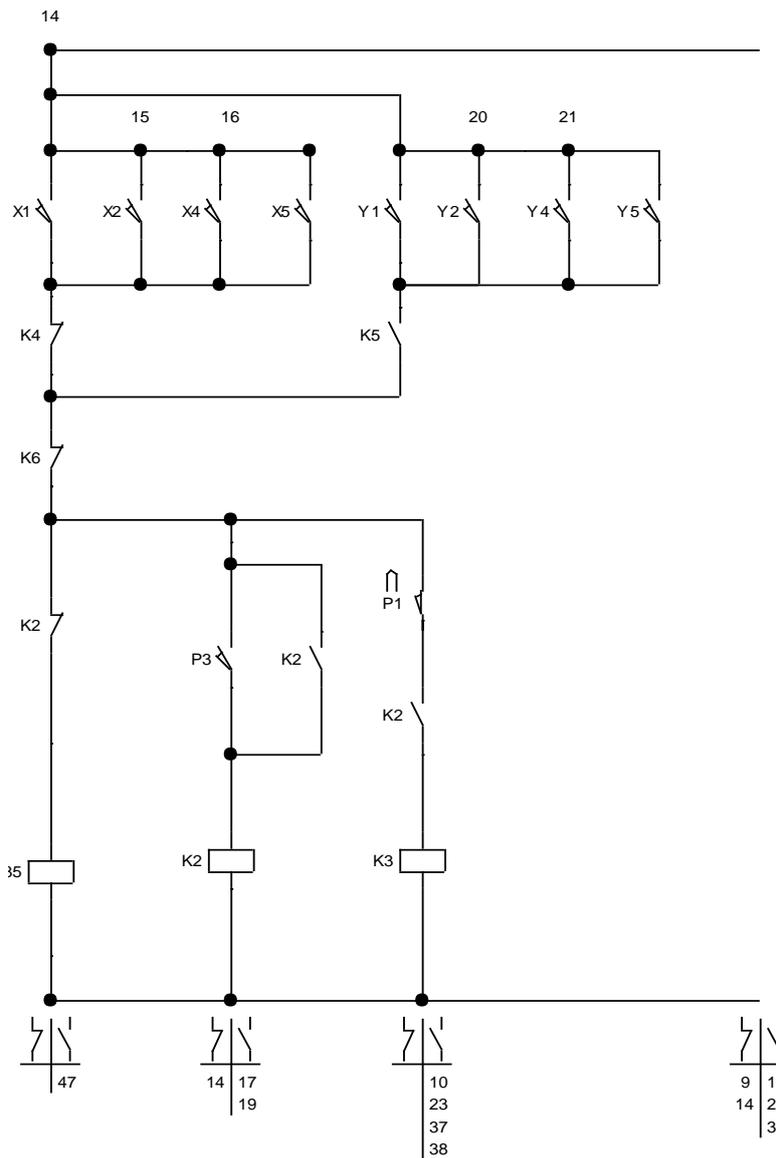


Ilustración 41. Rama 14. Circuito de control

Estar en una de las posiciones marcadas, activa el interruptor normalmente abierto correspondiente, alimentando así al relé K36, que transmite un impulso electromagnético a la válvula que acciona al “cilindro de medida”, provocando la salida del vástago. Una vez que llega al final de su recorrido, se activa la señal procedente

del sensor "P3" y se cierra el interruptor "P3", magnetizando el relé "K2", que se mantiene alimentado con el interruptor "K2" de la rama 10, ya que en cuanto este relé se activa, se abre el interruptor "K2" de la rama 8, cerrando la válvula T5 y iniciando la vuelta del cilindro de medida mediante retroceso por muelle. Con "K2" activo y con el vástago otra vez en su posición inicial "P1", se activa el relé K3, que marcará el final del proceso de medida realizado y dará pie a que el brazo siga avanzando en la dirección X hasta la siguiente posición (rama 4). Una vez que el brazo este avanzando, se desconecta el interruptor que alimentaba a la rama 8 dejando a esta sin energía y con todos los relés desactivados. Este proceso se repetirá tantas veces como medidas queramos hacer en la dirección x que es este caso, son 4, indicadas por las posiciones "X1", "X2", "X3" y "X4".

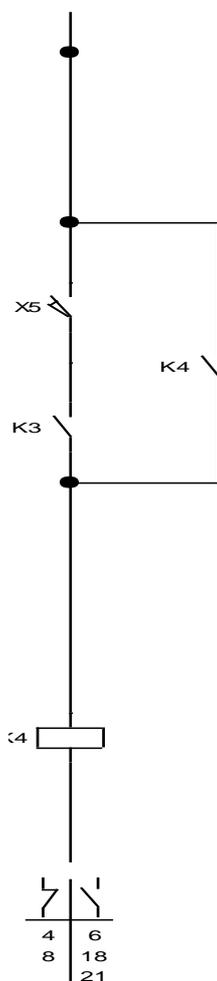
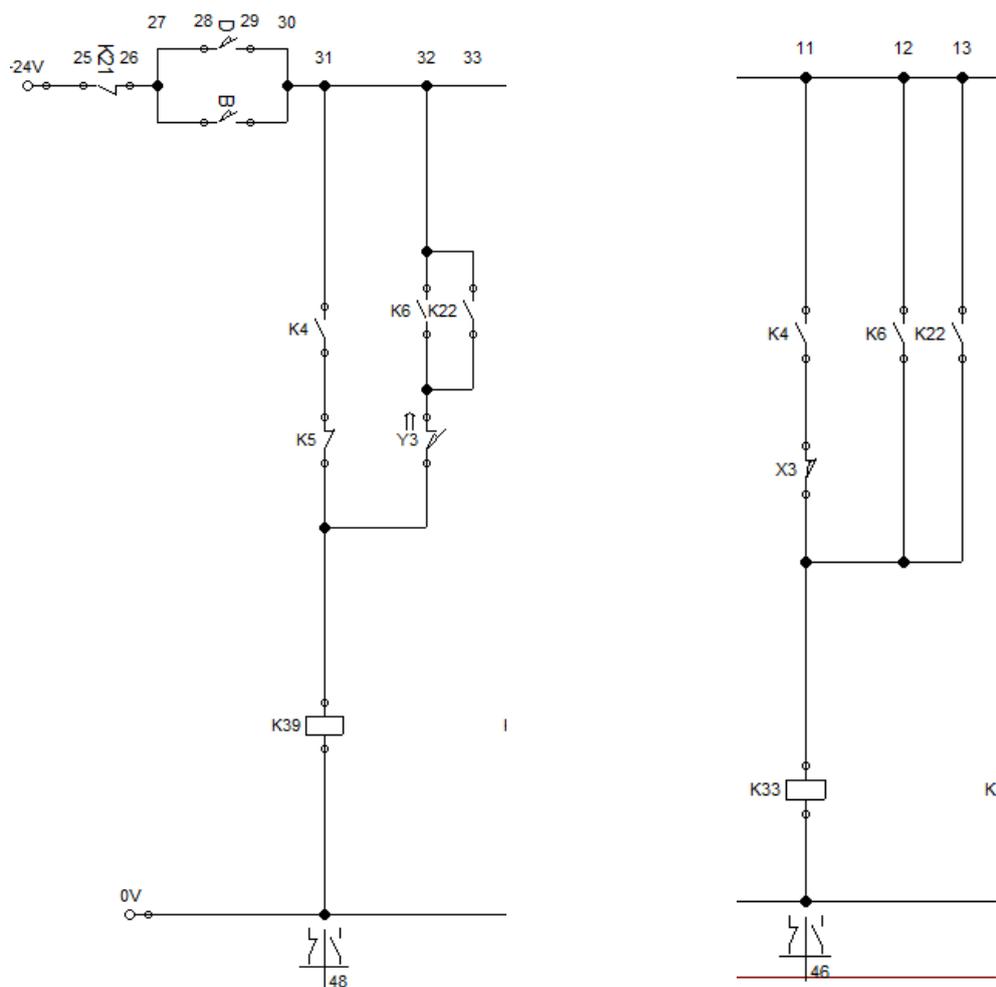


Ilustración 42. Rama 23. Circuito de control

La rama 23 se activa con la posición X5, que es el punto más alejado que alcanza el brazo, y con K3, interruptor que se activa cuando el "cilindro de medida" vuelve a su

posición inicial tras realizar la medición. Bajo estas condiciones, **se activa el relé K4**, que se retroalimentara a sí mismo.

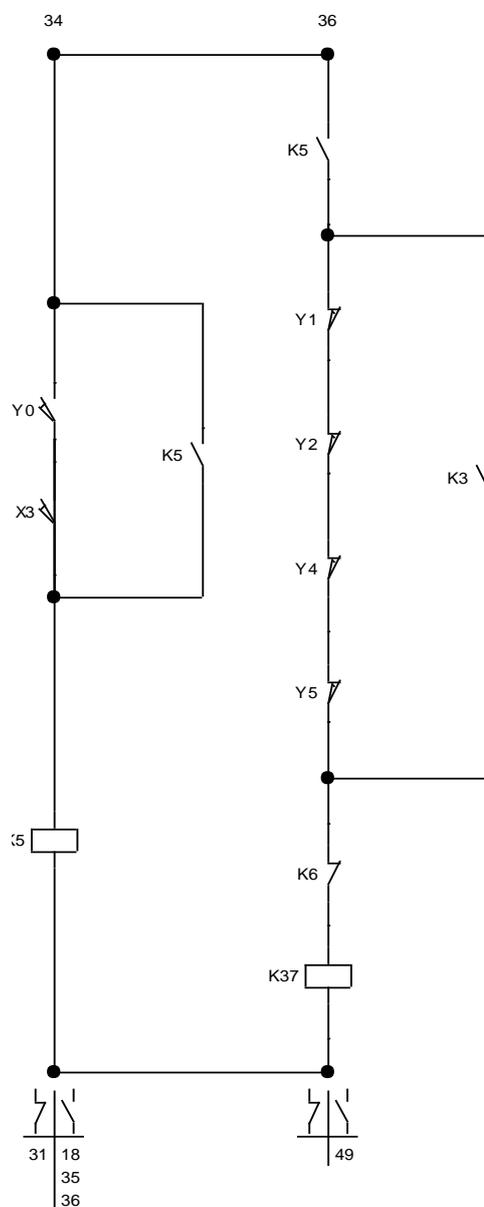
Llegados a este punto, hemos realizado todas las medidas en la dirección X y, por lo tanto, queremos posicionarnos en la parte inferior del disco (“X3”, “Y0”) para dar comienzo así al movimiento en el eje Y, e realizar las medias correspondientes a esta dirección.



*Ilustración 43. Ramas 31 y 11. Circuito de control.*

Para ello, con el relé K4 cerramos el interruptor K4 de la rama 11 y accionamos K33, que es un relé conectado con la válvula T3 mediante el circuito de potencia, y provocará el retroceso del “cilindro desplazamiento en X” hasta que alcance la posición X3. Al mismo tiempo, en la rama 31, se cerrará el interruptor k4 dando tensión

al relé K39, que alimenta la válvula de retroceso del “cilindro desplazamiento en Y” hasta llegar al tope de su recorrido en “Y0”.



*Ilustración 44. Ramas 34 y 36. Circuito de potencia.*

Una vez que llegamos a “X3” “Y0”, que es la posición inicial en el eje Y, activamos el relé K5 de la rama 34, que se realimenta. Este relé es clave para la transición de una dirección a otra, ya que además de interrumpir la alimentación de T9 y **desconectar la válvula que proporciona retroceso al “cilindro de desplazamiento Y”**, dará comienzo al proceso de medición en el eje Y mediante el interruptor K5 de la rama

36. Esta rama lleva los mismos componentes que la rama 9 explicada anteriormente, solo que en este caso se aplica a las posiciones que va a tomar el “cilindro desplazamiento Y” en su eje de dirección.

Por lo tanto, esta rama 36 proporciona el avance del brazo robot en el eje Y mientras que la posición en el eje X se mantiene en “X3”. Este avance es controlado por el rele K37 que alimenta al relé con solenoide T7 y como sucedía en el caso anterior, cada vez que llegue a una posición donde se va a realizar la medición, se desconectará el avance de este para dar tiempo de realizar el proceso.

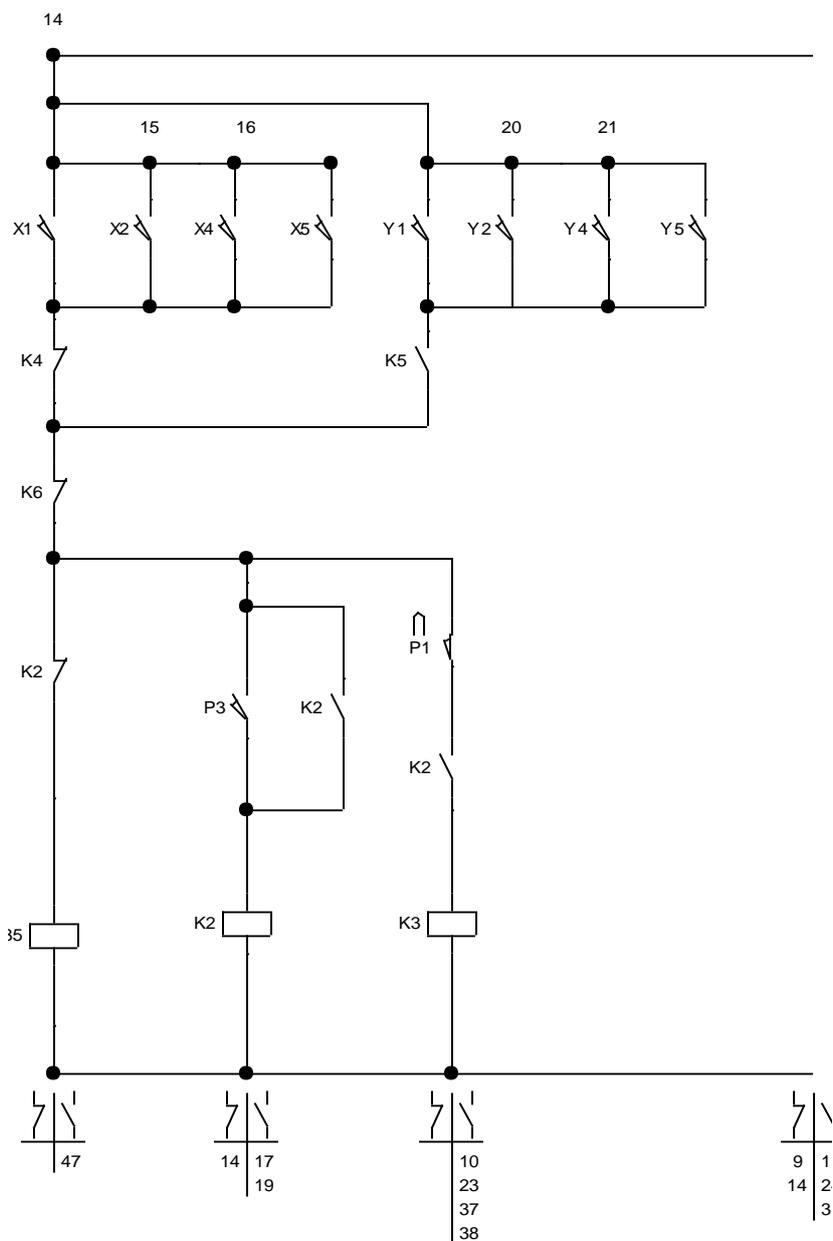


Ilustración 45. Rama 14. Circuito de control.

