



# **Desarrollo de un Banco Didáctico Electro-Neumático para la Automatización de Dos Procesos Secuenciales de Transporte Perimetral en Sistemas de Producción Modular.**

**Diana Lizeth Cuchimba Rodríguez  
Juan Felipe Polania Suaza**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2020

# **Desarrollo de un Banco Didáctico Electro-Neumático para la Automatización de Dos Procesos Secuenciales de Transporte Perimetral en Sistemas de Producción Modular.**

**Diana Lizeth Cuchimba Rodríguez  
Juan Felipe Polania Suaza**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**INGENIERA ELECTRÓNICA E INGENIERO MECÁNICO**

Director (a):

Jenny Durán Torrejano

Ing. Electricista

Línea de Investigación:

GEPRO

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ciudad, Colombia

Año

Dedicamos la tesis a DIOS, que siempre estuvo con nosotros en todo momento, incluso cuando creíamos que no podíamos seguir, Él nos levantó y nos demostró que, si tenemos Fé en Él, nada es imposible. Además, nos enseñó que si el trabajo es duro es porque la recompensa es grande, pues siempre ha dado las batallas más difíciles a sus mejores guerreros.

## **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto, también por ser mi fortaleza en los momentos difíciles de este proceso académico y sobre todo por brindarme la oportunidad de enriquecerme de experiencias y aprendizajes que sin duda alguna transformaron de manera positiva mi vida.

A mi familia por la voz de aliento que siempre escuchaba por parte de ellos, Especialmente la de mi madre que fue una de las gestoras de este buen proyecto para mi vida, también por el apoyo brindado en todo momento, por sus bendiciones, consejos, ejemplo de superación, persistencia y valores inculcados. También a mi padre, porque a pesar de que no esté presente materialmente, sé que siempre me acompaña, sus consejos son el motor para hacer realidad este momento.

A nuestra asesora ingeniera Jenny Durán Torrejano por su acompañamiento durante la gestación de nuestro proyecto, por su compromiso, confianza y voluntad en el proceso. Al señor Luis Ignacio Cuchimba Losada por su ayuda, experiencia, sabiduría, herramientas y su hermosa hija, mi novia y compañera en este trabajo, la cual me inspiró a lograr tal propósito. A la señora Angélica María Rodríguez Corredor por su paciencia, tiempo y amabilidad al contribuirnos con sus conocimientos. También, todas aquellas personas que de manera directa e indirecta contribuyeron a mi proceso de formación.

A la institución de educación que me brindaron hermosas experiencias como el servicio nacional de aprendizaje SENA, y en especial a la Universidad Antonio Nariño que crearon una gran pasión y por la ciencia exactas y la ingeniería.

***JUAN FELIPE POLANIA SUAZA***



En primer lugar, a Dios, por todas aquellas bendiciones dadas durante el transcurso de mi vida, desde la salud, hasta la oportunidad de realizar mis sueños, sin Él absolutamente nada de esto hubiese sido posible. En segundo lugar, a mis padres Martha Lucía y Luis Ignacio, por ser mis promotores, maestros, y el apoyo en cada etapa de la vida. Así mismo, a mi abuelita Otilia por ser gran parte de mi inspiración, porque cuando la vida se volvió una carrera contra el tiempo, ella corría conmigo ayudándome a salir victoriosa de cada situación.

Agradecimiento especial a nuestra asesora la ingeniera Jenny Durán Torrejano, por su acompañamiento en el proceso metodológico, su dedicación, compromiso y confianza. Al ingeniero Milton León por permitirme aprender de su experiencia. Al ingeniero Jonathan Bulla por aconsejarme y recomendarme la mejor opción. También quiero agradecer a Ricardo Hernández por ayudarme a la realización de este y varios proyectos, por compartir su conocimiento y retroalimentarme cada vez que lo requería.

Agradecimiento a mis abuelos, familia, personas, amigos, que talvez no se nombran textualmente en este documento, pero cada uno de ellos, con una palabra, un gesto o cualquier acción aportaron para llegar a este momento.

Quiero agradecer también a mi compañero en este trabajo, mi novio, porque a pesar de que no fue fácil y a veces las situaciones se volvieron tensas, gracias a Dios supimos sacarlo adelante, complementándonos el uno al otro, logrando lo que habíamos planeado, y demostrándonos que, si nos apoyamos mutuamente, podemos lograr grandes cosas.

Por último, agradecer la universidad Antonio Nariño sede Neiva, programa de Ingeniería electrónica, especialmente aquellos maestros que me hicieron encariñar cada vez más de esta profesión, por entregarnos su conocimiento, capacidad investigativa y experiencia en el proceso de formación como ingeniera.

A todos de verdad, ¡mi gratitud esta con ustedes!

**DIANA LIZETH CUCHIMBA RODRÍGUEZ**

## Resumen

Este proyecto de investigación describe el desarrollo de un banco didáctico electro-neumático para la automatización de dos procesos secuenciales de transporte perimetral en sistemas de producción modular (MPS); como una respuesta a la problemática planteada sobre la falta de herramientas didácticas que permitan integrar en un solo equipo áreas como la mecánica, electrónica y electro-neumática para la simulación de un proceso de tipo industrial.

El banco didáctico cuenta con unas dimensiones de 44.7 cm de alto \* 120 cm de largo \* 77 cm de ancho. Este tiene como finalidad desde la interdisciplinaridad de áreas, fortalecer habilidades tales como la percepción, el lenguaje y la memoria, que les ayude a los usuarios en la solución de problemas de tipo industrial, especialmente en los que se emplean MPS. Para lo anterior, se recrea un proceso de manipulación y distribución a través de una estructura tipo grúa pluma que busca transportar de manera perimetral un producto de geometría circular a través de un determinado espacio, empleando elementos electro neumáticos tales como ventosas, bombas de vacío, actuadores rotativos neumáticos, lineales, electroválvulas (24VDC) y válvulas reguladoras de caudal. Adicionalmente, el actuador rotativo está unido mediante un eje, a una transmisión mecánica de dientes helicoidales, con el fin de ampliar el rango de trabajo del mecanismo conducido. Así mismo, se empleó un mecanismo leva con un interruptor de posición que hace las veces de seguidor, el cual sincroniza el proceso y permite realizar un control on/off mediante los controladores PLC logo 230RC y Arduino, dando así una solución mecánica a un sistema electrónico. Para la optimización del proceso se emplean sensores IR, lo cuales retroalimentan el sistema y dan autonomía al mecanismo. La presión nominal del banco es de 4bar. Por último, se encuentra una pequeña descripción acerca del proceso de fabricación digital que se ejecutó para dar cumplimiento al objetivo general del presente proyecto.

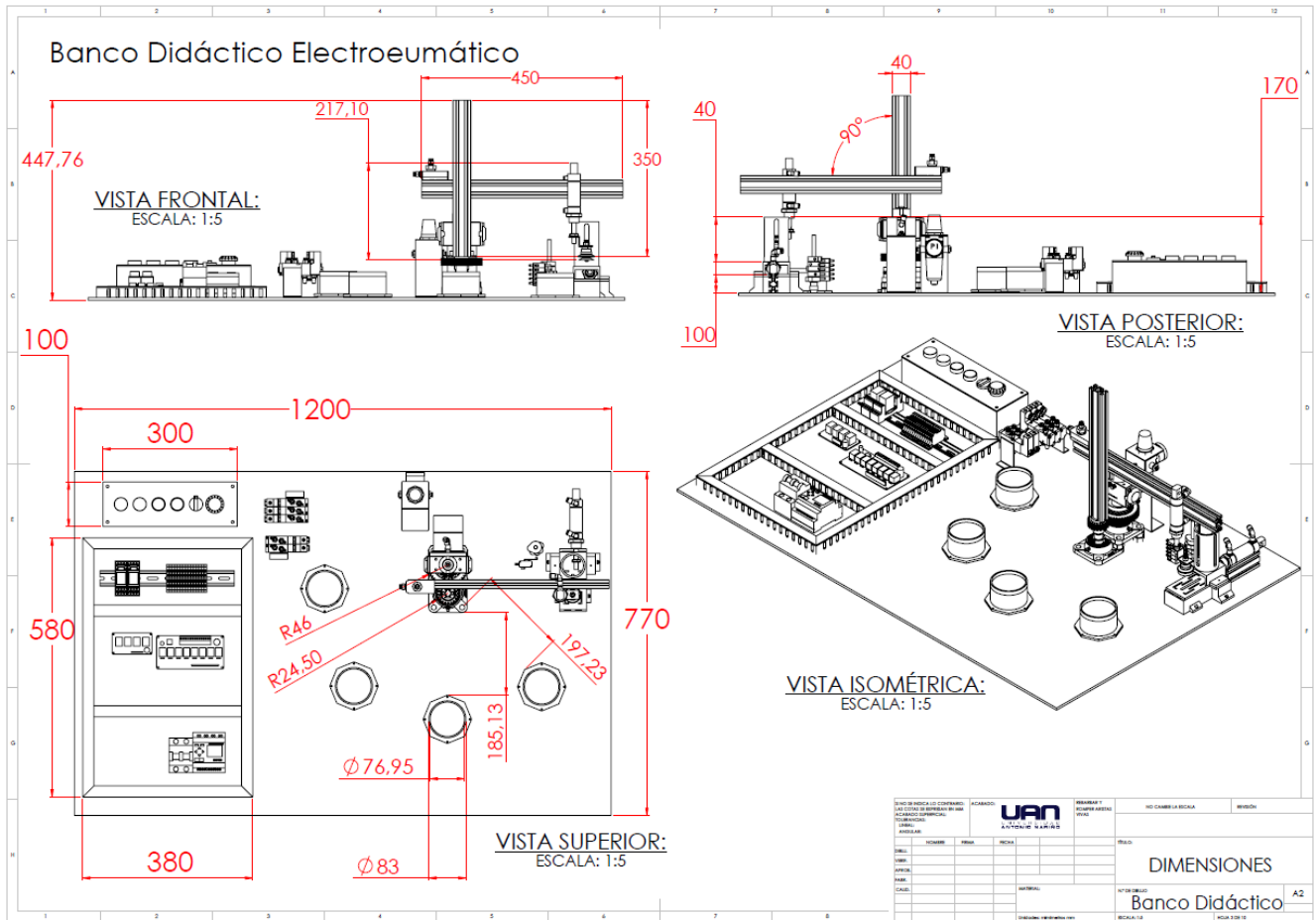
**Palabras clave:** Sistemas de producción modular (MPS), Interdisciplinaridad, Electro-neumática, PLC, Transporte perimetral, Manipulación, Aprendizaje.