Una vez el brazo robot se encuentre en posición, mediante los interruptores de la rama 14, conectados a los correspondientes sensores, dará paso al comienzo del proceso de medida, activando K35, K2 y K3 en las mismas secuencias que en las que se tomaban las medidas en la dirección X.

En cuanto la máquina termine de realizar todas las medidas desde la Y1 hasta la Y5, queremos que el brazo vuelva a su posición inicial (“X0” “Y3”) para que no interfiera con la persona o la maquina encargada de retirar el disco de freno y colocar uno nuevo.

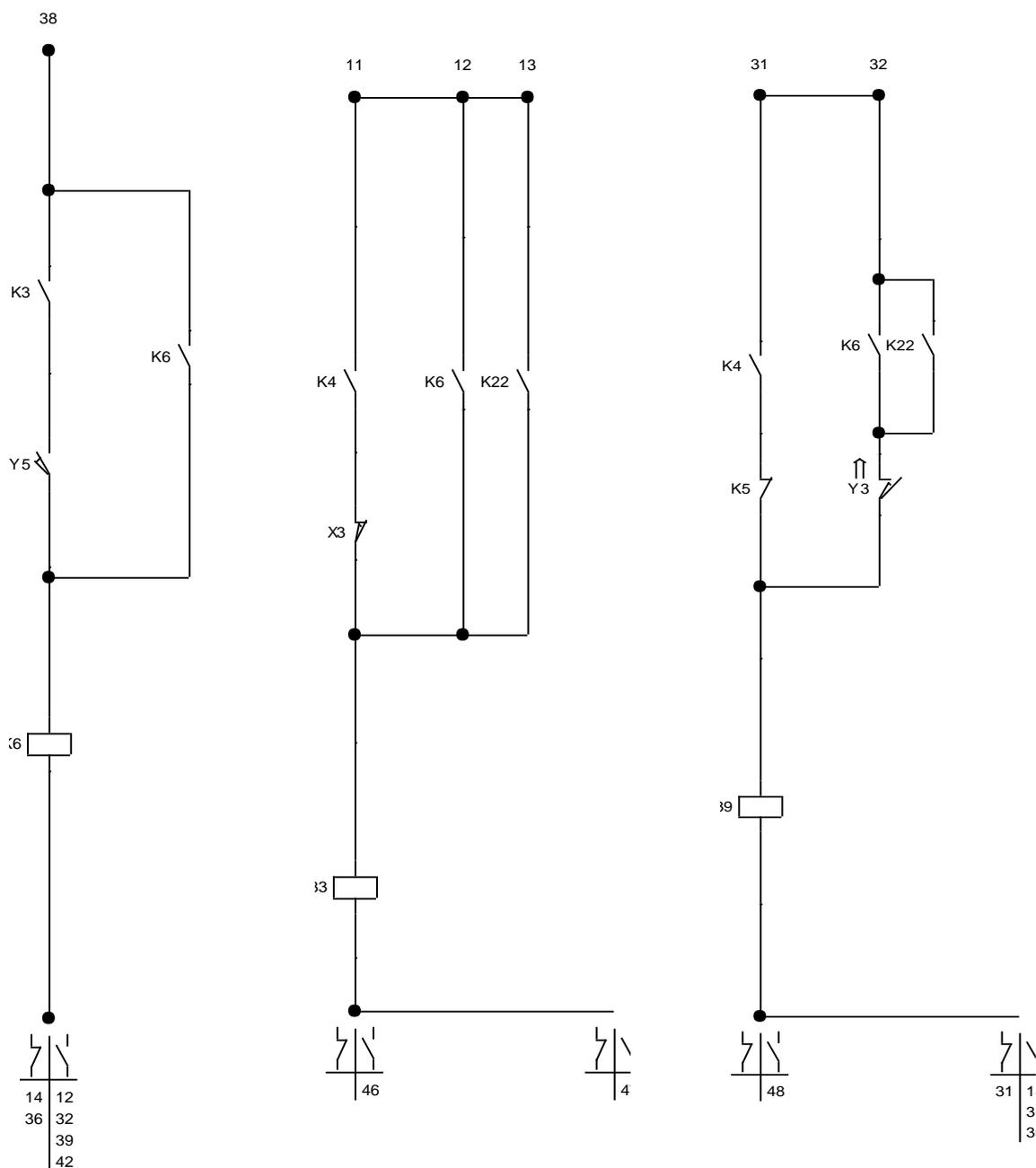
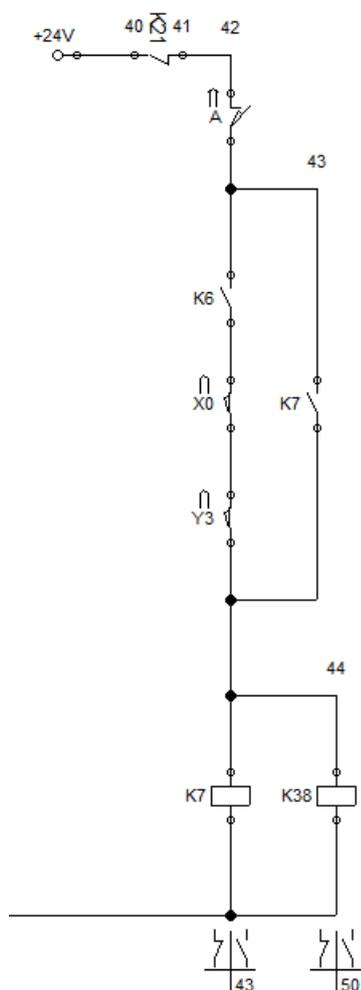


Ilustración 46. Ramas 38, 12 y 32. Circuito de control.

De esta parte se encarga la rama 38, que activa el relé K6 con tales fines. Este relé K6 retroalimentado, cierra los interruptores de las ramas 12 y 32 que activan, respectivamente, los relés K33 y K39 relacionados con T3 y T9, encargados del retroceso del “cilindro desplazamiento en X” y del “cilindro desplazamiento en Y”. Esto hará que los dos cilindros vuelvan a su posición inicial.

Por último, dado que las medidas están tomadas y por tanto el proceso finalizado, enviaremos una señal para abrir la mordaza y que otro brazo pueda acceder a coger la pieza ya analizada y realice la acción que corresponda. Para ello tenemos la rama 42.



*Ilustración 47. Rama 42. Circuito de control.*

Alcanzando la posición inicial (“X0” “Y3”) activamos el relé con solenoide T8 que hace retroceder a la mordaza. El relé K7 realimenta esta rama, ya que en el momento en el que la mordaza ya no esté situada en su posición de cierre, todo el circuito anterior

quedará sin alimentación y todos los relés que quedaban activados perderán su energía. Haciendo de esta manera, que todo el circuito vuelva a las condiciones iniciales y esté preparado para volver a comenzar en cuanto se coloque un nuevo disco.

La máquina emitirá una señal declarando el proceso como finalizado y un operario o brazo robot adyacente retirará el disco de freno y lo desechará o no en función del resultado del análisis.

## 4 ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil uso. Las placas Arduino son capaces de leer entradas (luz en un sensor, apretar un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlas en una salida (activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea). Puedes decirle a tu placa lo que tiene que hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), y el software Arduino (IDE), basado en Processing.

A lo largo de los años, Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos hasta complejos instrumentos científicos. Alrededor de esta plataforma de código abierto se ha reunido una comunidad mundial de creadores estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales cuyas contribuciones han sumado una increíble cantidad de conocimientos accesibles que pueden ser de gran ayuda tanto para los novatos como para los expertos.



*Ilustración 48. [www.tme.com](http://www.tme.com)*

Arduino nació en el Instituto de Diseño de Interacción de Ivrea como una herramienta sencilla para la creación rápida de prototipos, dirigida a estudiantes sin conocimientos de electrónica y programación. En cuanto llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino empezó a cambiar para adaptarse a nuevas necesidades y retos, diferenciando su oferta desde simples placas de 8 bits hasta productos para aplicaciones IoT, wearables, impresión 3D y entornos embebidos. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, lo que permite a los usuarios construirlas de forma independiente y eventualmente adaptarlas a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto y crece gracias a las contribuciones de usuarios de todo el mundo.

Como ocurre con las distribuciones Linux, Arduino también cuenta con multitud de ediciones, cada una pensada para un público en particular o para una serie de tareas específicas. Existen gran variedad de modelos oficiales, no oficiales y compatibles.

## 4.1 ¿POR QUÉ ARDUINO?

Gracias a su experiencia de usuario sencilla y accesible, Arduino se ha utilizado en miles de proyectos y aplicaciones diferentes. El software de Arduino es fácil de usar, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados.

Esto lo convierte en una manera excepcional de realizar prototipos de circuitos de control, ya que su comportamiento se asemeja mucho al de un PLC, siendo capaz de procesar gran cantidad de información de entrada y salida.

Aunque no deja de ser un prototipo, los mecanismos que intervienen y la cantidad de movimientos que estos deben realizar hacen de nuestro trabajo uno bastante complejo, debido a un control riguroso requiere de numerosos sensores y una lógica sólida y eficaz.

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas de microcontroladores disponibles para la computación física. Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, y muchos otros ofrecen una funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los detalles complicados de la programación de microcontroladores y los envuelven en un paquete fácil de usar. Arduino también simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores, pero ofrece algunas ventajas sobre otros sistemas:

- **Barato** - Las placas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de microcontroladores. La versión más barata del módulo Arduino se puede montar a mano, e incluso los módulos Arduino premontados cuestan menos de 50 dólares.
- **Multiplataforma** - El software Arduino (IDE) funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los sistemas de microcontroladores están limitados a Windows.
- **Entorno de programación sencillo y claro** - El software Arduino (IDE) es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible como para que los usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para los profesores, está

convenientemente basado en el entorno de programación Processing, por lo que los estudiantes que aprendan a programar en ese entorno estarán familiarizados con el funcionamiento del IDE de Arduino.

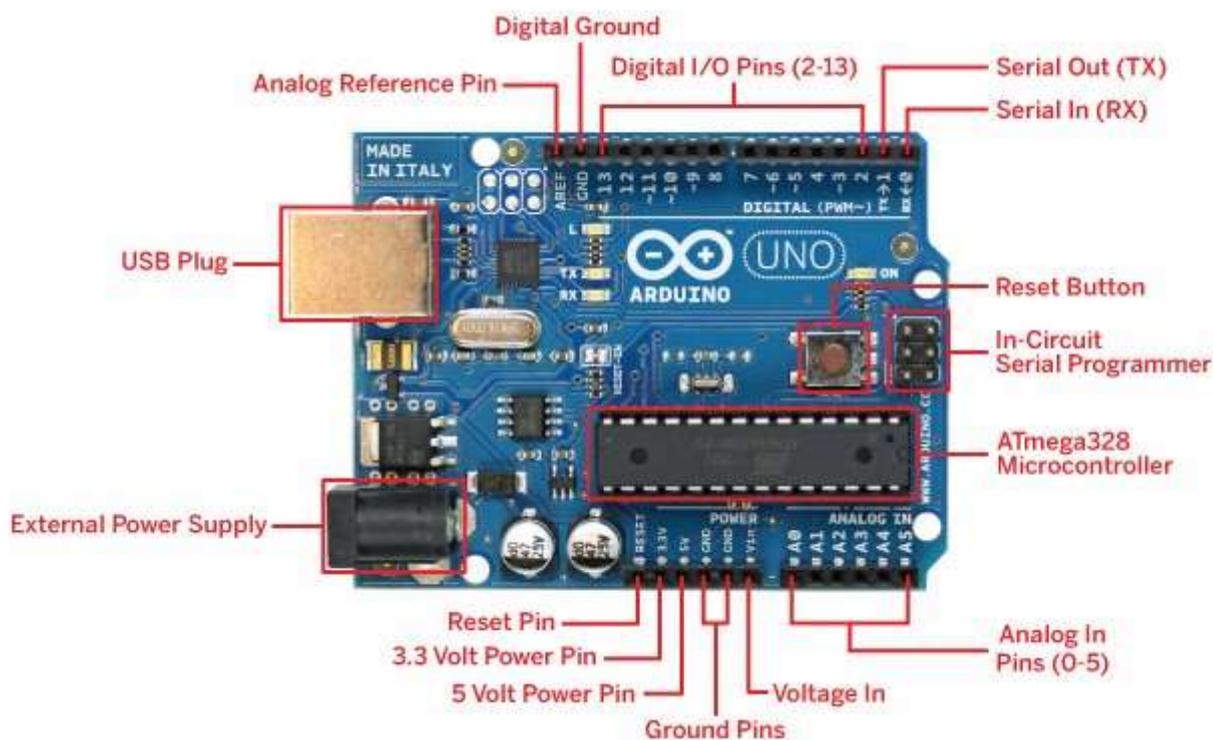
- **Software de código abierto y extensible** El software de Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponibles para su ampliación por parte de programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías C++, y las personas que quieran entender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino al lenguaje de programación AVR C en el que se basa. Del mismo modo, si lo deseas, puedes añadir código AVR-C directamente a tus programas Arduino.
- **Código abierto y hardware extensible** - Los planos de las placas Arduino se publican bajo una licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo. Incluso los usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión del módulo en una protoboard para entender su funcionamiento y ahorrar dinero.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS

Para saber que placa Arduino nos conviene escoger, tenemos que diseñar el proyecto que vamos a implementar. Con esto vamos a tener una idea de la cantidad de pines analógicos y digitales (normales y de tipo PWM o modulados por ancho de pulso para una salida analógica) que necesitamos para nuestro trabajo. Esto nos permitirá descartar todas aquellas placas que no dispongan de suficientes entradas para satisfacer nuestras necesidades o por el contrario descartar las de mayor número de pines y así reducir los costes.