## Abstract

This research project describes the development of an electro-pneumatic didactic bench for the automation of two sequential perimeter transport processes in modular production systems (MPS); as a response to the problem raised about the lack of didactic tools to incorporate areas such as mechanics, electronics and electro-pneumatics into a single unit for the simulation of an industrial-type process.

The didactic bank has dimensions of 44.7 cm high \* 120 cm long \* 77 cm wide. This aims from interdisciplinary of areas, to strengthen skills such as perception, language and memory, which helps users in solving industrial problems, especially those that use MPS. For the above, a manipulation and distribution process is recreated through a jib crane-type structure that seeks to transport a circular geometry product perimeter through a certain space, using electro-pneumatic elements such as suction cups, vacuum pumps, rotary pneumatic and linear actuators, solenoid valves (24VDC) and flow regulating valves. Furthermore, a shaft, a helical tooth mechanical transmission, links the rotary actuator in order to extend the working range of the driven mechanism. Likewise, a cam mechanism was used with a position switch that acts as a follower, which synchronizes the process and allows on / off control by means of the 230RC and Arduino PLC logo controllers, thus giving a mechanical solution to a system. electronic. IR sensors are used to optimize the process, which provide feedback to the system and give the mechanism autonomy. The nominal pressure of the bank is 4bar. Finally, there is a small description about the digital manufacturing process that was executed to fulfill the general objective of this project.

**Keywords: Modular production systems (MPS), Interdisciplinary, Electropneumatics, PLC, Perimeter transport, Handling, Learning.**



Dimensiones dadas en mm.

# Contenido

<b>1. Capítulo 1 Marco teórico.....</b>	<b>5</b>
1.1 Estado del arte .....	5
1.2 Electro Neumática .....	7
1.2.1 Dispositivos Electro-Neumáticos.....	7
1.2.2 Diseño Eléctrico y Electrónico.....	12
1.3 Lógica programada (Arduino y PLC) .....	13
1.3.1 Arduino .....	13
1.3.2 Controlador lógico programable (PLC) LOGO .....	14
1.3.3 Programación Estructurada .....	16
1.4 Diseño Mecánico.....	17
1.4.1 Producción modular.....	17
1.4.2 Leva seguidor .....	18
1.4.3 Transmisión por Engranajes .....	18
1.4.4 Fuerza y Coeficientes de Resistencia .....	19
1.4.5 Fabricación Digital .....	21
<b>2. Capítulo 2: Diseño.....</b>	<b>23</b>
2.1 Diseño Mecánico.....	24
2.1.1 Visualización del prototipo .....	24
2.1.2 Cálculos de Engranajes .....	25
2.1.3 Cálculo de Poleas y Correas.....	28
2.1.4 Diseño de Levas .....	29
2.1.5 Análisis de esfuerzo en brazo mecánico.....	33
2.1.6 Análisis de esfuerzo en soporte de las piezas (ABS) .....	35
2.2 Diseño Circuito Electro-Neumático.....	37
2.2.1 Diseño de la Secuencia Electro-neumática.....	41
2.3 Diseño Circuitos de Control.....	44
2.3.1 Control Lógico .....	44
2.3.2 Control ON/OFF de Lazo Cerrado .....	47
2.3.3 Detección de piezas mediante sensor infrarrojo.....	48
2.3.4 Conexiones Arduino .....	55
2.3.5 Etapa de Potencia para Activar Electroválvulas de 24VDC desde Arduino. ...	56
2.3.6 Regulador de Tensión.....	61
2.3.7 Conexiones PLC.....	63
2.3.8 Etapa de Potencia para Activación del PLC por medio de un Sensor I.R de 5VDC.65	
2.4 Lógica Programada .....	69
2.4.1 Diseño Programación en PLC.....	69
2.4.2 Programación en Ladder .....	72
2.4.3 Diseño Programación en Arduino .....	76
<b>3. Capítulo 3: Resultados.....</b>	<b>77</b>
3.1 Fabricación digital .....	77
3.1.1 Diseño .....	78
3.1.2 Configuración .....	79
3.1.3 Comunicación y Control.....	81

---

3.1.4	Hardware.....	82
3.1.5	Secuencia de Implementación Sistema Eléctrico y Electrónico .....	85
3.1.6	Secuencia de Implementación Sistemas Mecánicos .....	88
3.2	Análisis de Resultados.....	94
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>103</b>
4.1	Conclusiones .....	103
4.2	Recomendaciones .....	107
<b>5.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>108</b>
<b>6.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>111</b>
6.1	Anexo .....	111
6.2	Anexo Diagramas de Flujo I y II .....	116
6.3	Anexo Programación en Ladder.....	116
6.4	Anexo Programación en Arduino .....	116
6.5	Anexo Planos Banco didáctico electro neumático.....	116
6.5.1	Isométrico del banco .....	116
6.5.2	Partes del banco .....	116
6.5.3	Dimensiones .....	116
6.5.4	Transmisión 1 y eje de levas .....	116
6.5.5	Elementos del Mecanismo leva Seguidor .....	116
6.5.6	Engranaje conducido.....	117
6.5.7	Engranaje conductor .....	117
6.5.8	Cilindro manipulador .....	117
6.5.9	Base de inicio .....	117
6.5.10	Estructura transportadora .....	117

## Lista de figuras

<b>Figura 1-1</b> Actuador Rotativo .....	8
<b>Figura 1-2</b> Principio Venturi .....	8
<b>Figura 1-3:</b> Mini bomba de vacío VTM 5 .....	9
<b>Figura 1-4</b> Válvula de caudal .....	9
<b>Figura 1-5</b> Regulador y Filtro de presión .....	10
<b>Figura 1-6</b> Partes Tarjeta arduino .....	14
<b>Figura 1-7</b> PLC Logo 230RC .....	15
<b>Figura 1-8</b> Esquemático de funcionamiento Leva seguidor.....	18
<b>Figura 2-1</b> Diagrama de bloques del proyecto .....	23
<b>Figura 2-2</b> Vista Isométrica Banco Didáctico .....	24
<b>Figura 2-3</b> Diseño leva.....	30
<b>Figura 2-4</b> Esfuerzo máximo leva .....	31
<b>Figura 2-5</b> Desplazamiento máximo de leva .....	32
<b>Figura 2-6</b> Factor de seguridad.....	32
<b>Figura 2-7</b> Análisis de desplazamiento .....	34
<b>Figura 2-8</b> Análisis factor de seguridad.....	34
<b>Figura 2-9</b> Análisis de desplazamiento .....	36
<b>Figura 2-10</b> Análisis de factor de seguridad.....	36
<b>Figura 2-11</b> Circuito Electro-neumático.....	37
<b>Figura 2-12</b> Sistema generador del movimiento perimetral .....	39
<b>Figura 2-13</b> Ventosa y relación de depresión y alimentación .....	40
<b>Figura 2-14</b> Relación consumo y presión alimentación .....	41
<b>Figura 2-15</b> Secuencia del circuito.....	41
<b>Figura 2-16</b> Diagrama de estado de trayectoria vástago.....	42
<b>Figura 2-17</b> Circuito de arranque .....	44
<b>Figura 2-18</b> Control ON/OFF .....	47
<b>Figura 2-19</b> Circuito implementado .....	48
<b>Figura 2-20</b> Etapas de implementación del circuito.....	48
<b>Figura 2-21</b> Configuración de resistencia pull up y pull down.....	50
<b>Figura 2-22</b> Malla de configuración de la segunda etapa.....	51
<b>Figura 2-23</b> Configuración de la tercera etapa para los leds .....	52
<b>Figura 2-24</b> Primera configuración de los transistores de la tercera etapa.....	53
<b>Figura 2-25</b> Segunda configuración de los transistores de la tercera etapa .....	54
<b>Figura 2-26</b> Circuito de sensor Infrarrojo.....	54
<b>Figura 2-27</b> Conexiones arduino.....	55
<b>Figura 2-28</b> Circuito de potencia para activación arduino .....	56

---

<b>Figura 2-29</b> Diseño de PCB para activación de electroválvulas desde arduino .....	61
<b>Figura 2-30</b> Regulador de Tensión .....	61
<b>Figura 2-31</b> Conexiones a PLC LOGO .....	63
<b>Figura 2-32</b> Circuito de potencia para activar entrada del PLC mediante sensor I.R. ....	66
<b>Figura 2-33</b> Tipo de led con voltaje de alimentación de 5V .....	67
<b>Figura 2-34</b> Diseño tarjeta .....	68
<b>Figura 3-1</b> Parametrización y Diseño pieza en 3D.....	80
<b>Figura 3-2</b> Propiedades de materiales PLA y ABS .....	80
<b>Figura 3-3</b> Corte CNC ( se muestra en tiempo real del corte que se está realizando) ....	81
<b>Figura 3-4</b> Tablero control de impresora 3D .....	82
<b>Figura 3-5</b> Ruteada de tarjetas de circuitos .....	83
<b>Figura 3-6</b> Tiempo estimado de impresión elementos .....	83
<b>Figura 3-7</b> Impresión accesorios .....	84
<b>Figura 3-8</b> Banco Didáctico .....	94
<b>Figura 3-9</b> Vista frontal estructura propuesta y real .....	98
<b>Figura 3-10</b> Ensayos de tiempo según el caudal y la presión. ....	100
<b>Figura 3-11</b> Gráfica de velocidad.....	101



## Lista de tablas

<b>Tabla 1-1</b> Nomenclatura de válvulas .....	10
<b>Tabla 1-2</b> Símbolos neumáticos del proyecto.....	11
<b>Tabla 1-3</b> Simbología tablero control.....	12
<b>Tabla 1-4</b> Equivalente Ladder .....	16
<b>Tabla 2-1</b> Tabla de relación de número de rpm y dientes (3M HP- ancho de 9 mm) .....	29
<b>Tabla 2-2</b> Resumen de fuerzas de reacción y torsión.....	35
<b>Tabla 2-3</b> Análisis de fuerzas y momentos.....	37
<b>Tabla 2-4</b> (APRENDIZAJE, 2020) .....	46
<b>Tabla 2-5</b> Coil Data Sheet (AT20°C) .....	57
<b>Tabla 2-6</b> Corriente Colector.....	58
<b>Tabla 2-7</b> Valor del Beta mínimo.....	58
<b>Tabla 2-8</b> Características eléctricas .....	59
<b>Tabla 2-9</b> Tabla de verdad .....	70
<b>Tabla 2-10</b> Diagrama de condiciones en lógica Ladder.....	72
<b>Tabla 2-11</b> Entradas y Salidas PLC .....	73
<b>Tabla 3-1</b> Etapas de fabricación digital .....	77
<b>Tabla 3-2</b> Secuencia ensamble 1 .....	85
<b>Tabla 3-3</b> Materiales y elementos .....	88
<b>Tabla 3-4</b> Construcción sistemas mecánicos .....	90
<b>Tabla 3-5</b> Conexiones y acoples de elementos electro neumáticos .....	92
<b>Tabla 3-6</b> Variaciones en el eje Z de la estructura .....	98
<b>Tabla 3-7</b> Pruebas de caudal tiempo.....	99
<b>Tabla 3-8</b> Pruebas cinemáticas.....	101
<b>Tabla 3-9</b> Variables más influyentes .....	102

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Q	Caudal	$m^3/\text{seg}$	$Q=A \cdot \text{Vel}$
A	Área	$m^2$	$A=\pi \cdot D^2/4$
Vel	Velocidad	$m/\text{seg}$	$\text{Vel}=d/t$
Vol	Volumen	$m^3$	$\text{Vol}= M/\rho$
Pr	Presión	Pa	$Pr=F/A$
D	Diámetro	mm	$D=(4A/\pi)^{1/2}$
r	Radio	mm	$r=(A/\pi)^{1/2}$
t	Tiempo	seg	$t=d/\text{vel}$
g	Gravedad	$m/s^2$	$g=G \cdot \Delta m/r$
a	Aceleración	$m/s^2$	$A=\Delta \text{vel}/t$
d	Distancia	m	$d=\text{vel} \cdot t$
F	Fuerza	N	$F=m \cdot a$
M	Masa	Kg	$M=\rho \cdot \text{vol}$
Mo	Momento	Nm	$\tau=F \cdot d$
I	Intensidad	A	$I=V/R$
V	Voltaje	V	$V=I \cdot R$
P	Potencia	W	$P=V \cdot I$
f	Fricción		$f=\mu \cdot N$

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\alpha$	Ángulo		
$\sigma$	Esfuerzo		$\sigma=P/A_0$
$\epsilon$	Deformación		$\epsilon=\Delta L/L_0$
$\beta$	Betta		$\beta=I_c/I_B$
R	Resistencia	$\Omega$	$R=V/I$

# Introducción

Este proyecto en aras de contribuir al mejoramiento del proceso de aprendizaje y a las metodologías propuestas por la facultad de ingeniería mecánica, electrónica y biomédica (FIMEB); propone desarrollar un banco didáctico electro neumático para realizar la automatización de procesos industriales de transporte perimetral en Sistemas de producción Modular (MPS) a pequeña escala, tales como de distribución y manipulación de piezas, a partir de la programación del PLC logo y tarjeta Arduino.

La problemática tratada en este documento parte de la falta de herramientas didácticas que permitan integrar en un solo equipo áreas como la mecánica, electrónica y electro neumática, para la simulación de un proceso de tipo industrial. Pues como escriben en un artículo (D. ROMAN B. V., 2012) “La preparación de los nuevos ingenieros es inadecuada para el desafío” (El artículo refleja la situación actual en educación con respecto a las dificultades de aprendizaje de la mecatrónica).

... A veces, parece que la memorización ha reemplazado a la comprensión. Los estudiantes se centran en hechos, pruebas y calificaciones y no comprenden los conceptos y procesos. No pueden integrar conocimientos, procesos, técnicas y herramientas, tanto de hardware como de software, para resolver un problema de ingeniería. De hecho, uno de los grandes fracasos en la educación en ingeniería ha sido la incapacidad de los estudiantes graduados para integrar todo lo que han aprendido: ciencias, matemáticas, fundamentos de ingeniería, en la solución de un problema de ingeniería del mundo real.

Por esta razón, (Villa L, García G, Vélez E, Leal O, & Ramírez R, 2013) se plantean interrogantes como; “ ¿Cuál es la mejor manera de educar a los estudiantes para que se conviertan en ingenieros en ejercicio? las respuestas son variadas, pero se llega a la conclusión de que “Solo a través de la interacción industrial: conocer los tipos de problemas que enfrentan los ingenieros, los conceptos, procesos y herramientas que usan para resolver esos problemas, y los atributos personales y profesionales esenciales

para ser un líder ingeniero, no un seguidor, sino un líder de pensamiento independiente en nuestra sociedad tecnológica”

A favor de esto, la universidad Antonio Nariño, dentro de su criterio de evaluación indica que se mantiene en una búsqueda constante de herramientas que permitan dinamizar y mantener actualizados los contenidos de cada una, así mismo la integración de nuevos artefactos de hardware que soporten los objetivos de aprendizaje (UAN, 2020).

Los estudiantes de últimos semestres en sus trabajos de grado de distintos institutos buscando resolver estas situaciones e intentando fortalecer esas competencias prácticas, han optado por desarrollar diversos tipos de bancos que les permitan lograr un mejor entendimiento de la temática aprendida en las aulas. Ejemplo de esto, son los bancos encontrados en la universidad Antonio Nariño sede Neiva; la cual cuenta actualmente con un banco electro neumático con un solo controlador y cilindros únicamente lineales, integrados para practicar procesos electro neumáticos, los cuales permiten desarrollar un conocimiento básico sobre esta área de estudio, excluyendo el desarrollo de otras áreas de formación temática necesarias, como la comprensión y desarrollo de habilidades de equipos industriales sobre sistemas de producción modular, conocimientos en técnicas de vacío, conocimientos básicos de programación en PLC y arduino, conocimientos sobre principios de transmisión mecánica, teoría de levas, sistemas de fuerzas dinámicas y estáticas, teorías de válvulas reguladoras, así como actuadores rotativos neumáticos, entre otras; asociadas a áreas como control, mecánica básica, procesos de manufactura, sistemas digitales, sistemas de potencia y autómatas programables, mecanismos y electro neumática, las cuales son esenciales como se ha venido planteando para el desarrollo de competencias que permitan tener un profesional integral acorde a las necesidades del mercado y de los objetivos de formación.

Como respuesta a estas situaciones planteadas anteriormente y buscando fomentar una educación integrada en el área de ingeniería electrónica y mecánica, partiendo de las fundamentaciones técnicas y teóricas que proporcionan las distintas asignaturas temáticas de la ingeniería; se ha optado por desarrollar un banco didáctico electro neumático que reúna elementos mecánicos, electrónicos y electro- neumática que permita automatizar procesos de tipo industrial tales como el transporte, la manipulación y la distribución de piezas a distintas bases a partir de la programación del PLC logo y tarjeta arduino. Para el

cumplimiento del objetivo anterior, se han ejecutado cuatro objetivos específicos. El primero corresponde al dimensionamiento de los criterios estructurales de diseño y construcción mecánicos. El segundo es diseñar la lógica de control para el proceso industrial a partir de la programación del PLC logo y tarjeta arduino. El tercero hace referencia al diseño del control lógico y de potencia para la alimentación y automatización del banco. El último, es la evaluación de funcionalidad del sistema.

La finalidad del banco didáctico electro neumático es aumentar la interdisciplinaria en estudiantes, puesto que en la industria no existe exclusión de áreas, sino por el contrario, todas se juntan para una meta en común, solucionar problemas. Con esto, los estudiantes en su formación tendrán la oportunidad de desarrollar competencias valiosas a la hora de desempeñarse a nivel laboral, lo que aportaría a la industria, la cual tendría profesionales mejor preparados para los retos que se les presenten.

El banco propuesto incluye la temática de sistemas de producción modular, la cual permite desarrollar habilidades para el manejo de dos operaciones de transporte perimetral; actualmente este modelo de producción lo emplea la industria con frecuencia ya que optimiza sus procesos, mejora la calidad de los productos al mantener continuamente la precisión de la tarea y da más libertad al ampliar el área de trabajo. Además, haciendo uso de la metodología CDIO (concebir-diseñar-implementar-operar) se busca que los estudiantes desarrollen competencias en programación haciendo uso de PLC o arduino. Pues como indica (Fuentes R & Moo M, 2017) en su artículo:

“Sin lugar a duda, una de las competencias de cualquier ingeniero, sin importar su área de especialidad, es la codificación en un lenguaje de programación. Un ingeniero debe ser capaz de codificar sus ideas ya sea para hacer experimentos y simulaciones de sus propuestas de solución, así como crear soluciones de software. Es por esto que como indica (Fuentes R & Moo M, 2017) en un artículo publicado en 2017, “Todo ingeniero debe programar”. El mercado laboral exige que todo ingeniero tenga la competencia de crear aplicaciones, tal vez, no al grado de un ingeniero en software, pero sí que pueda realizar rutinas que le apoyen en su trabajo.”

El resultado esperado es el diseño y la construcción de un banco didáctico electro neumático que sirva como apoyo para practicar la programación y control de procesos

industriales en áreas a fines a la electrónica y la mecánica. Adicional a esto, se desarrollará un manual de usuario ilustrativo para la correcta manipulación del banco didáctico, así mismo un documento dónde se registre como se materializaron los objetivos de la propuesta.

## **OBJETIVOS**

### **A. OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un banco didáctico electro neumático para realizar la automatización de dos procesos secuenciales de transporte perimetral, a partir de la programación del PLC logo y tarjeta Arduino.

### **B. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Dimensionar los criterios estructurales de diseño y construcción mecánico para el banco didáctico.
- Diseñar la lógica de control para el proceso industrial a partir de la programación del PLC Logo y tarjeta de Arduino.
- Diseñar el control lógico y de potencia para la alimentación y automatización del banco.
- Evaluar la funcionalidad de los sistemas que componen el prototipo banco didáctico electro neumático.