También podemos deducir el tamaño del código que vamos a generar para nuestros sketches. Un programa muy largo, con muchas constantes y variables demandará una cantidad mayor de **memoria flash** para su almacenamiento, por lo que debemos elegir una placa con suficiente capacidad para un adecuado funcionamiento.

La RAM es la encargada de cargar los datos para su inmediato procesamiento y va ligada al microcontrolador, puesto que ambos afectan a la velocidad de procesamiento del Arduino.



*Ilustración 49. Placa Arduino básica, con principales componentes. Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)*

En los Arduinos oficiales podemos diferenciar entre dos tipos fundamentales de microcontroladores, los de 8 bits conocidos como ATmega AVR y los de 32 bits o SMART basados en ARM, ambos creados por la compañía Atmel. Para un proyecto de tamaño pequeño-mediano, uno de 8 bits nos ofrecerá un rendimiento más que favorable.

## 4.3 PLACAS ARDUINO

### 4.3.1 Placas oficiales

Se trata de placas fabricadas por la empresa italiana Smart Projects aunque algunas están diseñadas por la empresas estadounidenses SparkFun Electronics (SFE) y Gravitech. Incluso el gigante Intel ha colaborado en el diseño de alguna de estas placas. Estas placas están reconocidas oficialmente, incluyen el logo y son las únicas que pueden llevar la marca Arduino.

Entre las placas oficiales encontrarás varios modelos. Todas ellas están especialmente diseñadas para un propósito específico, son compatibles con los escudos y módulos oficiales, así como con el entorno Arduino IDE. Describiremos en detalle sus principales características para distinguirlas entre sí.

#### **4.3.2 Placas no oficiales**

Son placas compatibles con Arduino, pero no pueden estar registradas bajo el nombre de Arduino debido a que son diseñadas y fabricadas por otras compañías ajenas. Estos desarrolladores no aportan nada al desarrollo propio de Arduino, sino que son derivados que han salido para cubrir otras necesidades. Estas frecuentemente utilizan un nombre que integra el sufijo “duino” para identificarlas y son completamente legales.

Aun así, estas placas son perfectamente funcionales y además ofrecen una gran variedad de modelos que se pueden utilizar para proyectos más específicos. Además, esta competencia ayuda a regular el precio de las placas de Arduino, ya que gracias a la cantidad de empresas que realizan este tipo de placas, su precio es muy económico y se han convertido en métodos de enseñanza muy asequibles, ya que es una manera muy bien valorada de acercar a los alumnos con la programación y automatización de los procesos.

### 4.3.3 Modelos de Placas más Representativos

Entre la gran variedad de placas de Arduino que se encuentran actualmente en el mercado, vamos a explicar las más representativas, ya que muchos otros modelos parten de

#### Placa Arduino UNO



*Ilustración 50. Placa Arduino UNO. Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)*

La placa Arduino Uno es la más popular y, de hecho, es la que se encuentra en la mayoría de los kits de iniciación. El modelo Uno se considera la base a partir de la cual se incorporan diferentes configuraciones para crear otras placas.

Tiene el tamaño de una tarjeta de visita, cuenta con 14 pines digitales y 5 analógicos y requiere 5 voltios para funcionar. Se puede alimentar con un cable USB o con un adaptador de corriente.

Tiene un procesador ATMEGA328P con 32Kb de memoria donde puedes almacenar el código de tu proyecto, una capacidad bastante discreta para el estándar actual.

Es perfecto para iniciarse ya que integra suficientes funciones para empezar y es muy económico.

## Placa Arduino Leonardo



*Ilustración 51. Placa Arduino Leonardo. Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)*

La placa Arduino Leonardo es bastante similar a la Uno en apariencia. Integra el microcontrolador ATmega32u4 y cuenta con 20 pines de entrada y salida digital, un cristal oscilador de 16MHz, una conexión micro USB, toma de corriente opcional y un botón de reset.

Más allá de las diferencias técnicas, lo que diferencia al Arduino Leonardo es que la propia placa nos permite emular un teclado, un ratón o un joystick. Es decir, cuando se conecta a un ordenador, puede identificarlo como uno de los periféricos mencionados anteriormente. Lo más interesante de esta característica es que, por ejemplo, podrías crear tu propio teclado.

## Placa Arduino Genuino Uno

La placa Arduino/Genuino 101 es una placa con base en la Arduino Uno desarrollada por Arduino e Intel. Este modelo integra el procesador Intel Curie, especialmente diseñado para proporcionar alto rendimiento con un bajo consumo de energía con el SoC Intel Quark de 32 bits. Se trata de un SoC que contiene un microcontrolador x86 (una oportunidad única de programar en una plataforma x86, alejándose de los ATmega y los ARM), 80KB de SRAM (24KB disponible para sketches) y 384 KB de memoria flash.

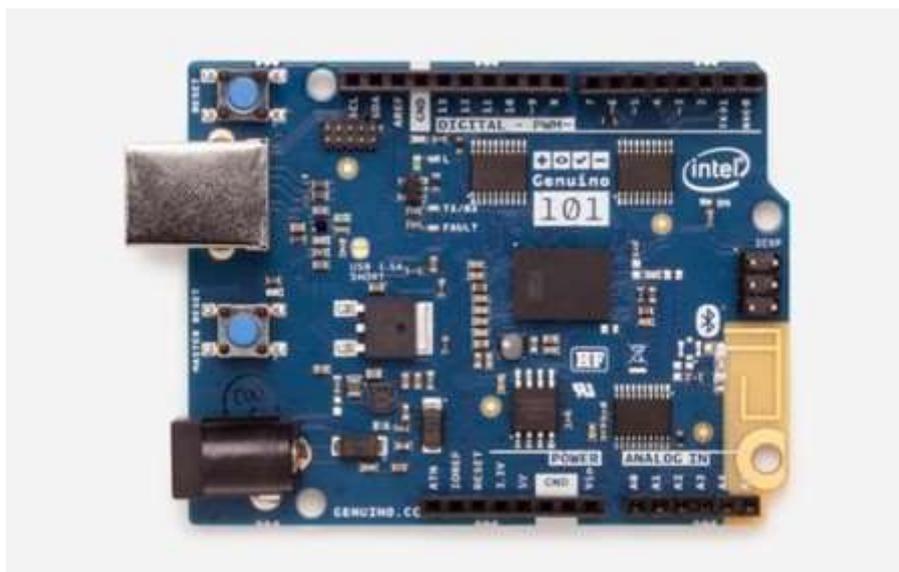


Ilustración 52. Placa Arduino Genuino. Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

La placa Arduino 101 incorpora el estándar Bluetooth de baja energía (BLE), acelerómetro de seis ejes y un giroscopio, unas funcionalidades muy interesantes para proyectos IoT (por ejemplo, para wearables o domótica) que puedan ser controlados desde el teléfono.

### **Placa Arduino Nano**

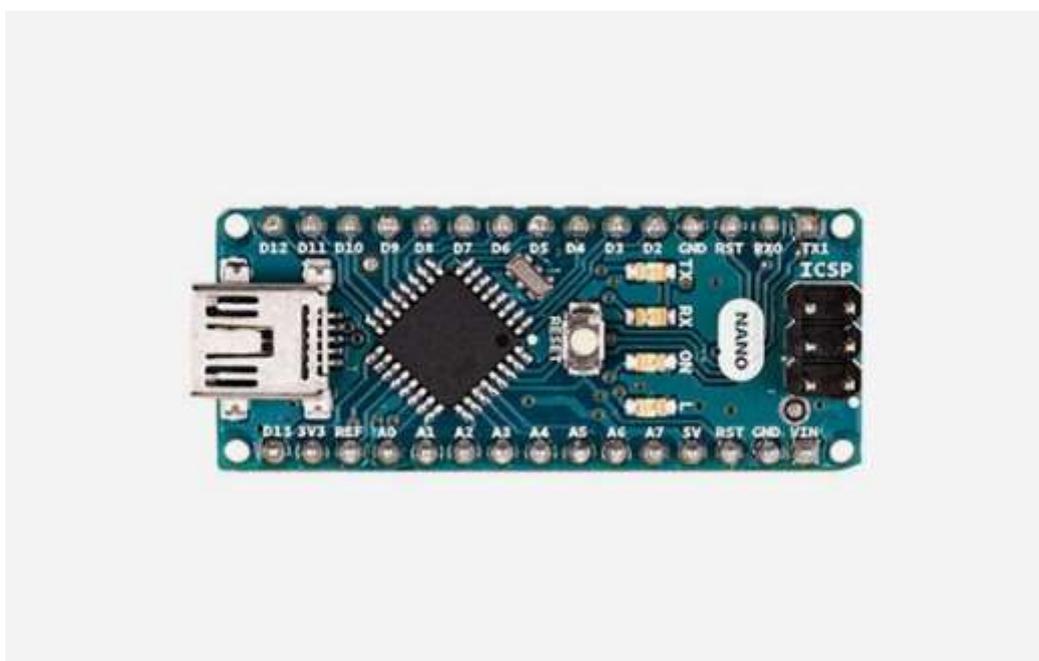
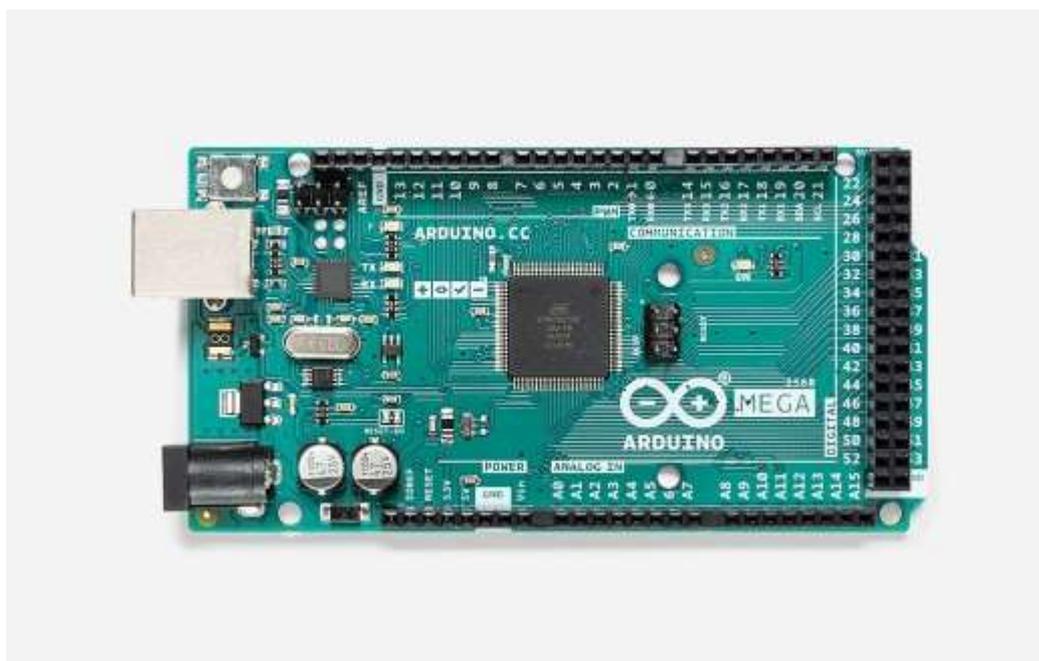


Ilustración 53. Placa Arduino Nano. Fuente: [www.arduino.com](http://www.arduino.com)

Sus dimensiones son muy reducidas, sólo 18,5×43,2 mm. Aunque su pequeño tamaño no le resta capacidad para ser un completo pero sí requiere un cable mini-USB y no tiene un conector de alimentación externo. Esta versión fue diseñada y producida por la empresa Gravitech, especialmente pensada para aplicaciones de bajo coste en las que el tamaño importa. Eléctricamente se comporta como un UNO, con 14 pines digitales (6 PWM) y 8 pines analógicos.

Pero sus capacidades se han reducido con las nuevas revisiones en busca de un menor consumo de energía. Como resultado, ha pasado de 32 a 16KB de flash (2 reservados para el bootloader), de 2 a 1KB de SRAM y de 1KB a 512 bytes de EEPROM.

### Arduino Mega



*Ilustración 54. Placa Arduino Mega. Fuente: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)*

Su nombre proviene del microcontrolador que lo maneja, un ATmega2560. Este chip trabaja a 16Mhz y con un voltaje de 5v. Sus capacidades son superiores al ATmega320 del Arduino UNO, aunque no tan superiores como las soluciones basadas en ARM. Este microcontrolador de 8 bits trabaja conjuntamente con una SRAM de 8KB, 4KB de EEPROM y 256KB de flash (8KB para el boot loader). Su

arquitectura se basa en AVR en vez de ARM. En cuanto a características electrónicas es bastante similar a los anteriores, sobre todo al UNO.

El número de pines es parecido al Arduino Due: 54 pines digitales (15 de ellos PWM) y 16 pines analógicos. Esta placa es idónea para quien necesita más pines y potencia de la que aporta UNO, pero el rendimiento necesario no hace necesario acudir a los ARM-based.

#### 4.4 ELECCIÓN REALIZADA

En nuestro proyecto, debemos controlar el movimiento de 2 cilindros de efecto doble y uno simple. Cada uno de los cilindros de doble efecto tiene 5 sensores finales de carrera repartidos por el recorrido del vástago, mientras que el cilindro simple posee solo dos sensores, uno al principio y otro al final del movimiento. Además, para realizar la medición, vamos a tener un sensor de distancia en el extremo del vástago del cilindro simple. Todos estos componentes forman parte del circuito de control y van a considerarse los inputs de nuestro sistema Arduino.

Además, como resultado de la lógica procesada con estos inputs, vamos a tener 7 salidas en nuestro circuito. Cuatro debido a la transmisión de las señales de control a las válvulas que gobiernan los cilindros de doble efecto dirección X e Y, otra para accionar el cilindro de simple efecto. Y, por último, otras cuatro salidas que manejarán los cilindros que abren y cierran la mordaza que sujeta al disco de freno.

Recopilando todos los componentes mencionados anteriormente, obtenemos un número de 14 inputs y de 8 outputs en nuestro circuito de Arduino.

Esta cualidad de nuestro circuito es clave a la hora de elegir el tipo de placa que vamos a utilizar, debido a que no todas ofrecen tal cantidad de ping de entrada y salida además de una capacidad suficiente para procesar rápidamente todos los datos y ofrecernos un comportamiento adecuado. Por estas razones, vamos a elegir la placa **Arduino Mega 2560**.