# 1. Capítulo 1 Marco teórico

## 1.1 Estado del arte

Todas las ciencias de la educación han constatado que el aprendizaje en las personas se hace más eficiente, cuando se enseña la teoría acompañada de ayudas didácticas como experimentos o prácticas de laboratorio, esto para que se pueda aplicar y comprobar las teorías expuestas en las aulas de clase. (Ramírez G, 2015) explica que “más que enseñar ciencias, como paquetes dogmáticos ya hechos, se trata de enseñar a hacer ciencia, a producir y reproducir críticamente los conocimientos, apropiados y a elaborarlos” (Ramírez G, 2015)

Las universidades buscando mejorar las habilidades de sus estudiantes de ingeniería, han optado por la implementación de bancos didácticos que les permitan poner en práctica los conocimientos; es el caso de la universidad Antonio Nariño facultad de ingeniería mecánica, electrónica y biomédica (FIMEB) que tiene como visión “Mantener todos sus programas de ingeniería actualizados y competitivos a nivel nacional e internacional mediante la adopción de la iniciativa internacional CDIO (concebir – diseñar – implementar - operar) mejorando la relación universidad-empresa-estado mediante proyectos de investigación, pasantías y proyectos de grado” (UAN, 2020)

Los bancos didácticos se han convertido en la estrategia ideal para potencializar el aprendizaje por medio de la práctica. Ejemplo de esto son los proyectos de grado realizados en distintas universidades nacionales e internacionales como es el caso de: la universidad pedagógica y tecnológica de Duitama Boyacá, resaltan en su estudio de investigación el aprendizaje basado en problemas como estrategias para el desarrollo de competencias específicas en estudiantes de ingeniería, “...el aprendizaje basado en problemas (ABP), aparte de ser una estrategia de aprendizaje, puede ser utilizado como



una herramienta para diagnosticar y corregir las debilidades en la formación de los futuros ingenieros...” (Duarte, 2013)

A favor de esto, el Instituto tecnológico de Sonora México en su estudio Impacto del ABP en el Desarrollo de la Habilidad para Formular Preguntas de Aprendizaje en Estudiantes Universitarios. Concluyen que “la solución de problemas relacionados con la vida profesional de los estudiantes, facilita el andamiaje entre el conocimiento previo, los conocimientos nuevos y la construcción de nuevas estructuras de pensamiento, integrando habilidades y actitudes para llegar a la solución de los mismos...” (González F & Castro L, 2011)

De acuerdo a esta forma de aprendizaje, otras universidades han buscado la manera de aplicar esta metodología creando herramientas que les permitan a los estudiantes reforzar el aprendizaje en las aulas. Este es el caso de La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en su trabajo de investigación Diseño, construcción e implementación de un banco didáctico electro neumático para el laboratorio de neumática de la escuela de ingeniería mecánica, allí exponen, que las actividades desarrolladas en los laboratorios construyen de manera efectiva el conocimiento real de la neumática y electro neumática utilizada en procesos industriales, dónde los profesionales adiestrados contribuyen en el mejoramiento y desarrollo tecnológico industrial (Bonilla P & Noriega F, 2014)

Adicional a esto, la universidad técnica de Ambato con el proyecto Estudio de automatización de un brazo neumático para facilitar procesos de aprendizaje en el laboratorio de neumática de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad de Ambato, aporta concluyendo, “...es necesario realizar la automatización del brazo Neumático para representar de forma didáctica el funcionamiento de cada elemento para generar una mejor comprensión en cuanto a toma de decisiones y al uso adecuado de cada elemento que involucran un proyecto...” Además, indican que para facilitar los procesos de aprendizaje es importante contar con un mecanismo que sea didáctico y preste las condiciones de maniobrabilidad y funcionalidad adecuadas (Valencia V & Reyes R, 2011)

“El complejo de bancos de pruebas de laboratorio en automatización electro neumática se considera una herramienta para avanzar a través de la ciencia técnica. El curso de trabajos de laboratorio desarrollado para cumplir con el requisito de una forma eficiente y confiable

de adquisición de habilidades prácticas se considera la forma más simple para que los estudiantes aprendan los conceptos básicos” (D. ROMAN B. V., 2012)

## 1.2 Electro Neumática

La Neumática se considera como una rama de la mecánica moderna, la cual emplea o toma el aire comprimido para producir potencia. Con el tiempo se complementó con áreas como la Electricidad y la Electrónica, permitiendo así la automatización y control de distintos procesos industriales. Dentro de sus ventajas está la de encontrarse en grandes cantidades en el entorno natural, se puede almacenar, transformar fácilmente y carece de combustión, por ende, es limpio y no representa una fuente de contaminación para los procesos y el entorno. (Guillén S, 1993)

Tiene aplicaciones en casi la totalidad de la industria por sus ventajas; sin embargo, las más relevantes son las de apertura y cierre a sistemas de ingreso, transporte de materiales o piezas, bombas de acción manuales y pilotadas, limpiezas a presión, entre otras.

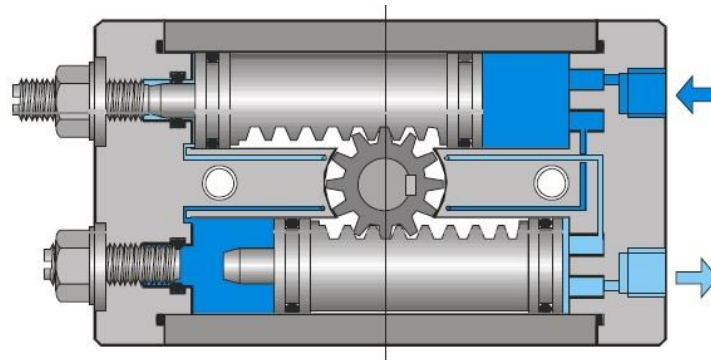
### 1.2.1 Dispositivos Electro-Neumáticos

Dentro de los dispositivos electro-neumáticos usados para el diseño o montaje de dispositivos, equipos o máquinas se encuentran:

- **Actuadores Neumáticos**

Son dispositivos cuya función es la de proveer fuerza para mover o actuar sobre otro dispositivo. Dependiendo del tipo de movimiento puede ser de transmisión lineal o rotativa.

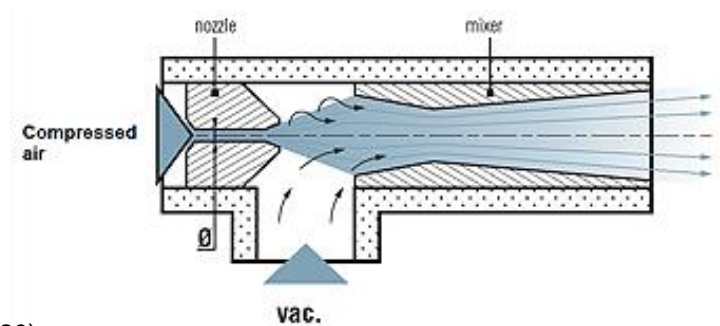
Los actuadores pueden ser cilindros de simple efecto o doble efecto. Los de simple efecto se caracterizan por que tienen una entrada de aire la cual crea una carrera de trabajo en un sentido, mientras que los de doble efecto emplean dos entradas de aire para generar carreras de trabajo de salida y retroceso. Ejemplo de este tipo lo indica la figura 1-1. (Escalera T & Rodríguez F, 2013)

**Figura 1-1** Actuador Rotativo

Fuente: (learningaboutelectronics, 2020)

- **Ventosas**

Son dispositivos cuya función principal radica en la sujeción y transporte de piezas. Se fabrican con elastómeros sintéticos, los cuales son materiales inalterables frente a los agentes industriales corrientes. Existen diferentes tamaños con el fin de atender distintas variables de peso y dimensiones de elementos a manipular (Maquinas y Equipos, 2017).

**Figura 1-2** Principio Venturi

Fuente: (snowest, 2020)

El principio de funcionamiento de este tipo de dispositivos se fundamenta en el vacío. Las ventosas utilizan la presión negativa (Bomba de vacío) para adherirse a una superficie gracias a una fuerza de succión. La diferencia de presión (Efecto Venturi) entre la atmósfera en el exterior de la ventosa y la cavidad de baja presión en el interior de la misma es la que mantiene adherida a la superficie (Diprax, 2017).

La bomba de vacío extrae el aire del sistema o recipiente mediante el trasiego de gases, generando como se mencionó una diferencia de presión con respecto a un punto. La figura 1-3 corresponde a una imagen de despiece de la bomba (Becker, 2018).

**Figura 1-3:** Mini bomba de vacío VTM 5



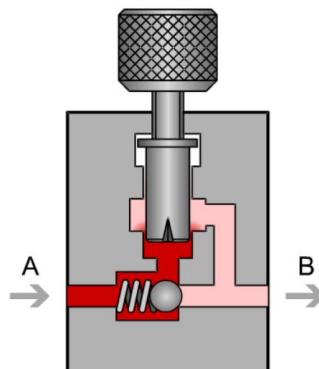
Nota. Bomba de vacío con un nivel máximo de -85 KPa, consumo de aire de 21 NI / min a 5,5 bar.

Fuente: (Vmeca, 2020)

- **Válvulas reguladoras de caudal unidireccional.**

Se emplean para regular el paso del fluido a través de las tuberías para repercutir en el movimiento de los cilindros; la figura 1-4 muestra una válvula reguladora de caudal unidireccional.

**Figura 1-4** Válvula de caudal

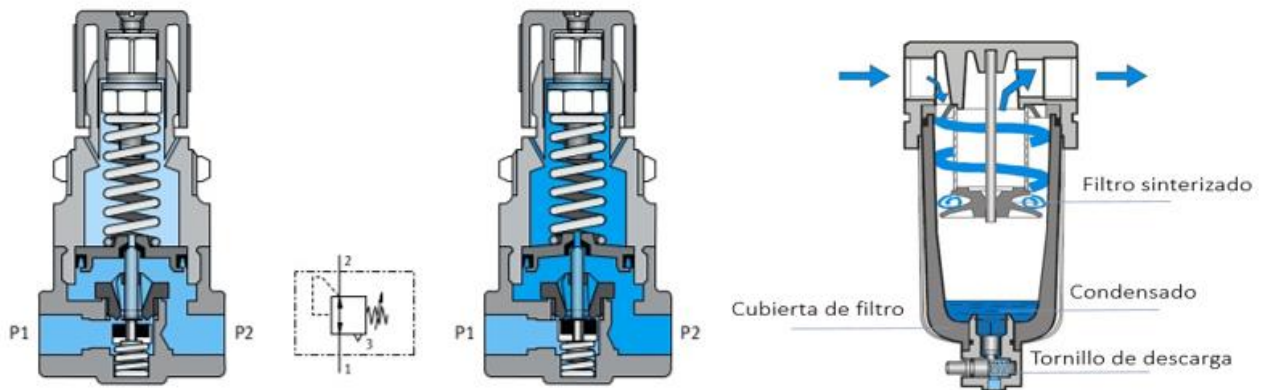


Fuente: (Informe, 2020)

• **Filtro-regulador de presión**

Son dispositivos de control de flujo cuya tarea o función principal es la de controlar o asegurar un flujo continuo; debe garantizar una presión constante y limpia de material particulado (Informe, 2020), sin verse afectada por cambios en los factores operativos del proceso para el cual trabaja (Rendón, 2015). la figura 1-5 presenta un tipo de regulador de presión.

**Figura 1-5** Regulador y Filtro de presión



Fuente: (Aguilar, 2019)

• **Electroválvulas.**

Son dispositivos que responden a un pulso eléctrico, ya que a través del solenoide se puede abrir o cerrar la misma para el control del fluido. Son parte integral de un sistema de control y por ende de los procesos de automatización, actúan como un convertor I/P (corriente/presión). De acuerdo a su función las electroválvulas pueden ser de vías o distribuidoras, de bloqueo, de presión o de caudal y cierre.

**Tabla 1-1** Nomenclatura de válvulas

NOMENCLATURA			
PARTES	ALFABETICA	NÚMERICA	EJEMPLO
PRESIÓN	P	1	<p>Electroválvula 5/2 monoestable</p>
SALIDAS FUNCIONAMIENTO	A-B	2-4	
ESCAPES	R-S-T	3-5-7	
PILOTAJES	X-Y-Z	10-12-14	

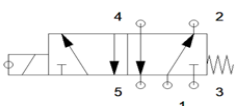
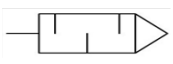
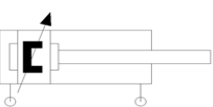
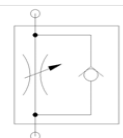
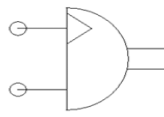
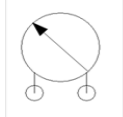
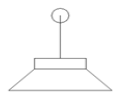

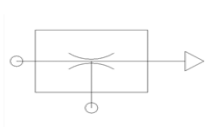
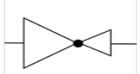
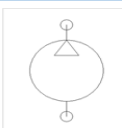
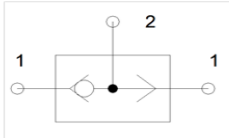
Fuente: Elaboración propia.

• **Simbología Neumática empleada en el proyecto.**

La simbología neumática es de gran importancia para la presentación de los circuitos empleados en el desarrollo del proyecto, ya que facilita la interpretación de los sistemas establecidos.

La tabla 1-2, presenta la relación de símbolos usados en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 1-2** Símbolos neumáticos del proyecto

ELEMENTO	SIMBOLO	UNIDAD DE MANTENIMIENTO	
VÁLVULA 5/2 MONOESTABLE		SILENCIADOR DE BRONCE	
CILINDRO DOBLE EFECTO		REGULADOR DE CAUDAL UNIDIRECCIONAL	
ACTUADOR SEMIGIRATORIO		MANÓMETRO	
VENTOSA		DEPÓSITO DE ACUMULADOR	
TOBERO DE SUCCIÓN DE VACÍO		REDUCTOR DE PRESIÓN	
COMPRESOR		VÁLVULA DE SIMULTANEIDAD	

Fuente: Elaboración propia.

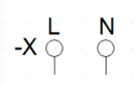
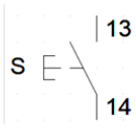
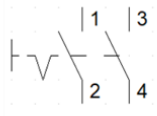
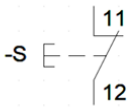
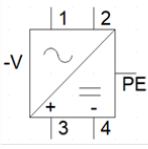
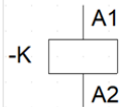
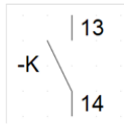
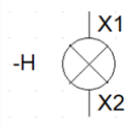
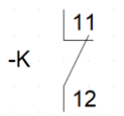

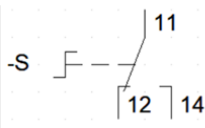
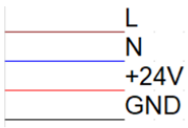
## 1.2.2 Diseño Eléctrico y Electrónico.

- **Control Lógico**

Su denominación viene dada por el tipo de elementos que intervienen en su implementación. En el caso de la tecnología eléctrica, las uniones físicas se realizan mediante cables eléctricos, relés electromagnéticos, interruptores, pulsadores, etc. (Moreno, 1999)

La simbología eléctrica empleada en el diseño del tablero de control se indica en la tabla 1-3

**Tabla 1-3** Simbología tablero control

ELEMENTO	SIMBOLO	ELEMENTO	SIMBOLO
LINEA DE ALIMENTACIÓN 110V AC		PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO	
PROTECCIÓN TERMO- MAGNETICA		PULSADOR NORMALMENTE CERRADO	
FUENTE DE ALIMENTACIÓN FIJA 24V DC		BOBINA DE RELÉ	
CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO		PILOTO DE SEÑALIZACIÓN	
CONTACTO NORMALMENTE CERRADO		PUESTA A TIERRA	
SELECTOR		CABLEADO	

Fuente: Elaboración propia.

- **Control ON/OFF lazo cerrado**

Es un tipo de control que trabaja dos estados, abierto ó cerrado, encendido ó apagado (0 o 1). La señal de salida tiene efecto directo sobre la señal de entrada. Esto se debe a que es un sistema retroalimentado, donde por medio de un sensor se toma constantemente una muestra de la salida del sistema. La cual es enviada a través del controlador para que este transmita la orden y se realice la acción de control más conveniente para la planta. Para el control del actuador principal (rotativo neumático) de este proyecto, se hará uso de interruptores finales de carrera, los cuales permiten posicionar el mecanismo en el ángulo deseado.

## 1.3 Lógica programada (Arduino y PLC)

Se da gracias a la aparición de las compuertas lógicas, las cuales son fundamentales para la creación de los controladores. Se desarrolla a partir del microprocesador (Sabio, 2020), y de los sistemas programables, tales como: controladores lógicos y autómatas programables.

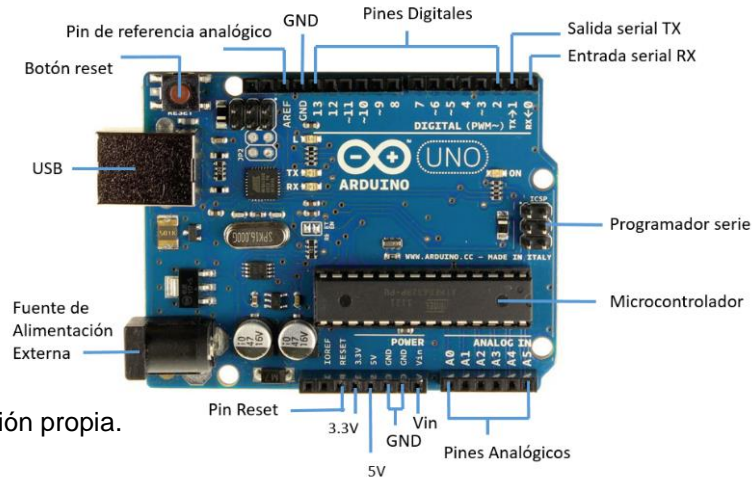
### 1.3.1 Arduino

Es una placa o sistema embebido que cuenta con un micro controlador (Familia AVR) cuyo lenguaje de programación está basado en C++. Soporta la entrada y salida de señales Digitales y Análogas. Para visibilizar la información cuenta con puertos USB que permite enviar y recibir mensajes mediante UART.

La ventaja principal de este dispositivo es que permite interactuar de forma fácil y rápida con distintos entornos. Se puede aplicar en diversidad de proyectos, la mayoría de carácter didáctico. Tiene gran versatilidad ya que sirve como interfaz de comunicación entre muchas plataformas, tales como Labview, Matlab, entre otras.

La figura 1-6 muestra las partes básicas de las que se compone una tarjeta arduino.



**Figura 1-6** Partes Tarjeta arduino

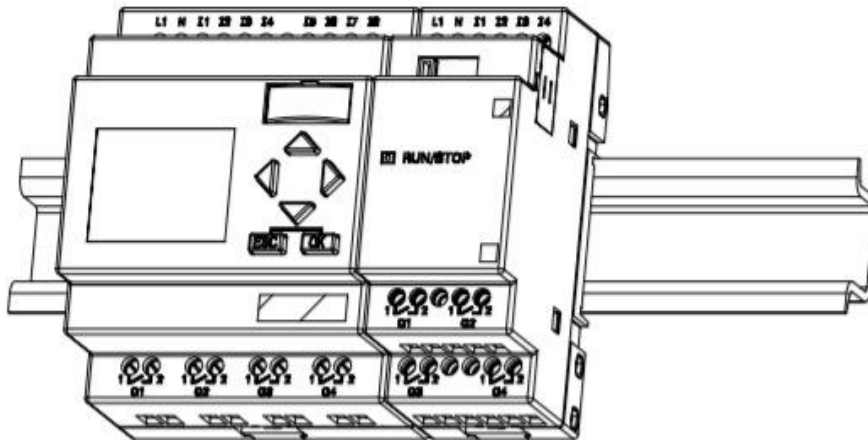
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al lenguaje de programación arduino, presenta las siguientes funciones básicas:

- Arduino digitalWrite (escribir un 1 o 0 sobre una salida)
- Arduino pinMode (Declara un pin como entrada o salida)
- Función delay (Declarar un tiempo en milisegundos)
- Arduino digitalWrite (Leer el valor de una entrada digital)

### 1.3.2 Controlador lógico programable (PLC) LOGO

Es uno de los controladores más conocidos a nivel industrial debido a que es robusto y estable pese a condiciones muy altas de ruido. Es utilizado para automatizar procesos electromecánicos, electro-neumáticos, electro-hidráulicos, debido a que es ideal para el control de procesos secuenciales. Posee funciones como temporizadores y contadores. Sus entradas pueden configurarse como analógicas o digitales. Los principales lenguajes de programación son: Diagrama de bloques funcionales, Ladder, Graficet, entre otros. Ejemplo de este PLC lo indica la figura 1-7

**Figura 1-7** PLC Logo 230RC

Fuente: (Siemens, 2003)

Para el proyecto se usará un PLC Logo 230RC. Sus siglas indican que su salida es a relé y posee un reloj interno (clock). Su conexión al ordenador es mediante logo Cable, es decir, su comunicación es serial por medio de puerto USB.

- **Diagrama de contactos (LADDER)**


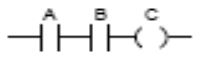

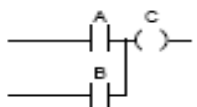

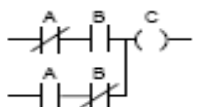

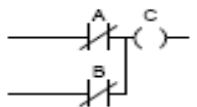

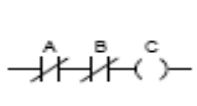
Es un lenguaje gráfico, derivado de la lógica cableada. Mediante símbolos representa contactos, bobinas, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según el estándar IEC y son empleados por todos los fabricantes.

Dentro de las funciones que se implementaron se encuentran:

- **Temporizadores de retardo a la conexión (ton):** Como su nombre lo indica, es un relé cuyo contacto de salida se activa una vez cumplido el tiempo establecido. Pueden ser representados mediante contactos normalmente abierto o cerrados.
- **Marcas:** También llamadas como relés internos. Son variables lógicas que se emplean para memorizar estados o para acumular resultados

que posteriormente se utilizaran en el programa. Se les identifica con la letra "M" y un número, el cual servirá para asociarla a algún evento. La tabla 1-4 muestra el equivalente de las compuertas lógicas en lenguaje Ladder.