El Arduino Mega 2560 es una placa microcontroladora basada en el ATmega2560. Tiene 54 pines de entrada/salida digital (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie por hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctalo a un ordenador con un cable USB o aliméntalo con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega

---

2560 es compatible con la mayoría de los shields diseñados para el Uno y las antiguas placas Duemilanove o Diecimila.

Sus características técnicas son:

---

OVERVIEW	TECH SPECS	DOCUMENTATION	FAQ
----------	------------	---------------	-----

---

Microcontroller	<a href="#">ATmega2560</a>
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

*Ilustración 55. Especificaciones técnicas placa Arduino Mega 2560.*

Estas especificaciones técnicas hacen de la placa Arduino Mega 2560 una forma ideal de dar forma a nuestro proyecto, realizando un prototipo que cumpla con todas las exigencias solicitadas por el proceso real.

## 5. Language de programación C++

C++ es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al exitoso lenguaje de programación C con mecanismos que permitan la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el C++ es un lenguaje híbrido.

Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumó a los otros dos paradigmas que ya estaban admitidos (programación estructurada y la programación orientada a objetos). Por esto se suele decir que el C++ es un lenguaje de programación multiparadigma. Actualmente existe un estándar, denominado ISO C++,

C# es un lenguaje propietario de Microsoft que mezcla las características básicas de C++ (no las avanzadas) simplificándolas al estilo Java y ofreciendo un framework. C# forma parte de la plataforma .NET.

Características de C:

- Es el lenguaje de programación de propósito general asociado al sistema operativo UNIX.
- Es un lenguaje de medio nivel. Trata con objetos básicos como caracteres, números, etc... también con bits y direcciones de memoria.
- Posee una gran portabilidad
- Se utiliza para la programación de sistemas: construcción de intérpretes, compiladores, editores de texto, etc.

Aunque la interfaz IDE 1.8.15 de Arduino está basada en este lenguaje de programación y todos los comandos estándar funcionan correctamente, no todos los comandos de C++ son compatibles con Arduino. La referencia para el lenguaje de Arduino la podemos encontrar en su página principal.

### 5.1 PROGRAMACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

En cuanto a la programación del código de control de nuestro prototipo, vamos a realizar dos versiones. Una en la que el código sea más extendido, pero tenga una fácil comprensión y cada una de las condiciones bien definidas, y otra que utilice un

método iterativo para reducir considerablemente el número de comandos necesarios para dar servicio a nuestro proyecto.

### 5.1.1 Código, versión simplificada.

La principal característica de este código es el Contador, que va a determinar el paso de una fase del circuito a la siguiente, por lo que quedarán muy bien delimitados todas y cada una de las acciones que el circuito va a realizar.

Para comenzar con nuestra codificación, en primer lugar, vamos a declarar todas las variables input y output que necesitamos.

Damos nombre a los pins:

```
// Sensores en diferentes posiciones dirección X
int X0 = 1;
int X1 = 2;
int X2 = 3;
int X3 = 4;
int X4 = 5;
int X5 = 6;

// Sensores en diferentes posiciones dirección Y
int Y0 = 7;
int Y1 = 8;
int Y2 = 9;
int Y3 = 10;
int Y4 = 11;
int Y5 = 12;

// Sensores cilindro simple:
int P1 = 13; // Inicio del recorrido
int P3 = 14; // Final del recorrido

// válvulas electroneumáticas
int T1 = 15; // válvula avance "Cilindro dirección X"
int T3 = 16; // válvula retroceso "Cilindro dirección X"
int T5 = 17; // válvula avance "Cilindro Medición"
int T7 = 18; // válvula avance "Cilindro dirección Y"
int T8 = 19;
int T9 = 20; // válvula retroceso "Cilindro dirección Y"

// Variables Auxiliares
int MEDIDOR;
int ESTADO = HIGH;
int Contador = 1;
```

Como se puede observar, todos los sensores y entradas electromagnéticas de las válvulas tienen asociado su correspondiente pin de la placa Arduino. De esta forma montaríamos también el circuito físico, ya que sabríamos donde debe conectarse cada cable.

```
void setup() {
  pinMode(X0, INPUT);
  pinMode(X1, INPUT);
  pinMode(X2, INPUT);
  pinMode(X3, INPUT);
  pinMode(X4, INPUT);
  pinMode(X5, INPUT);
  pinMode(Y0, INPUT);
  pinMode(Y1, INPUT);
  pinMode(Y2, INPUT);
  pinMode(Y3, INPUT);
  pinMode(Y4, INPUT);
  pinMode(Y5, INPUT);
  pinMode(P1, INPUT);
  pinMode(P3, INPUT);

  pinMode(B1, INPUT);

  pinMode(T1, OUTPUT);
  pinMode(T3, OUTPUT);
  pinMode(T5, OUTPUT);
  pinMode(T7, OUTPUT);
  pinMode(T8, OUTPUT);
  pinMode(T9, OUTPUT);
}
```

Una vez cargados estos parámetros, damos comienzo a la parte de codificación que se encuentra dentro del loop. Esta consiste en un bucle cerrado que se repetirá hasta que nosotros queramos detenerlo.

Para dar comienzo a la prueba, primero vamos a verificar las condiciones iniciales de la máquina y no avanzaremos hasta que estas no se cumplan. Las condiciones iniciales conllevan el posicionamiento correcto del disco de freno, el cierre de la mordaza...

Cumpliendo estas premisas, damos pie al primer paso (Contador = 1).

```
void loop() {
  if (ESTADO1 == HIGH){ // Condiciones iniciales
    if (Contador == 1){
      digitalWrite(T1, HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
      dirección X.
      if (digitalRead(X1) == HIGH){
        Contador = 2; // Llegamos a la posición indicada para realizar la
        medición.
      }
    }
  }
}
```

Avanzamos el “Cilindro dirección X” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso X1, y vamos al siguiente paso (Contador = 2).

```
    if (Contador == 2){
        digitalWrite(T1,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección X.
        digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P3) == HIGH){
            digitalWrite(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
            Contador = 3;
        }
    }
```

Detenemos el “Cilindro dirección X” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 3).

```
    if (Contador == 3){
        digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P1)==HIGH){
            Contador = 4; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
        }
    }
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 4).

```
    if (Contador == 4);{
        digitalWrite(T1,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección X.
        if (digitalRead(X2)==HIGH){
            Contador = 5; // Llegamos a la posición indicada para realizar la
medición.
        }
    }
```

Avanzamos el “Cilindro dirección X” hasta que alcance la siguiente posición indicada para realizar la medida, en este caso X2, y vamos al siguiente paso (Contador = 5).

```
    if (Contador == 5){
        digitalWrite(T1,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección X.
        digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P3) == HIGH){
            digitalWrite(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
            Contador = 6;
        }
    }
```

```
}

```

Detenemos el “Cilindro dirección X” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 6).

```

if (Contador == 6){
    digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P1)==HIGH){
        Contador = 7; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
    }
}

```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 7).

```

if (Contador == 7){
    digitalWrite(T1,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección X.
    if (digitalRead(X4)==HIGH){
        Contador = 8; // Llegamos a la posición indicada para realizar la
medición.
    }
}

```

Avanzamos el “Cilindro dirección X” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso X4, y vamos al siguiente paso (Contador = 8).

```

if (Contador == 8){
    digitalWrite(T1,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección X.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P3) == HIGH){
        digitalRead(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
        Contador = 9;
    }
}

```

Detenemos el “Cilindro dirección X” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3,

posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 9).

```
if (Contador == 9){
    digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P1)==HIGH){
        Contador = 10; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
    }
}
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 10).

```
if (Contador == 10);{
    digitalWrite(T1,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección X.
    if (digitalRead(X5)==HIGH){
        Contador = 11; // Llegamos a la posición indicada para realizar
la medición.
    }
}
```

Avanzamos el “Cilindro dirección X” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso X5, y vamos al siguiente paso (Contador = 11).

```
if (Contador == 11){
    digitalWrite(T1,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección X.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P3) == HIGH){
        digitalWrite(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
        Contador = 12;
    }
}
```

Detenemos el “Cilindro dirección X” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 12).

```
if (Contador == 12){
    digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
```

```

    if (digitalRead(P1)==HIGH){
        Contador = 13; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
    }
}

```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 13).

```

if (Contador == 13){
    digitalWrite(T3,HIGH); //Hacemos retroceder el cilindro dirección X.

    digitalWrite(T9,HIGH); //Hacemos retroceder el cilindro dirección Y.
    Contador = 14;
}

```

Una vez realizada la medición en la posición X5, hemos terminado de comprobar los puntos situados en el eje X y comenzamos con los del eje Y. Para ello hacemos retroceder el “Cilindro dirección X” hasta la X3 y el “Cilindro posición Y”, que se encuentra en Y3, lo desplazamos hasta Y0, situándonos así en (X3,Y0).

Continuamos con el siguiente paso (Contador = 10).

```

if (Contador == 14){
    if (digitalRead(X3)==HIGH){
        digitalWrite(T3,LOW); // En cuanto alcanzamos la posición X3,
frenamos el cilindro X.
    }
    if (digitalRead(Y0)==HIGH){
        digitalWrite(T9,LOW); // En cuanto alcanzamos la posición Y0,
frenamos el cilindro Y.
    }
    if (digitalRead(X3) == HIGH && digitalRead(Y0) == HIGH){
        Contador = 15;
    }
}
}

```

Una vez comprobado que estamos en la posición correcta (X3,Y0), damos paso a la toma de medidas en el eje Y.

```

if (Contador == 15);{
    digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección Y.
    if (digitalRead(Y1)==HIGH){
        Contador = 16; // Llegamos a la posición indicada para realizar
la medición.
    }
}
}

```

Avanzamos el “Cilindro dirección Y” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso Y1, y vamos al siguiente paso (Contador = 16).

```
if (Contador == 16){
    digitalWrite(T7,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
    dirección Y.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
    medidor.
    if (digitalRead(P3) == HIGH){
        digitalRead(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
        Contador = 17;
    }
}
```

Detenemos el “Cilindro dirección Y” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 17).

```
if (Contador == 17){
    digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
    medidor.
    if (digitalRead(P1)==HIGH){
        Contador = 18; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
        cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
    }
}
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 18).

```
if (Contador == 18);{
    digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
    dirección Y.
    if (digitalRead(Y2)==HIGH){
        Contador = 19; // Llegamos a la posición indicada para realizar
        la medición.
    }
}
```

Avanzamos el “Cilindro dirección Y” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso Y2, y vamos al siguiente paso (Contador = 19).

```
if (Contador == 19){
```

```
    digitalWrite(T7,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección Y.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P3) == HIGH){
        digitalRead(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
        Contador = 20;
    }
}
```

Detenemos el “Cilindro dirección Y” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 20).

```
    if (Contador == 20){
        digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P1)==HIGH){
            Contador = 21; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
        }
    }
}
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 21).

```
    if (Contador == 21);{
        digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección Y.
        if (digitalRead(Y4)==HIGH){
            Contador = 22; // Llegamos a la posición indicada para realizar
la medición.
        }
    }
}
```

Avanzamos el “Cilindro dirección Y” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso Y4, y vamos al siguiente paso (Contador = 22).

```
    if (Contador == 22){
        digitalWrite(T7,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección Y.
        digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P3) == HIGH){
            digitalRead(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
            Contador = 23;
        }
    }
}
```

Detenemos el “Cilindro dirección Y” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 23).

```
if (Contador == 23){
    digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P1)==HIGH){
        Contador = 24; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
    }
}
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 24).

```
if (Contador == 24);{
    digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos el movimiento del Cilindro
dirección Y.
    if (digitalRead(Y5)==HIGH){
        Contador = 25; // Llegamos a la posición indicada para realizar
la medición.
    }
}
```

Avanzamos el “Cilindro dirección Y” hasta que alcance una de las posiciones indicadas para realizar la medida, en este caso Y5, y vamos al siguiente paso (Contador = 25).

```
if (Contador == 25){
    digitalWrite(T7,LOW); // Desactivamos el movimiento del cilindro
dirección Y.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Hacemos descender el cilindro con el
medidor.
    if (digitalRead(P3) == HIGH){
        digitalWrite(MEDIDOR); // Tomamos la medida.
        Contador = 26;
    }
}
```

Detenemos el “Cilindro dirección Y” y activamos la válvula T5, que provocará el descenso del cilindro con el sensor para realizar la medida. En cuanto llegamos a P3, posición de máximo alcance del cilindro, tomamos la medida y continuamos con el siguiente paso (Contador = 26).

```
    if (Contador == 26){
        digitalWrite(T5,LOW); // Hacemos retroceder al cilindro con el
medidor.
        if (digitalRead(P1)==HIGH){
            Contador = 27; // Cuando el sensor de posición nos indica que el
cilindro ha retrocedido, pasamos a la siguiente acción.
        }
    }
}
```

Desconectamos la válvula del “Cilindro medidor” que, al ser de simple efecto, hará que el cilindro retroceda hasta su posición inicial (P1). Continuamos con el siguiente paso (Contador = 27).

```
if (Contador == 27){
    digitalWrite(T3,HIGH); // Movemos hacia atrás el cilindro dirección
X.
    digitalWrite(T9,HIGH); // Movemos hacia atrás el cilindro dirección
Y.
    Contador = 28;
}
```

En este paso, hemos terminado de realizar el control de calidad, ya que han sido tomadas todas las medidas en las posiciones indicadas. Por lo tanto, vamos a proceder a retirar el brazo robot para que el disco de freno pueda ser extraído sin dificultad (Contador = 28).