**Tabla 1-4** Equivalente Ladder

EQUIVALENT LADDER/LOGIC DIAGRAMS																	
Logic Diagram	Truth Table	Ladder Diagram															
 <p>AND Gate</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	 <p>AND Equivalent Circuit</p>
A	B	C															
0	0	0															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	1															
 <p>OR Gate</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	 <p>OR Equivalent Circuit</p>
A	B	C															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	1															
 <p>Exclusive-OR Gate</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	 <p>Exclusive-OR Equivalent Circuit</p>
A	B	C															
0	0	0															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															
 <p>NAND Gate</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	 <p>NAND Equivalent Circuit</p>
A	B	C															
0	0	1															
0	1	1															
1	0	1															
1	1	0															
 <p>NOR Gate</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	 <p>NOR Equivalent Circuit</p>
A	B	C															
0	0	1															
0	1	0															
1	0	0															
1	1	0															

Fuente: (Electromecánica, 2020)

### 1.3.3 Programación Estructurada

Corresponde a un modelo de programación orientado a mejorar calidad, tiempo y claridad del mismo; emplea tres instrucciones de control como se indica a continuación:

1. **Secuencia:** Es el orden en que las instrucciones deben ser ejecutadas. Está determinada por el proceso que desarrolla la planta o sistema.

Para el desarrollo del presente trabajo la secuencia será representada mediante:

- **Diagrama espacio-fase:** Es una representación gráfica que muestra el cambio de estado que realiza un actuador en función de distintas fases.

**2. Selección (condicionales):** Es una instrucción o grupo de instrucciones que su ejecución depende directamente del valor booleano de una variable.

Existen diferentes técnicas para determinar la ecuación (canónica disyuntiva) lógica representativa de un proceso, la cual determina de forma simplificada las condiciones características del sistema dependiendo de las variables involucradas. Para el desarrollo del presente trabajo, el análisis de condiciones para el PLC se realiza por medio:

- **Min-términos:** También conocida como suma de productos. Es una expresión del algebra Booleana en el que se evalúan **n** cantidad de variables para analizar en qué casos esta condición es verdadera (1) y se niegan aquellas que tienen valor de 0.

**3. Iteración (ciclos o bucles):** Es la repetición de un proceso con el fin de alcanzar una meta deseada. Para el presente proyecto se hace pertinente la implementación de un sistema de control de lazo cerrado, con el fin de que se evalúe constantemente la salida con respecto a la entrada. Por tal razón, se hace uso de un sensor IR (CNY-70), el cual indica el estado actual de la base y así mismo se determine la cantidad de ciclos que se deben realizar

## 1.4 Diseño Mecánico

### 1.4.1 Producción modular

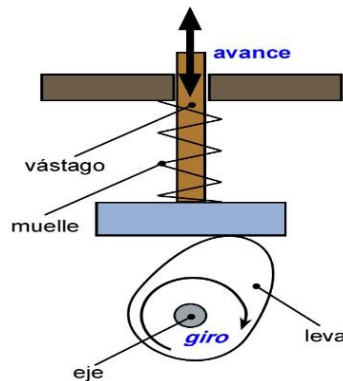
La producción modular hace parte de los modelos de fabricación en donde se manufactura una pieza o producto a través de un flujo continuo en módulos o puestos de trabajo, las cuales integran el concepto de justo a tiempo. Una de las características importantes del sistema modular es que los procesos de producción dejan de ser lineales para pasar a tipo

U, L o T, o en su defecto, semicirculares. Lo anterior favorece a la integración del proceso, lo que conlleva a la fácil adaptación del modelo a procesos tecnológicos de automatización. Ejemplo de este modelo de producción lo implementa la industria automotriz, las cual tienen un patrón para el ensamble por estaciones o módulos de carácter especializado (Lara Ri & Trujnao G, 2004).

### 1.4.2 Leva seguidor

Es un mecanismo cuya función es convertir un movimiento rotatorio en lineal. Aquí el elemento no circular gira sobre un punto, el cual a su vez provoca el desplazamiento alternativo de un seguidor de leva o palpador (Norton R. L., 2009). El recorrido máximo del palpador se conoce como carrera del palpador, gran parte de las máquinas que se utilizan en la fabricación de muchos artículos de consumo están compuestas de levas.

**Figura 1-8** Esquemático de funcionamiento Leva seguidor



Fuente: (Edu.xunta, 2020)

### 1.4.3 Transmisión por Engranajes

Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales a la mayor se le denomina corona y al menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento

desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocido como engranaje motor y la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de un par de ruedas dentadas, se denomina tren de engranajes (Norton R. L., 2009).

#### 1.4.4 Fuerza y Coeficientes de Resistencia

En todo mecanismo de transmisión existen fuerzas que se oponen al movimiento entre superficies como un principio natural, a este tipo de fuerzas se les llama fricción o rozamiento dinámico. Se produce debido a las imperfecciones, mayormente microscópicas, entre las superficies en contacto (Fiscalab, 2020)

Si la fuerza de rozamiento  $F_r$  es proporcional a la normal  $N$ , y a la constante de proporcionalidad se la llama  $\mu$ :

$$f_r = \mu N \quad (\text{ecuación 1.1})$$

A partir de una fuerza normal constante, se calcula el coeficiente de fricción estático y dinámico como se muestra en la ecuación 1.2

$$\mu_e = \frac{F_e}{N}, \quad \mu_d = \frac{F_d}{N} \quad (\text{ecuación 1.2})$$

Dicho coeficiente se interpreta como la mayor fuerza que el sistema puede soportar antes de iniciar el rozamiento para el caso del coeficiente estático  $\mu_e$  y el coeficiente dinámico  $\mu_d$  hace referencia a la fuerza que necesita el sistema para mantener el cuerpo en movimiento una vez iniciado.

- **Fricción estática**

Las variables aplicadas para su cálculo son la fuerza aplicada ( $F$ ), la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ), el peso del cuerpo ( $P$ ), y la fuerza normal ( $N$ ). Cuando el cuerpo está en reposo las fuerzas aplicadas y de rozamiento son iguales y vienen dadas por la ecuación 1.3

$$\left\{ \begin{array}{l} P = N \\ F = F_r \end{array} \right\} \quad (\text{ecuación 1.3})$$

A esto se suma el peso del cuerpo P (masa por la aceleración de la gravedad (g)) y que la fuerza de rozamiento es el coeficiente estático por la normal:

$$P = N = m.g \quad (\text{ecuación 1.4})$$

$$F = F_r = \mu_e N \quad (\text{ecuación 1.5})$$

De donde la ecuación de equilibrio estático es:  $F = F_r = \mu_e.m.g$

- **Fricción Dinámica**

Las variables aplicadas para su cálculo a partir del movimiento sobre una superficie horizontal son la fuerza aplicada (F), la fuerza de rozamiento (Fr), el peso (P) y la fuerza normal (N); cuando el sistema o cuerpo está en equilibrio dinámico la ecuación 1.8 ilustra

$$\text{Su estado: } \left\{ \begin{array}{l} P = N \\ F = F_a - F_r \end{array} \right\} \quad (\text{ecuación 1.6})$$

A partir de aquí se sabe que

$$P = N = m.g$$

$$F_r = \mu_d N \quad (\text{ecuación 1.7})$$

$$F = m.a$$

Al reemplazar dichas variables y prescindir de los signos se tiene que la ecuación de equilibrio dinámico es:

$$F_a = \mu_d.m.g + m.a; \rightarrow a = \frac{F_a}{m} - \mu_d.g \quad (\text{ecuación 1.8})$$

Es decir, la fuerza de empuje aplicada sobre el cuerpo es igual a la fuerza **Fa** resultante F menos la fuerza de rozamiento **Fr** que el cuerpo opone a ser acelerado. De esa misma expresión se deduce que la aceleración a que sufre el cuerpo, al aplicarle una fuerza Fa mayor que la fuerza de rozamiento Fr con la superficie sobre la que se apoya.

### 1.4.5 Fabricación Digital

Es un proceso de diseño y producción que combina el modelado 3D o el diseño asistido por computación (CAD) con la fabricación aditiva y sustractiva. Dentro de las herramientas para la ejecución en hardware de estos diseños digitales se encuentran CNC, impresoras 3D, cortadoras laser, entre otras. Para este proyecto, se realizará el modelado y mecanizado de algunas piezas y tarjetas electrónicas haciendo uso de los siguientes equipos:

**Routeadora CNC:** Las fresadoras o enrutadores CNC incluyen software patentado que interpreta dibujos vectoriales 2D o modelos 3D y convierte esta información en un código G. Los códigos G o lenguaje de máquina, controlan numéricamente un dispositivo mecánico motorizado para la fabricación de componentes.

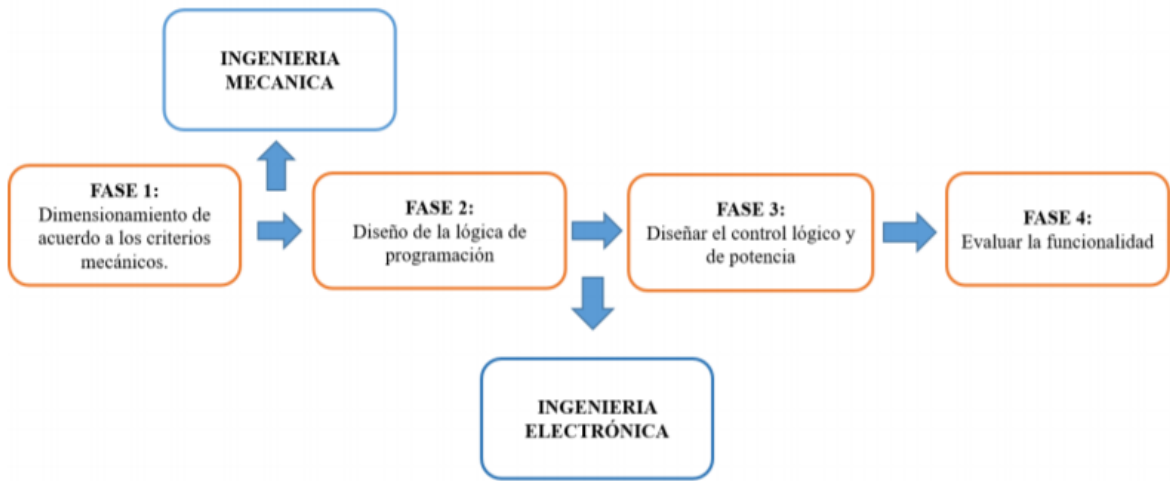
**Impresora 3D:** Las impresoras 3D utilizan una variedad de métodos y tecnología para producir versiones físicas de objetos digitales. Como materia prima se usa un rollo de filamento de plástico delgado, el cual se derrite y se deposita sobre una cama caliente con precisión donde posteriormente se enfría y endurece tomando la forma modelada en el software. Dentro de los materiales más usados comercialmente se encuentran el plástico ABS y PLA.