```
if (Contador == 28){
    if (digitalRead(X0)==HIGH){
        digitalWrite(T3,LOW); // En cuanto alcanzamos la posición X0,
frenamos el cilindro X.
    }
    if (digitalRead(Y3)==HIGH){
        digitalWrite(T9,LOW); // En cuanto alcanzamos la posición Y3,
frenamos el cilindro Y.
    }
    if (digitalRead(X0) == HIGH && digitalRead(Y3) == HIGH){
        Contador = 29;
    }
}
}
```

Una vez alcanzada la posición final del brazo, que va a ser la misma que la posición inicial, desconectamos las válvulas. Teniendo el brazo en la posición (X0,Y3), indicamos que ya es seguro realizar la extracción de la pieza, y pasamos a la siguiente fase (Contador 29).

### 5.1.2 Código, versión método iterativo

Como podemos observar, el código tiene un patrón que se repite, tanto en el movimiento en el eje X como en el eje Y del brazo robot. Por lo tanto, este código se puede reducir utilizando comandos que generen un bucle en el que se realicen estos pasos.

De esta forma obtenemos el siguiente código:

Primero declaramos las variables que representan los sensores y las válvulas de distribución, además otras variables adicionales necesarias para el funcionamiento del código:

```
int X0 = 1; // Sensores
int X1 = 2;
int X2 = 3;
int X3 = 4;
int X4 = 5;
int X5 = 6;

int Y0 = 7;
int Y1 = 8;
int Y2 = 9;
int Y3 = 10;
int Y4 = 11;
int Y5 = 12;

int P1 = 13;
int P3 = 14;

int T1 = 15; // Válvulas
int T3 = 16;
int T5 = 17;
int T7 = 18;
int T8 = 19;
int T9 = 20;
int MEDIDA = LOW;
int Transicion1 = LOW; // Variables adicionales
int Transicion2 = LOW;
int ESTADO1 = HIGH;
int ESTADO2 = LOW;
```

Seguidamente, en el setup marcamos estas variables como entradas o salidas:

```
void setup() {
  pinMode(X0, INPUT);
  pinMode(X1, INPUT);
  pinMode(X2, INPUT);
  pinMode(X3, INPUT);
  pinMode(X4, INPUT);
  pinMode(X5, INPUT);
  pinMode(Y0, INPUT);
  pinMode(Y1, INPUT);
  pinMode(Y2, INPUT);
  pinMode(Y3, INPUT);
  pinMode(Y4, INPUT);
```

```

pinMode (Y5, INPUT);
pinMode (P1, INPUT);
pinMode (P3, INPUT);

pinMode (B1, INPUT);

pinMode (T1, OUTPUT);
pinMode (T3, OUTPUT);
pinMode (T5, OUTPUT);
pinMode (T7, OUTPUT);
pinMode (T8, OUTPUT);
pinMode (T9, OUTPUT);
}

```

Y comenzamos con la elaboración de la parte del loop, donde diseñaremos el movimiento del circuito.

Como condiciones para comenzar el movimiento, tenemos que ESTADO1 este activa. ESTADO1 y ESTADO2 dividen el código en la parte en la que el brazo se mueve en el Eje X y en la que se mueve en el eje Y respectivamente, y sirven como variables de seguridad para evitar solapamientos en el código.

```

void loop() {
  if (ESTADO1 == HIGH){ // Variable de seguridad

```

Aquí tenemos un if de múltiples condiciones. Solo queremos que se active cuanto B1 está alta y no nos encontramos en ninguna de las posiciones determinadas para realizar la medida. Por lo tanto, vamos a hacer que el cilindro dirección X avance.

```

    if (digitalRead(B1)==HIGH && digitalRead(X1)==LOW &&
digitalRead(X2)==LOW && digitalRead(X4)==LOW && digitalRead(X5)==LOW) {
      digitalWrite(T1,HIGH); // Activamos avance Cilindro desplazamiento X.
    }

```

En cuanto alcanzamos una de las posiciones deseadas, desactivamos el avance haciendo que pare el cilindro y activamos el palpador neumático, que cuando llega a su estado de máxima extensión P3, toma la medida.

```

else{
  digitalWrite(T1,LOW); // Detenemos avance Cilindro desplazamiento X.
  digitalWrite(T5,HIGH); // Activamos palpador neumático.
  if (digitalRead(P3)==HIGH) {
    MEDIDA = HIGH;

```

Una vez tomada la medida, desactivamos la alimentación del palpador haciendo que vuelva a su posición inicial, ya que funciona por retorno con muelle. En el momento en el que llega a P1, posición inicial, reactivamos el avance del cilindro desplazamiento en X, y salimos del While haciendo de la MEDIDA low.

```

while (MEDIDA==HIGH) {
    digitalWrite (T5,LOW);
    if (digitalRead(P1)== HIGH) {
        digitalWrite (T1,HIGH);
        MEDIDA = LOW;
    }
}
}
}

```

Con esta parte del código que acabamos de explicar, se realizan las medidas en todos los puntos del eje X de la pieza. En el momento en el que se realiza la última medida en X5, activamos la variable transición.

Esta variable nos ayuda a colocar el brazo robot en la posición X3 Y0, para empezar a realizar las medidas en el eje Y.

```

if (digitalRead(X5)==HIGH && digitalRead(P1)==HIGH) {
    Transicion1 = HIGH;
    while (Transicion1 == HIGH) {
        digitalWrite (T1,LOW);
        if (digitalRead(X3)==HIGH) {
            digitalWrite (T3,LOW);
        }
        else{
            digitalWrite (T3,HIGH);
        }

        digitalWrite (T7,LOW);
        if (digitalRead(Y0)==HIGH) {
            digitalWrite (T9,LOW);
        }
        else{
            digitalWrite (T9,HIGH);
        }
    }
}
}
}

```

En cuanto alcanzamos la posición deseada, iniciamos la transición del ESTADO1 al ESTADO2.

```

if(digitalRead(Y0)==HIGH && digitalRead(X3)==HIGH) {
    Transicion1 = LOW;
    ESTADO1 = LOW;
    ESTADO2 = HIGH;
}
}
}

```

```
}

```

El código utilizado para el movimiento del brazo en el eje Y tiene la misma estructura que el utilizado en el movimiento en el eje X, pero cambiando las variables.

```
if (ESTADO2==HIGH) {

```

Partimos de un if con múltiples condiciones que nos inicie el movimiento del brazo en el eje Y.

```
if (digitalRead(B1)==HIGH && digitalRead(Y1)==LOW &&
digitalRead(Y2)==LOW && digitalRead(Y4)==LOW && digitalRead(Y5)==LOW) {
    digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos avance cilindro eje Y.
}

```

Si alcanzamos una de las posiciones indicadas para realizar la medición, detenemos el avance, activamos el palpador neumático y realizamos la medida.

```
else{
    digitalWrite(T7,LOW); // Detenemos avance cilindro dirección Y.
    digitalWrite(T5,HIGH); // Alimentamos palpador neumático.
    if (digitalRead(P3)==HIGH) {
        MEDIDA = HIGH;
    }
}

```

Tal y como hicimos anteriormente, con la medida realizada dejamos de alimentar al palpador para que vuelva a su posición inicial, y en cuanto alcance está, activamos de nuevo el avance en la dirección Y.

```
while (MEDIDA==HIGH) {
    digitalWrite(T5,LOW); // Desactivamos la alimentación del palpador
    if (digitalRead(P1)== HIGH) {
        digitalWrite(T7,HIGH); // Activamos avance del cilindro Eje Y
        MEDIDA = LOW;
    }
}
}
}
}

```

Una vez completadas todas las mediciones, procedemos con la segunda transición. Esta nos facilitará el movimiento del brazo robot a su posición inicial X0, Y3.

```
if (digitalRead(Y5)==HIGH && digitalRead(P1)==HIGH) {
    Transicion2 = HIGH;
    while (Transicion2 == HIGH) {

```

Aseguramos que la válvula de avance del cilindro dirección X se encuentra desconectada.

```
digitalWrite(T1,LOW);
```

Si alcanza la posición deseada, desactivamos también la de retroceso, sino está estará activa hasta que se cumple esta premisa.

```
if (digitalRead(X0)==HIGH) {
    digitalWrite(T3,LOW);
}
else{
    digitalWrite(T3,HIGH); // Retroceso del cilindro dirección X.
}
```

Aseguramos que la válvula de avance del cilindro dirección Y se encuentra desconectada.

```
digitalWrite(T7,LOW);
```

Si alcanza la posición deseada, desactivamos también la de retroceso, sino está estará activa hasta que se cumple esta premisa.

```
if (digitalRead(Y3)==HIGH) {
    digitalWrite(T9,LOW);
}
else{
    digitalWrite(T9,HIGH); // Retroceso del cilindro dirección Y.
}