## 2.Capítulo 2: Diseño

EL modelo propuesto, se desarrolla en 4 fases como lo indica la figura 2-1, la cual hace referencia al diagrama de bloques del cuerpo del proyecto. En los anexos se presenta el plano banco didáctico con las diferentes vistas, diagramas de flujo y programaciones de los controladores PLC y Arduino.

**Figura 2-1** Diagrama de bloques del proyecto

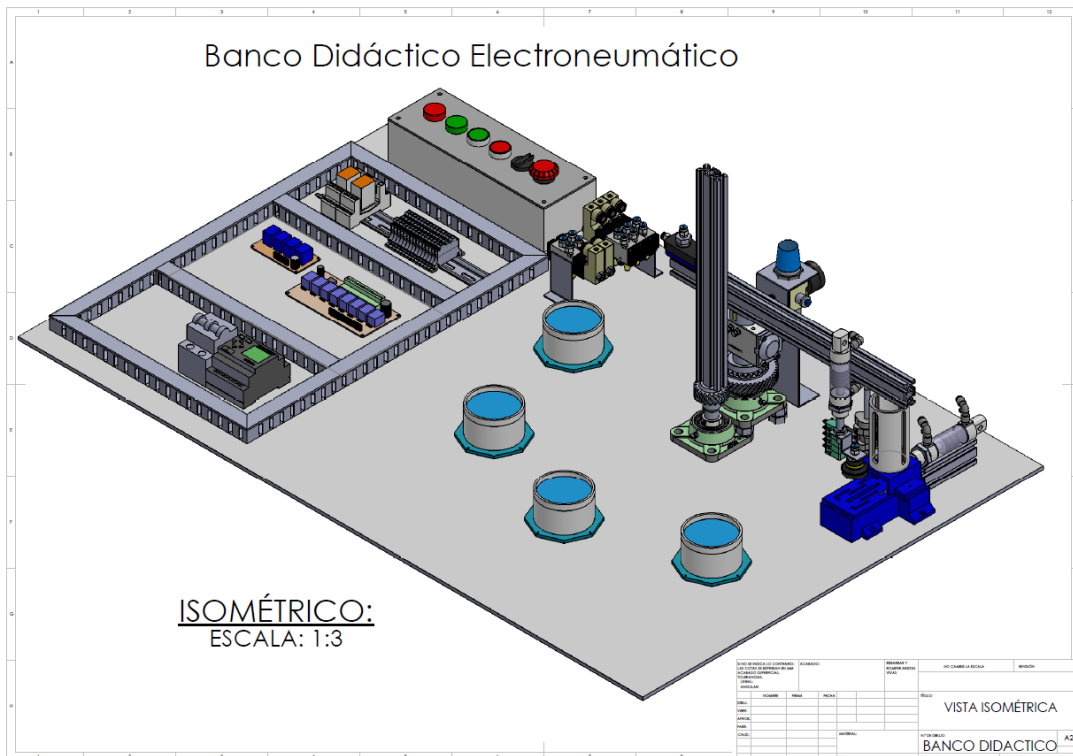


Fuente: Propia

## 2.1 Diseño Mecánico

### 2.1.1 Visualización del prototipo

Figura 2-2 Vista Isométrica Banco Didáctico



Fuente: Propia, SolidWorks

Para dar cumplimiento al objetivo general del presente proyecto, se planteó el diseño de un banco didáctico electro-neumático teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Cumplir el proceso del MPS propuesto para el proyecto (distribución y manipulación)
- Realizar un tipo de transporte perimetral semicircular
- Diseñar una estructura, que se prolongue en el eje (Z, X). Además, que su posición sea configurable en ambos ejes.
- Ampliar el giro de trabajo de un actuador con un movimiento angular de 90° a 180°

- Diseñar un mecanismo que permita sincronizar y controlar el aire que mueve el banco
- Distribuir en un semi-círculo con 0.25m de radio, bases para la distribución de piezas. Suficientes para realizar distintas secuencias y acorde al presupuesto.
- Crear bases de descarga con una geometría sencilla, uniforme y estética.
- Diseñar una base principal donde se puedan almacenar las piezas y aporte a un paso a la secuencia electro neumática.

Con base a lo anterior se propuso un prototipo de banco didáctico, el cual fue ejecutado sobre una base rectangular de 1,2m\* 0,77m. Para esto se acoplo una transmisión mecánica de dientes helicoidales a un actuador rotativo neumático por medio de un eje. El control de dicho actuador se llevó a cabo a través de un mecanismo leva seguidor ubicado en paralelo con interruptores de posición, el ajuste de estas al segundo eje se realizó por medio de un tornillo prisionero, de tal forma que las levas puedan sincronizarse al ángulo deseado y así posicionar el mecanismo en distintas partes. La segunda transmisión se realiza por medio de una polea que comparte el mismo eje de la transmisión 1, la cual hace conducir el árbol de levas cuando el actuador rotativo se activa.

La estructura implementada fue similar a la de una grúa pluma, esto con el fin de abarcar radios variables y cumplir con los parámetros iniciales. El banco cuenta con 5 bases a 45° una de la otra, la primera corresponde a la base de apilamiento donde un cilindro se encarga de expulsar las fichas, las 4 posteriores hacen alusión a las bases circulares donde se descarga el material manipulado.

El diseño del banco didáctico se realiza a partir del actuador rotativo neumático, el cual posee las medidas más pequeñas encontradas en el mercado de la ciudad de Neiva.

El prototipo se encuentra fundamentado y validado a través de distintos criterios de ingeniería mecánica.

### **2.1.2 Cálculos de Engranajes**

Se requiere determinar la velocidad angular en el eje que comprende el brazo  $n_1 = 50$  rpm. Adicional a ello, se tiene el piñón conductor de  $Z_2 = 43$  dientes, con una velocidad angular  $n_2 = 25$  rpm, los cuales emplearan para calcular el número de dientes  $Z_1$ .

Despejando la relación de transmisión se tiene.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Reemplaza los valores:

$$i = \frac{50rpm}{25rpm}$$

$$i = 2$$

Se procede a despejar el número de dientes Z1:

$$Z_1 = \frac{Z_2}{i}$$

$$Z_1 = \frac{43}{2} \quad (\text{ecuación 2.2})$$

$$Z_1 = 21.5$$

$$Z_1 \approx 22$$

Una vez realizados los cálculos, los datos obtenidos son:

$$Z_1 = 22$$

$$Z_2 = 43$$

$$T = 11N.m$$

$$D_{e1} = 50mm$$

$$D_{e2} = 93mm$$

$$n_1 = 50rpm$$

$$n_2 = 25rpm$$

$$b = 16mm$$

Calculamos la velocidad lineal, se conoce que el piñón  $Z_2 = 43$  es el conductor, por lo que el piñón  $Z_1 = 22$  es el conducido.

$$V_2 = \frac{\pi \cdot D_{e2} \cdot n}{100} \quad (\text{ecuación 2.3})$$

De donde

$D_{e2}$  = diámetro exterior del piñón 2 en cm

$n_2$  = velocidad angular rpm

$b$  = espesor del piñón en mm, al reemplazar se obtiene:

$$V_2 = \frac{\pi * 9.3 * 25}{100}$$

$$V_2 = 7.3 \text{ m/min} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 122 \text{ m/seg}$$

Despejando la fuerza tangencial de (2.13) se tiene:

$$F_t = \frac{T}{D_{e2}} \quad (\text{ecuación 2.4})$$

Donde T= torque N.mm

$$F_t = \frac{11000 \text{ N.mm}}{93 \text{ mm}}$$

$$F_t = 118.27 \text{ N}$$

Se calcula fuerza diametral:

$$F_d = F_t * \frac{V_2}{360^\circ}$$

$$F_d = 118.57 \text{ N} * \frac{7.3 \text{ m/min}}{360^\circ} \quad (\text{ecuación 2.5})$$

$$F_d = 2.4 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza diametral, se procede a despejar el modulo por medio del esfuerzo corregido del material S; el material es polipropileno de baja densidad realizado mediante proceso impresión 3D.

$$\sigma = 1.2 \text{ MPa}$$

$$S = 0.5 * \sigma$$

$$S = 0.5 * 1.2 \text{ MPa}$$

$$S = 0.6 \text{ MPa}$$

A partir de la expresión de igualdad de fuerza diametral en función al módulo (2.6), se tiene:

$$Fd = \frac{\pi * S * d * b * 2.54}{7(M * d + 20)}$$

$$5.77N = \frac{\pi * 0.6 * 93 * 16 * 2.54}{7(M * 93 + 20)} \quad (\text{ecuación 2.6})$$

$$7(M * 93 + 20) = \frac{\pi * 0.6 * 93 * 16 * 2.54}{5.77N}$$

$$651M + 140 = 1234.7$$

$$M = 1.68$$

$$M \approx 2$$

En este caso queda un módulo estandarizado, para ajustar a parámetros de mecanizados para engranajes. Modulo = 2

### 2.1.3 Cálculo de Poleas y Correas

El sistema seleccionado es el de correa dentada, ya que no pierde el paso ni hay deslizamiento entre la correa y la polea. Se determina las poleas y las correas en función del torque.

El torque generado es de 11 N\*m.

Para ello se debe conocer la potencia según el torque y la velocidad angular. La ecuación empleada es (2.7):

$$W = \frac{T * n}{716} \quad (\text{ecuación 2.7})$$

De dónde:

T= en kilogramo metro

n es velocidad angular en rpm

$$W = \frac{1.12169Kg.m * 25}{716}$$

$$W = 0.04HP \approx 30Watts$$

La relación de poleas es 2:1

Según la tabla 2-1, se determina el número de dientes y el diámetro de la polea dentada