if(digitalRead(Y3)==HIGH && digitalRead(X0)==HIGH) {
    Transicion2 = LOW;
    ESTADO1 = HIGH;
    ESTADO2 = LOW;
}
}
}
}
```

Al finalizar esta última transición se da por terminada la prueba de calidad, por lo tanto, volvemos a activar el ESTADO1 para que la maquina esté preparada en el caso de que se quiera comprobar otra pieza.

En cuanto al código, podemos apreciar que ha quedado mucho más reducido en tamaño que el anterior, ya que al tener un patrón de movimientos que se repite en la prueba de calidad, se pueden agrupar dentro de un bucle y así obtener una versión reducida y más elaborada.

## DOCUMENTACIÓN ANEXOS

## 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FABRICANTE DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS

### 6.1 ACTUADORES NEUMÁTICO

#### 6.1.1 Cilindros neumáticos para el movimiento del brazo

Cilindros neumáticos DSNU-20-300-P-A.

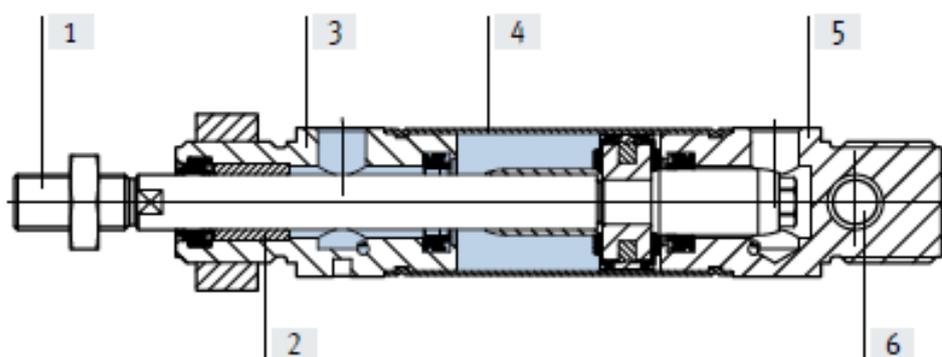


Ilustración 56. Cilindros neumáticos DSNU-20-300-P-A. Fuente: [www.festo.com](http://www.festo.com)

Características	Propiedades
Carrera	300 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Rosca del vástago	M8
Abreviatura de tipo	DSNU
Amortiguación	Amortiguación por topes elásticos/placas en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de posición	Para sensor de proximidad

Símbolo	00991217
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.1 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento	1 bar ... 10 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.2 J
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	158.3 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	188.5 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	44 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	7.2 g
Peso básico con carrera de 0 mm	186.8 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	4 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Aleación de forja de aluminio Anodizado incoloro
Material de las juntas	NBR TPE-U (PU)
Material del vástago	Acero inoxidable de alta aleación
Material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de alta aleación

### 6.1.2 Cilindros neumáticos para el movimiento de las mordazas

Cilindros neumáticos DSNU-20-100-PPV-A.

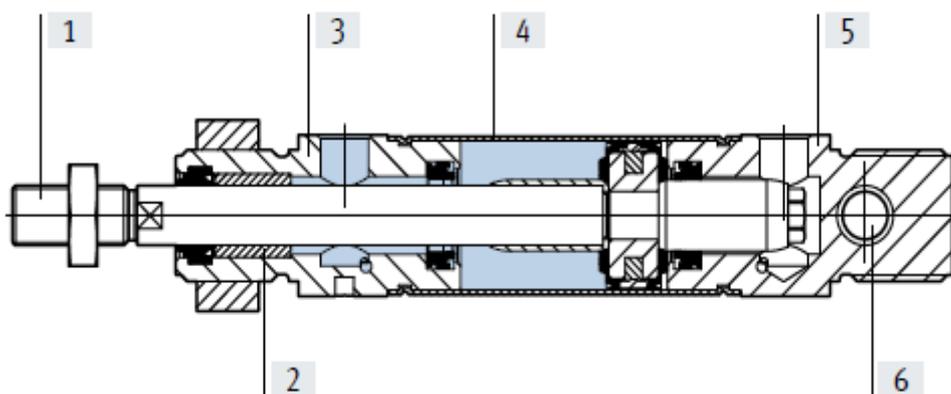


Ilustración 57. Cilindro neumático DSNU-20-100-PPV-A. Fuente [www.festo.com](http://www.festo.com)

Características	Propiedades
Carrera	100 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Rosca del vástago	M8
Abreviatura de tipo	DSNU
Amortiguación	Amortiguación neumática/regulable en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991235
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.1 MPa ... 1 MPa

Presión de funcionamiento	1 bar ... 10 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.2 J
Longitud de amortiguación	15 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	158.3 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	188.5 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	44 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	7.2 g
Peso básico con carrera de 0 mm	186.8 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	4 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Aleación de forja de aluminio Anodizado incoloro
Material de las juntas	NBR TPE-U (PU)
Material del vástago	Acero inoxidable de alta aleación
Material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de alta aleación

## 6.2 SENSOR DE DISTANCIA

Palpador Neumático INELTA serie LVDT-ISAP-20-K.

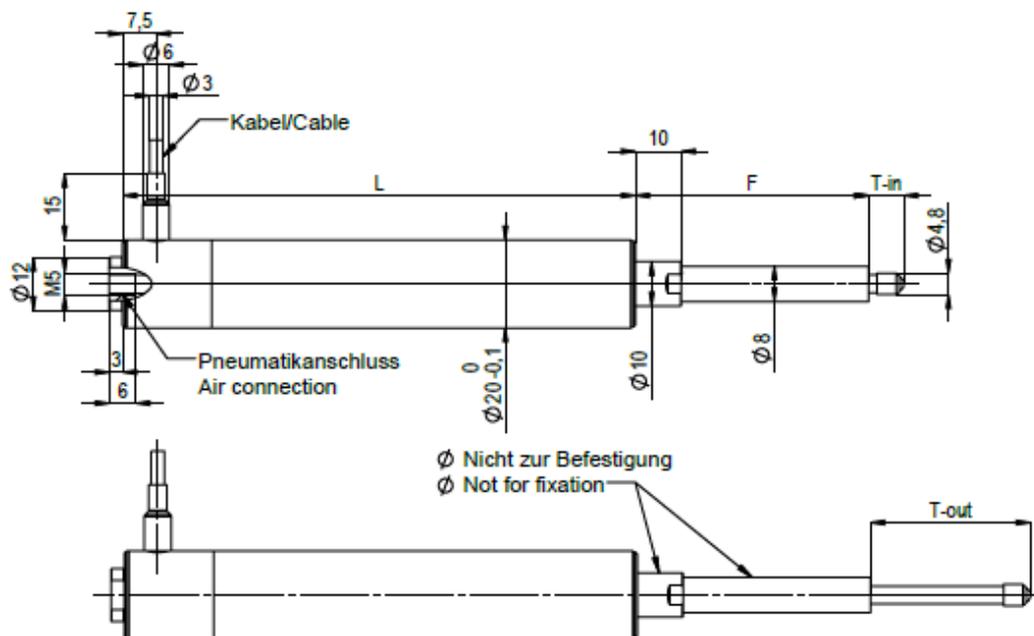


Ilustración 58. Palpador Neumático INELTA serie LVDT-ISAP-20-K.

Características	Propiedades
Funcionamiento	Avance neumático Retorno por muelle
Desplazamiento	50 mm
Conexión	cable
Longitud carcasa (L)	160 mm
Longitud brida (F)	100 mm
Posición T-in	9 mm
Posición T-out	27,5 mm
Desviación Lineal	< $\pm 0,5$ %
Rango de T° de trabajo	-20...+120
Material	Acero niquelado
Protección	IP65

## 6.3 PLACA ARDUINO

Arduino Mega 2560



*Placa Arduino ATmega2560*

<b>Características</b>	<b>Propiedades</b>
Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límite)	6-20 V
Pines de E/S digitales	54 (15 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente CC por pin E/S	20 mA
Corriente CC para pin de 3.3 V	50 mA
Memoria flash	256 KB de los cuales 8 KB utiliza el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Largo	101,52 mm
Ancho	53,3 mm
Peso	37 g

## 7. MARCADO CE MAQUINARIA

### Máquina

Nuestra máquina de comprobación de planitud se encuentra afectada por la directiva de máquinas 2006/42/CE para recibir su marcado CE. La directiva 2006/42/CE de Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE; traspuesta a la legislación española mediante el RD 1644/2008 del 10 de octubre de 2008. Esta directiva se aplica a todas las máquinas fabricadas desde 1995 en adelante, y define como máquina al *conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal.*

- Este Real Decreto obliga al fabricante o a su representante autorizado, antes de proceder a la comercialización o puesta en servicio de una máquina a de:
- Asegurar que esta cumple los pertinentes requisitos esenciales de seguridad y salud.
- Asegurar de que este disponible el expediente técnico.
- Facilitar en particular la información necesaria, como sería las instrucciones.
- Llevar a cabo los oportunos procedimientos de evaluación de la conformidad.
- Redactar la declaración CE de conformidad y asegurarse de que dicha declaración se adjunta a la máquina.
- Colocar el marcado CE.

### Circuito eléctrico

En lo referente al circuito eléctrico que hemos diseñado, tenemos la directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

El objetivo de la presente Directiva es asegurar que el material eléctrico comercializado cumpla los requisitos que proporcionan un elevado nivel de protección

de la salud y la seguridad de las personas, y de los animales domésticos y de los bienes, y garantizar al mismo tiempo el funcionamiento del mercado interior.

La presente Directiva se aplicará al material eléctrico destinado a utilizarse con una tensión nominal comprendida entre 50 y 1 000 V en corriente alterna y entre 75 y 1 500 V en corriente continua.

### **Circuito electromagnético**

Al circuito electromagnético del que disponemos debido a la utilización de un PLC, se le aplica la directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición). Esta directiva se aplica a los aparatos, y define como tales a *cualquier aparato acabado, o una combinación de ellos comercializada como unidad funcional única destinada al usuario final, y que pueda generar perturbaciones electromagnéticas, o cuyo funcionamiento pueda verse afectado por estas perturbaciones.*

Los requisitos de esta directiva implican que el diseño y la fabricación de los equipos, habida cuenta de los avances más recientes, garantizarán:

- a) que las perturbaciones electromagnéticas generadas queden limitadas a un nivel que permita a los equipos de radio y de telecomunicaciones u otros equipos funcionar con el fin para el que han sido previstos;
- b) un nivel de protección frente a las perturbaciones electromagnéticas previsibles que permita al equipo funcionar sin una degradación inaceptable en su uso previsto.

### **Normas aplicadas**

Al no estar dentro del Anexo IV del RD 1644/2008, esta certificación es autocertificable por el fabricante, no siendo necesaria ninguna certificación externa.

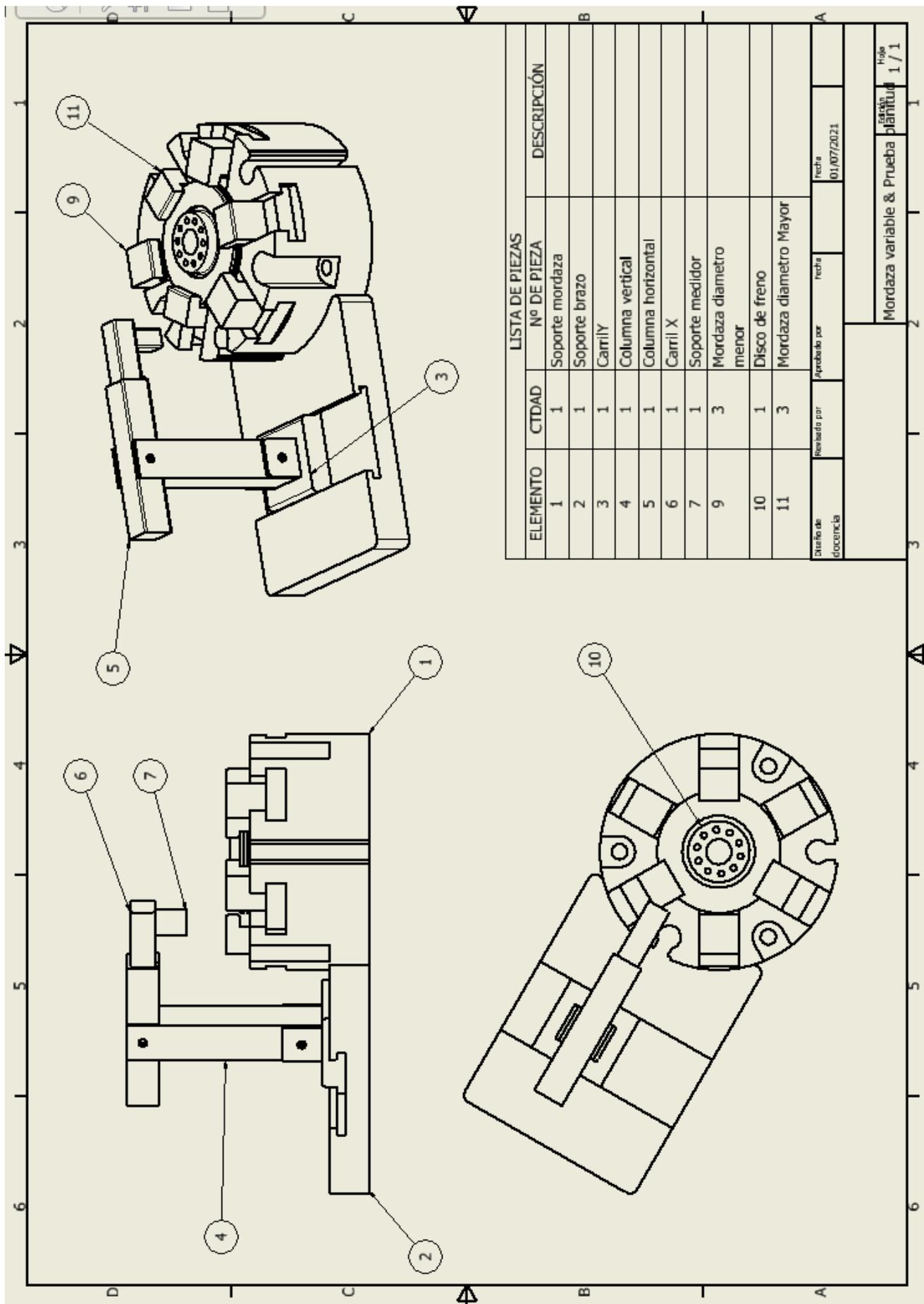
Documentación de referencia:

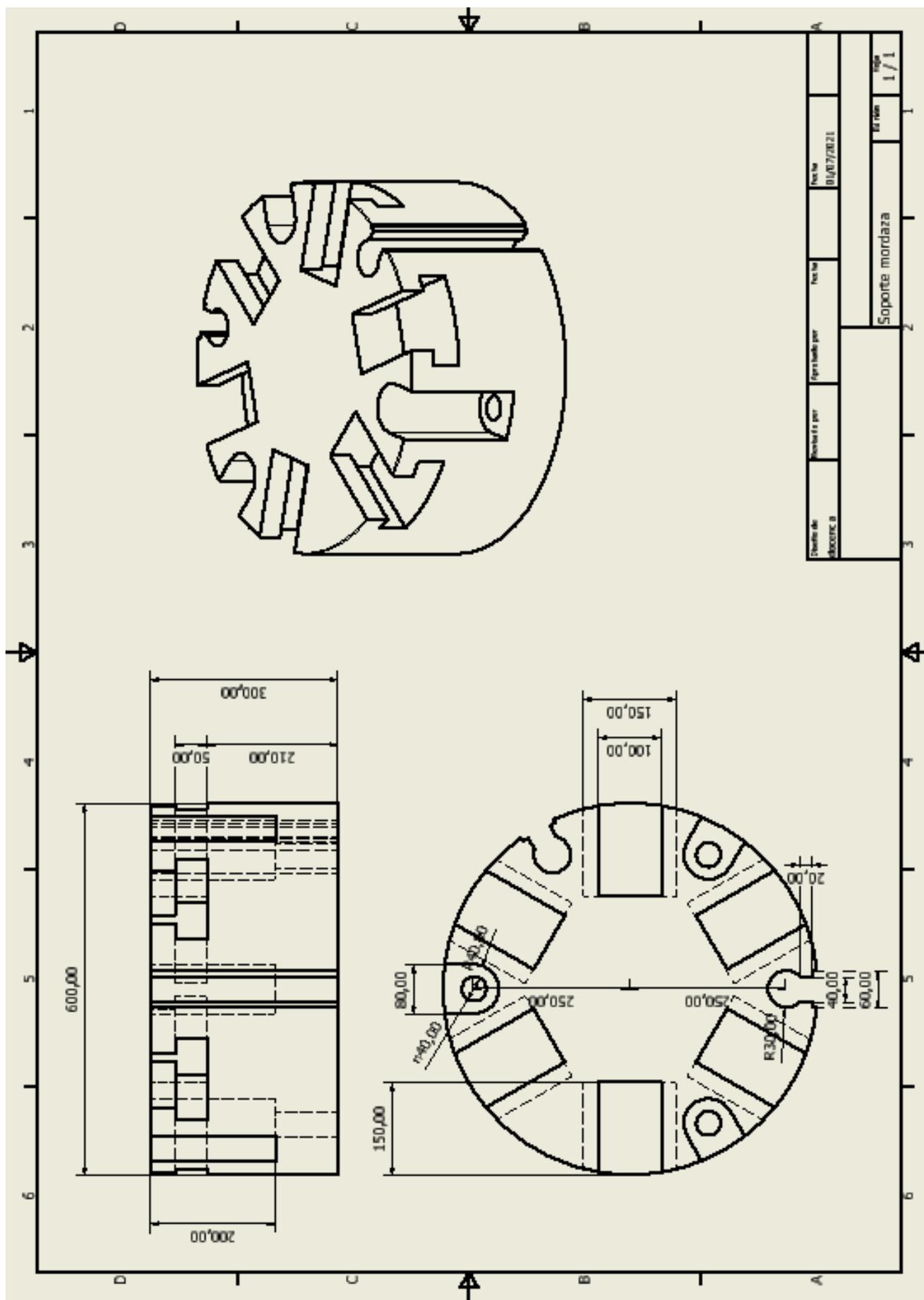
- Directiva 2006/42/CE de Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE;

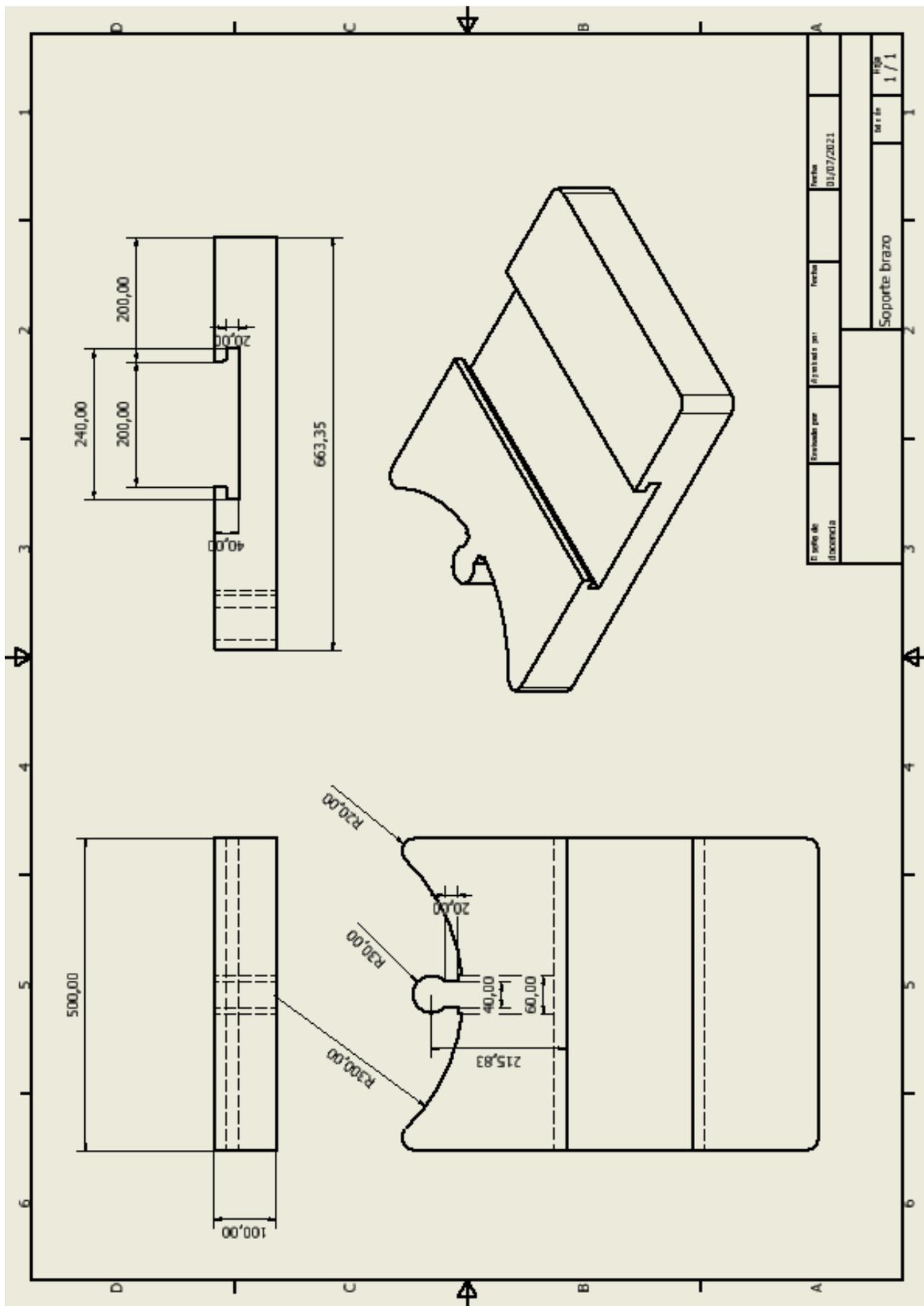
traspuesta a la legislación española mediante el RD 1644/2008 del 10 de Octubre de 2008.

- RD 485/97 sobre las disposiciones mínimas de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- RD 486/97 que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Norma UNE-EN-ISO 12100, “Seguridad en Máquinas, Conceptos básicos, principios generales para el diseño Parte 1” Terminología básica metodología.
- Norma UNE-EN-ISO 12100, “Seguridad en Máquinas, Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2”. Principios y Especificaciones Técnicas.
- Norma UNE-EN-ISO 13857-1 “Seguridad en Máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores”.
- Norma UNE-EN ISO 12042-8 “Seguridad en Máquinas. Distancias de seguridad para impedir el aplastamiento del cuerpo humano”.
- Norma UNE-EN 953 “Seguridad en Máquinas. Resguardos requisitos generales para el diseño de Resguardos fijos y móviles.
- Norma UNE-EN 981 “Seguridad en Máquinas. Sistemas de señalización de peligro”.
- Norma UNE-EN-ISO 14121 “Seguridad en Máquinas. Principios para la evaluación del riesgo”.

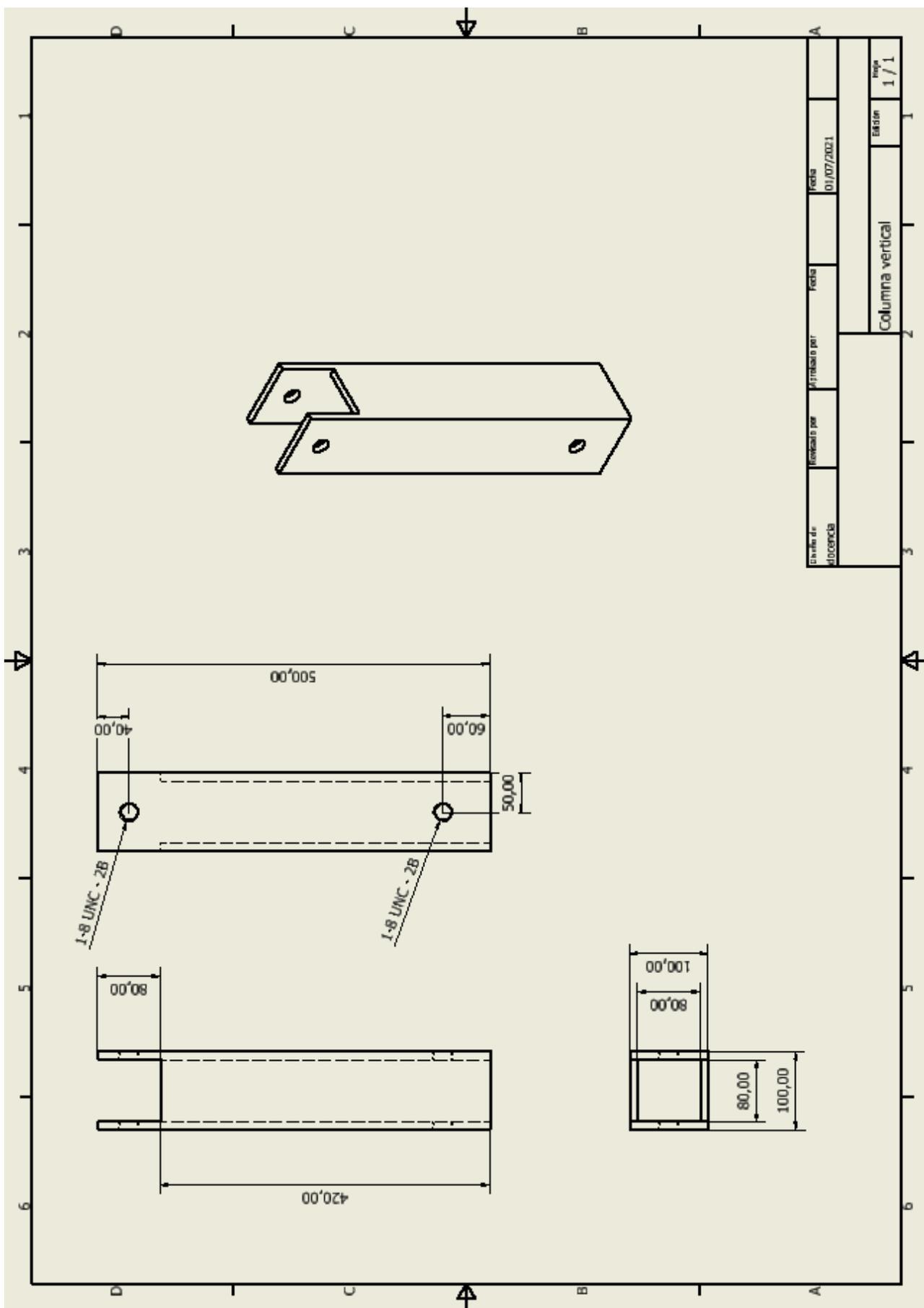
## 8. PLANOS

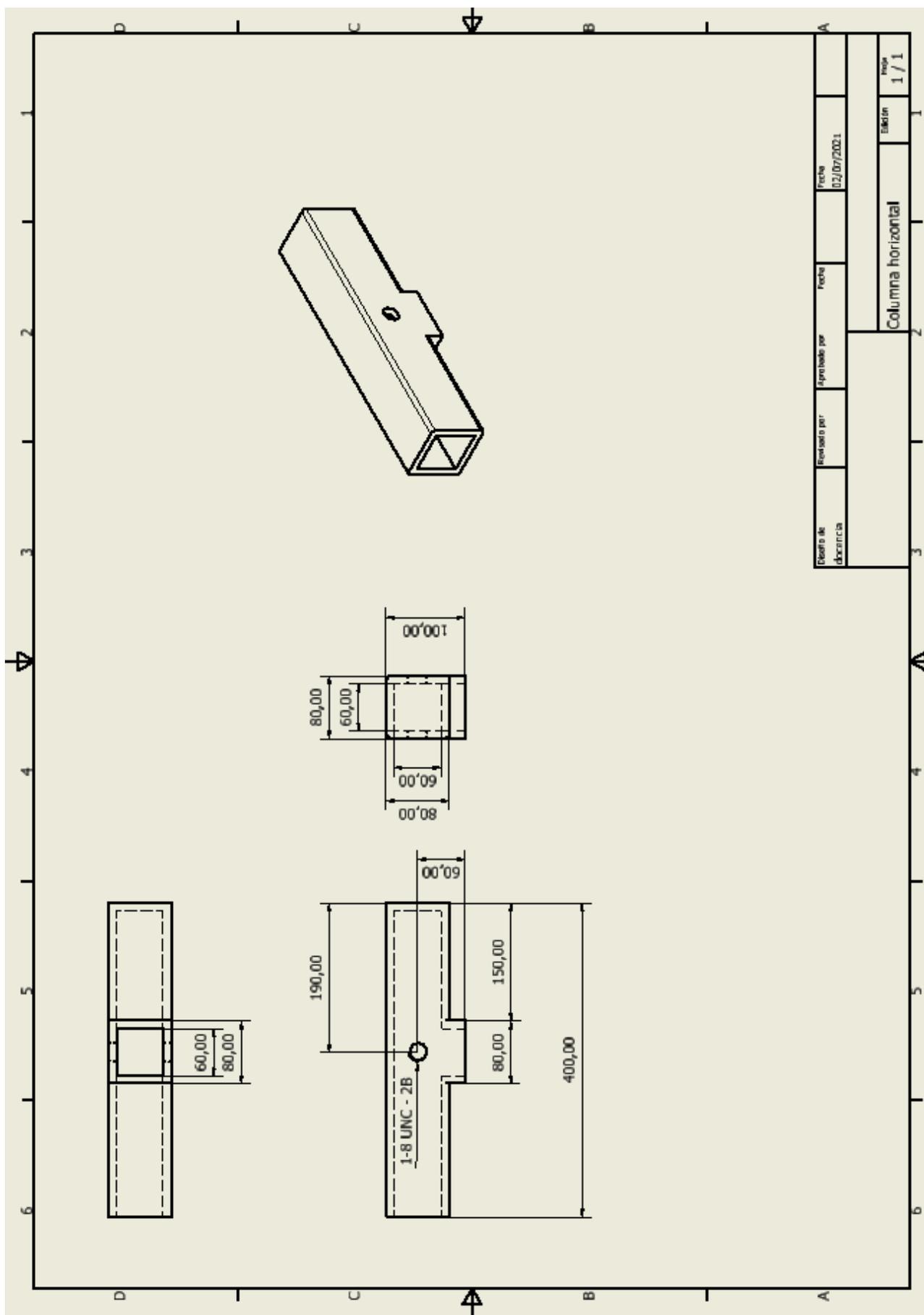




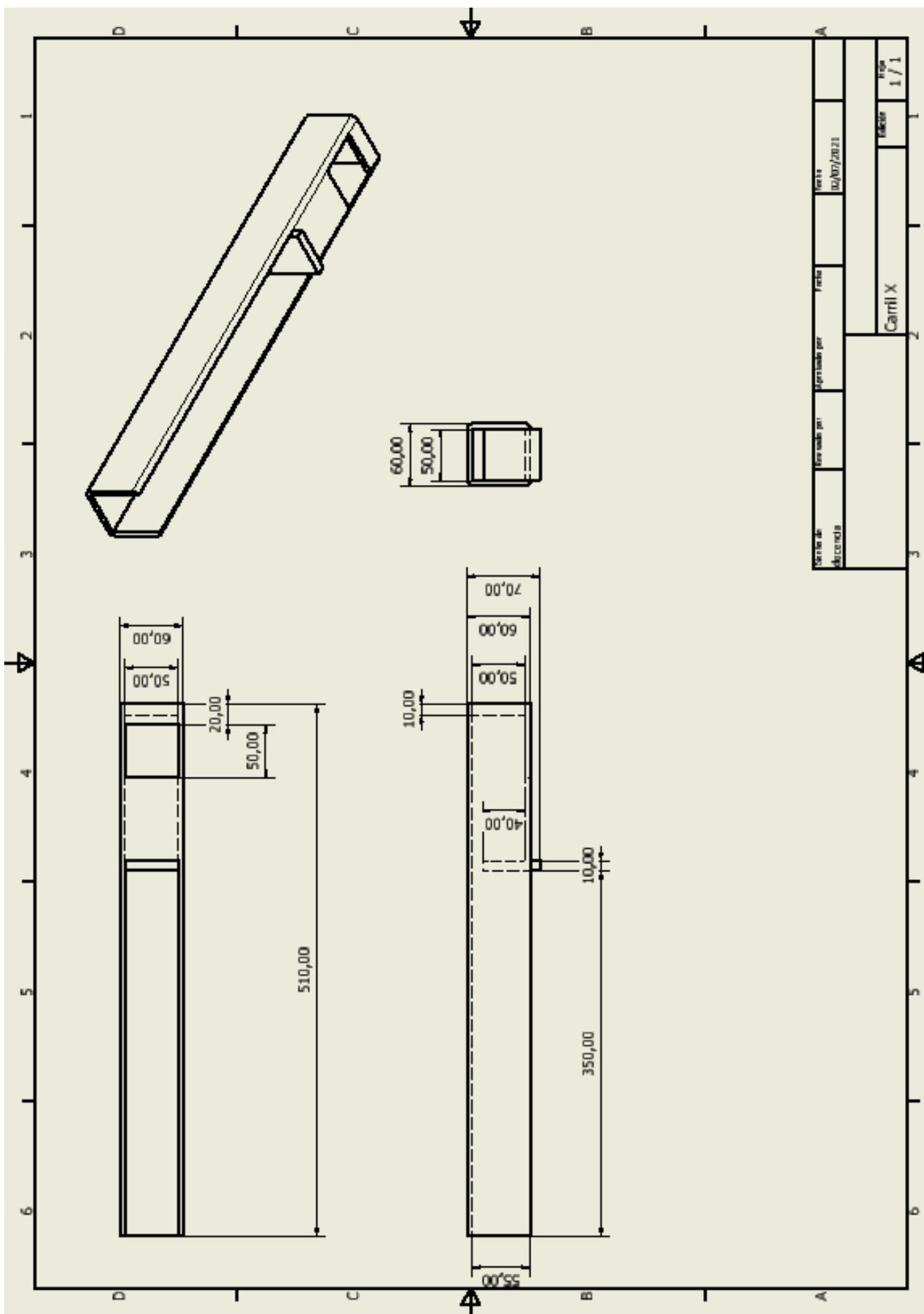


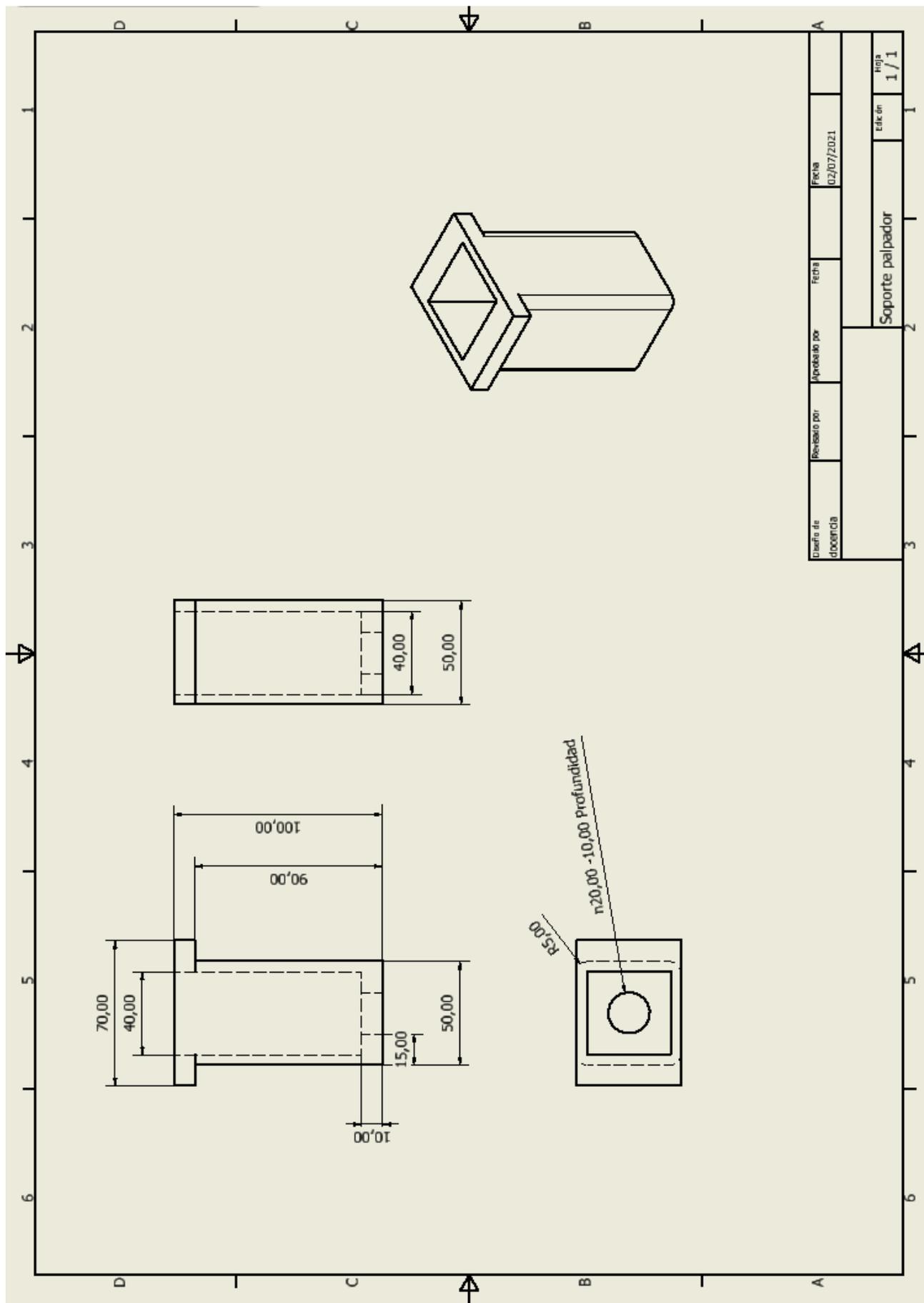


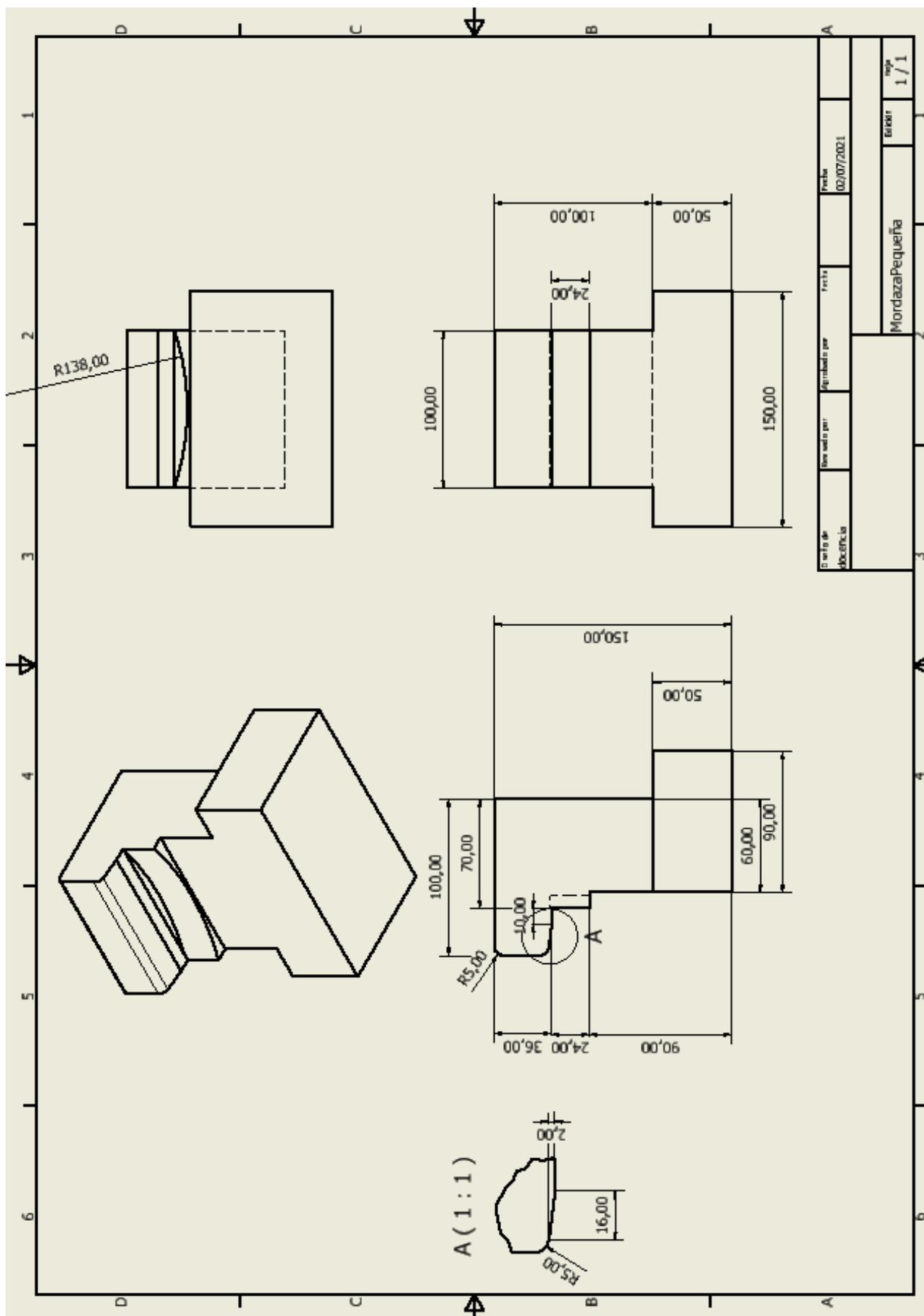


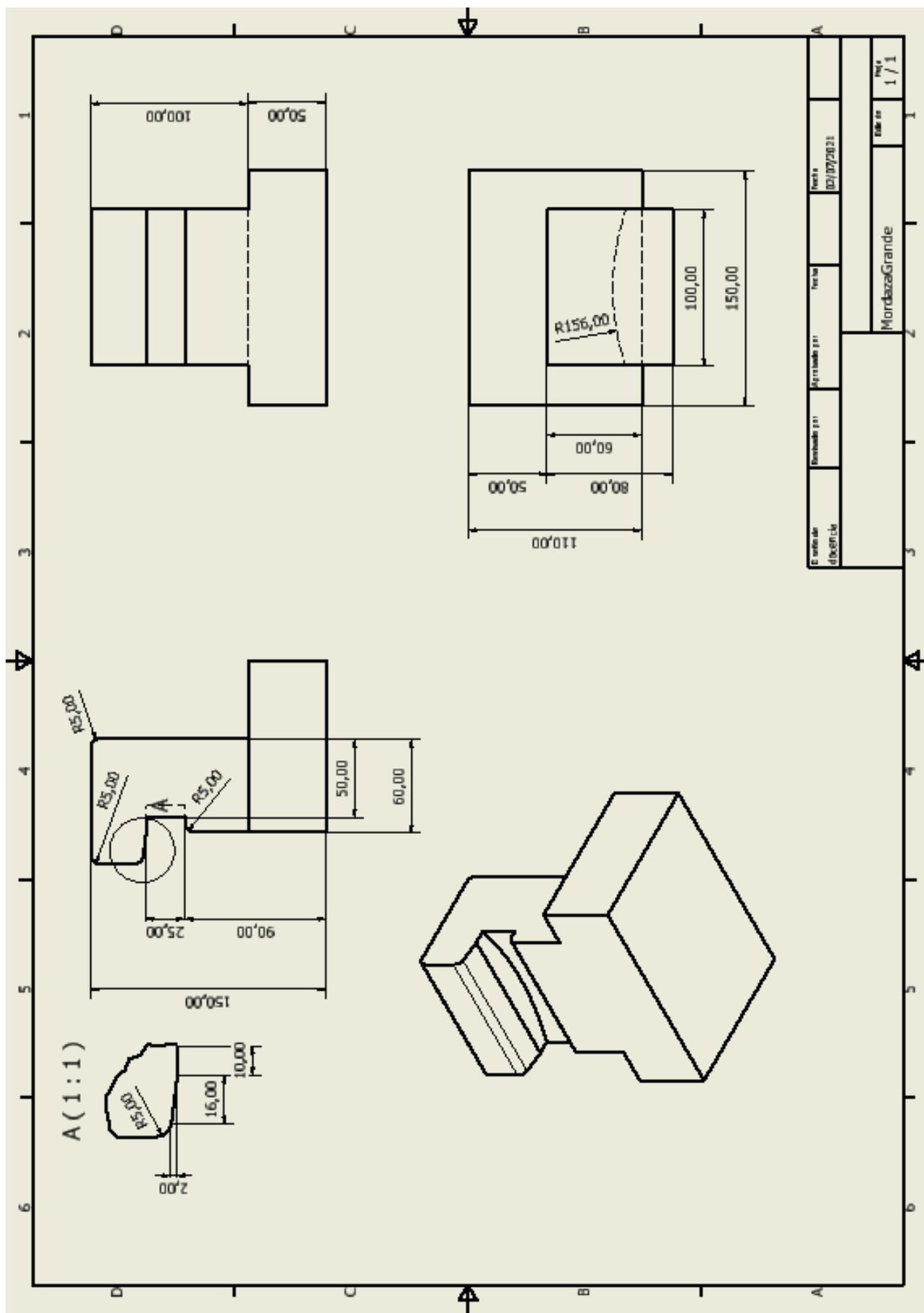


Fecha	02/07/2021	Fecha		Edición	1 / 1
Elaborado por		Revisado por		Columna horizontal	
Aprobado por					
Clasificación de					
documentación					









## 9. PRESUPUESTO

Dado que son muchos los componentes que interfieren en este proyecto y los costes son generados tanto de las piezas físicas como de la programación, vamos a proporcionar una visión general del presupuesto.

Comenzando con las piezas necesarias, hemos recopilado los precios de todos aquellos componentes que podemos comprar directamente, tanto actuadores como sensores, soportes... Todos estos precios han sido sacados de las páginas web oficiales de los fabricantes.

Cantidad	Descripción	Modelo	Fabricante	Precio/Unidad	Precio total
6	Cilindro neumático mordaza	DSNU-20-100-PPV-A	FESTO	47,24 €	283,44 €
2	Cilindro neumático brazo	DSNU-20-300-P-A	FESTO	58,89 €	117,78 €
1	Palpador	LVDT-ISAP-20-50	INELTA	846,00 €	846,00 €
12	Sensor final de Carrera	ME-8104	DENOR	21,20 €	254,40 €
1	Célula de carga	F1814	WIKA	600,00 €	600,00 €
1	Placa Arduino	AT MEGA 2560	ARDUINO	42,00 €	42,00 €
				TOTAL	2.143,62 €

*Ilustración 59. Componentes Comerciales.*

Por otro lado, han sido solicitados a proveedores los precios de mecanizado de todos aquellos elementos necesarios para crear el brazo robot y ya que, gracias a su diseño simple y eficiente no necesitamos piezas demasiado específicas, los elementos que forman el brazo son bastantes económicos.

Como las mordazas son específicas para los discos de freno, y queremos que las tolerancias sean buenas para asegurar un perfecto encaje del disco, ya que sino nuestra prueba perdería toda su veracidad, el precio de las mordazas y soportes ascienden a unos valores bastante mayores que los referidos al brazo robot.

Cantidad	Descripción	Material	Fabricante	Precio/Unidad	Precio total
1	Soporte	Acero F-211	REYMEC	500,00 €	500,00 €
1	Soporte móvil eje Y	Acero Cromado F-1140	REYMEC	180,00 €	180,00 €
1	Barra Vertical	Acero F-211	REYMEC	150,00 €	150,00 €
1	Barra Horizontal	Acero F-211	REYMEC	120,00 €	120,00 €
1	Barra móvil eje X	Acero Cromado F-1140	REYMEC	320,00 €	320,00 €
1	Soporte palpador	Acero F-211	REYMEC	115,00 €	115,00 €
1	Soporte Mordaza	Acero Cromado F-1140	REYMEC	870,00 €	870,00 €
3	Mordaza 312 mm	Acero Cromado F-1140	REYMEC	350,00 €	1.050,00 €
3	Mordaza 276 mm	Acero Cromado F-1140	REYMEC	320,00 €	960,00 €
				Total	4.265,00 €

*Ilustración 60. Componentes mecanizados.*

Columna1	Columna2	Columna
PRESUPUESTO GENERAL	PORCENTAJES ESTIMADOS	TOTAL
COSTE COMPONENTES COMERCIALES		2.143,62 €
COSTE COMPONENTES MECANIZADOS		4.265,00 €
ACCESORIOS	10%	640,86 €
DISEÑO MÁQUINA 80h x 35€/h		2.800,00 €
COSTE TOTAL MÁQUINA		9.849,48 €
MARGEN Y RIESGO INDUSTRIAL	12%	1.181,94 €
IVA	21%	2.068,39 €
PRECIO DE VENTA		13.099,81 €

*Ilustración 61. Presupuesto General*

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Neumática Práctica, por A.Serrano Nicolás, 2009.

Manual imprescindible de C/ C++. (Miguel Ángel Acera García, Ana María Sanz Sierra. 2005).

Seguridad en sistemas neumáticos. [www.Festo-didactic.com](http://www.Festo-didactic.com) (15/06/2021)

Actuadores neumáticos [www.festo.com](http://www.festo.com) (16 /06/2021)

Placas Arduino: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc) (20/06/2021)

Robótica y domótica básica con Arduino (Pedro Porcuna López, 2021)

[www.autonocion.com](http://www.autonocion.com) (08/06/2021)

Tipos de sensores y características. Fuente: [www.sensores-de-medida.es](http://www.sensores-de-medida.es) (12/06/2021).

<https://es.scribd.com/document/421904855/Analisis-Comparativo-de-Las-Placas-Arduino> (23/06/2021)

Catalogo de Aceros. [www.acerosllobregar.com](http://www.acerosllobregar.com) (01/07/2021)

Historia del automóvil. Ilia Ehrenburg. Año de edición: 2008.

Ingeniería del Automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico. Año de edición: 2004.

Normas ISO. [www.kupdf.net](http://www.kupdf.net) (26/06/2021)