**Tabla 2-1** Tabla de relación de número de rpm y dientes (3M HP- ancho de 9 mm)

Potencia nominal $P_N$ [W] para perfil y tipo 3M HP y ancho de correa dentada de 9 mm																
Número de revoluciones de la polea dentada pequeña $n_k$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	Número de dientes de la polea dentada pequeña $z_k$															
	10	12	14	16	18	20	24	28	32	40	48	56	64	72	80	
	Diámetro efectivo de la polea dentada pequeña $d_{wk}$ [mm]															
	9,55	11,46	13,37	15,28	17,19	19,10	22,92	26,74	30,56	38,20	45,84	53,48	61,12	68,75	76,39	
20	2,7	3,4	4,1	4,8	5,6	6,4	8,0	9,8	11,5	14,9	18,4	21,6	24,5	27,3	30,0	
40	5,2	6,5	7,8	9,2	10,7	12,1	15,2	18,6	21,8	28,5	35,0	41,2	46,7	52,0	57,3	
60	7,4	9,5	11,4	13,4	15,5	17,7	22,2	27,0	31,8	41,4	51,0	60,1	68,0	75,8	83,5	
100	12,3	15,3	18,4	21,7	25,1	28,7	36,0	43,5	50,9	66,1	81,6	96,3	109,3	122,2	134,7	
200	23,3	28,9	34,8	40,9	47,4	54,1	67,7	81,9	95,5	125,0	154,7	183,0	207,1	231,6	255,9	
300	31,6	39,4	47,7	56,3	65,6	74,7	93,8	113,6	133,0	173,9	215,1	253,9	287,6	321,9	354,5	
400	39,6	49,4	59,7	70,6	82,0	93,3	116,7	141,0	165,6	216,0	268,0	315,6	358,2	400,2	441,5	
500	46,3	58,1	70,6	83,6	97,3	111,3	138,6	167,6	197,0	255,8	317,1	372,8	423,0	473,3	521,3	
600	52,3	65,6	80,1	95,3	112,1	128,1	160,0	192,4	226,5	294,0	363,6	426,9	485,0	541,8	597,5	
700	58,6	73,9	90,0	106,9	125,6	143,7	180,5	217,4	254,7	330,1	407,7	478,8	544,0	607,6	669,7	
800	66,1	82,8	100,2	118,6	138,5	158,5	199,2	240,6	281,3	365,0	451,0	529,0	601,0	671,0	739,0	
900	71,5	89,0	109,3	129,7	152,0	173,5	217,4	262,8	307,9	399,0	491,0	577,0	655,0	731,0	807,0	
950	74,0	92,7	113,3	135,0	157,8	180,8	226,5	273,4	320,6	415,0	512,0	600,0	682,0	761,0	839,0	
1000	76,5	96,3	117,4	140,3	164,5	188,1	235,7	284,1	333,2	432,0	531,0	624,0	708,0	791,0	871,0	
1200	86,3	109,3	133,7	160,0	187,7	214,8	270,7	326,5	382,2	496,0	609,0	713,0	809,0	902,0	994,0	
1400	96,0	122,0	149,7	179,1	211,0	241,7	303,4	366,0	428,2	554,0	680,0	797,0	903,0	1009,0	1110,0	
1450	98,5	124,8	153,7	183,6	216,8	247,8	311,9	375,0	439,1	569,0	698,0	818,0	927,0	1034,0	1139,0	
1600	106,4	135,2	164,9	197,4	232,5	266,6	335,1	404,3	473,1	611,0	749,0	877,0	995,0	1110,0	1221,0	
1800	117,0	148,0	180,0	215,0	253,0	290,0	365,0	440,0	515,0	667,0	816,0	955,0	1082,0	1207,0	1326,0	
2000	125,0	158,0	193,0	231,0	272,0	312,0	395,0	475,0	557,0	718,0	879,0	1029,0	1165,0	1298,0	1427,0	
2400	141,0	178,0	219,0	263,0	309,0	356,0	450,0	543,0	635,0	819,0	1000,0	1168,0	1322,0	1471,0	1613,0	
2850	155,0	198,0	245,0	296,0	350,0	403,0	509,0	614,0	718,0	923,0	1125,0	1313,0	1484,0	1648,0	1792,0	
3200	170,0	216,0	266,0	320,0	379,0	436,0	552,0	665,0	779,0	1001,0	1218,0	1419,0	1601,0	1775,0	1940,0	
3600	182,0	233,0	287,0	347,0	411,0	473,0	599,0	722,0	845,0	1084,0	1317,0	1531,0	1724,0	1907,0	2079,0	
4000	194,0	248,0	308,0	372,0	441,0	508,0	644,0	776,0	907,0	1163,0	1409,0	1635,0	1837,0	2028,0	2203,0	
5000	221,0	284,0	352,0	427,0	507,0	587,0	743,0	896,0	1047,0	1335,0	1608,0	1853,0	2065,0	2257,0	2425,0	
6000	246,0	317,0	395,0	479,0	571,0	661,0	838,0	1011,0	1178,0	1495,0	1788,0	2045,0	2257,0	2440,0	2587,0	
7000	265,0	344,0	429,0	523,0	625,0	724,0	919,0	1105,0	1286,0	1621,0	1919,0	2169,0	2359,0	2506,0	2598,0	
8000	284,0	368,0	462,0	564,0	676,0	784,0	994,0	1194,0	1385,0	1733,0	2030,0	2264,0	2420,0	2517,0	2537,0	
10000	320,0	418,0	515,0	632,0	759,0	880,0	1114,0	1334,0	1534,0	1877,0	2128,0	2277,0	2393,0			
12000	349,0	452,0	566,0	690,0	822,0	954,0	1204,0	1428,0	1624,0	1920,0	2064,0					
14000	347,0	458,0	583,0	721,0	869,0	1006,0	1260,0	1476,0	1651,0	1856,0						

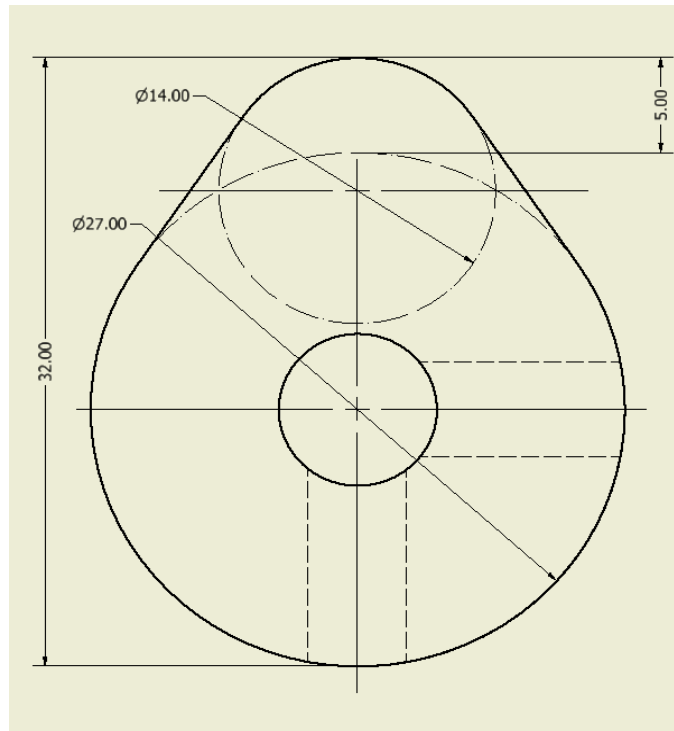
Fuente: (Norton E. , 2014)

De acuerdo a esto, la polea a usar es de 10 dientes y de un diámetro de 9.55 mm; Polea 2= 20 dientes y diámetro 19.10 mm

### 2.1.4 Diseño de Levas

En este caso el diseño básico de una leva, cuenta con unos dispositivos llamados finales de carrera, que activaran la señal de control para las válvulas del mecanismo. Los finales de carrera necesitan de una activación mínima. La velocidad angular a la que será sometido es de 120 rpm ya que la relación de poleas es 1:2.

La leva debe desplazar los palpadores de los finales de carrera 5mm, por lo tanto, la distancia desde el punto muerto hasta la cresta de la leva debe ser de 5mm.

**Figura 2-3** Diseño leva

Fuente: Propia, Software Solidworks

Se procede a calcular la fuerza a la que se someterá la leva en el banco; partiendo de la ecuación del torque se tiene (2.8):

$$T = F * r \text{ (ecuación 2.7)}$$

De donde:

**T**= torque N.mm

**r**= radio mm

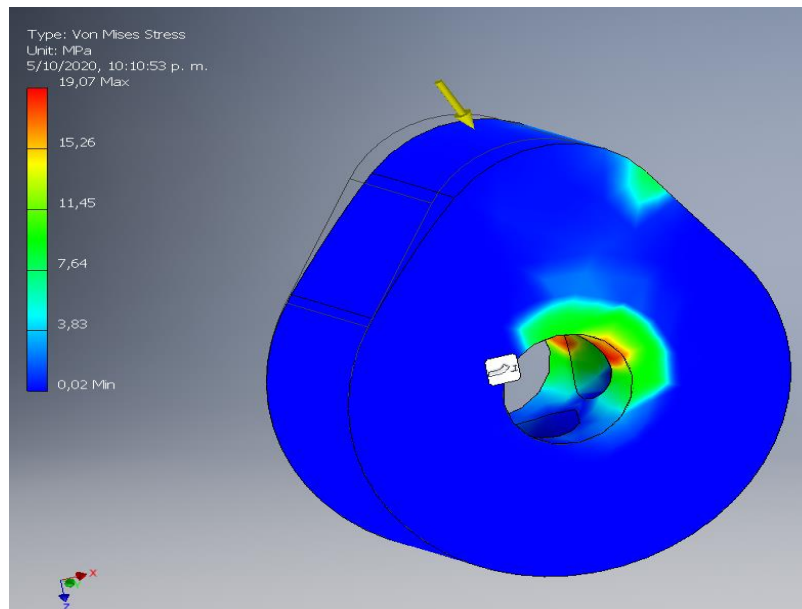
La fuerza estará determinada por:



$$F = \frac{T}{r}$$
$$F = \frac{11000N.mm}{18.5mm} \quad (\text{ecuación 2.8})$$
$$F = 594.59N$$

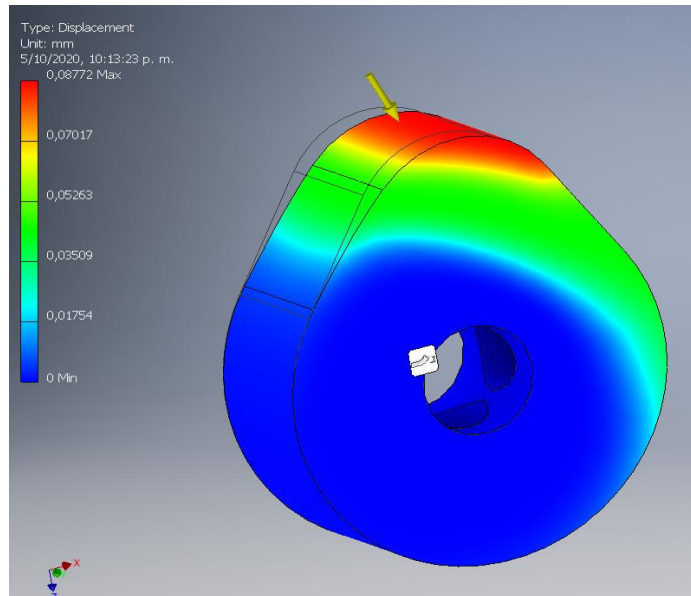
La leva será fabricada en material ABS por medio de impresión 3D; al aplicar el valor de las fuerzas calculadas se tiene el siguiente comportamiento del esfuerzo de la leva como se indica en la figura 2-4

**Figura 2-4** Esfuerzo máximo leva



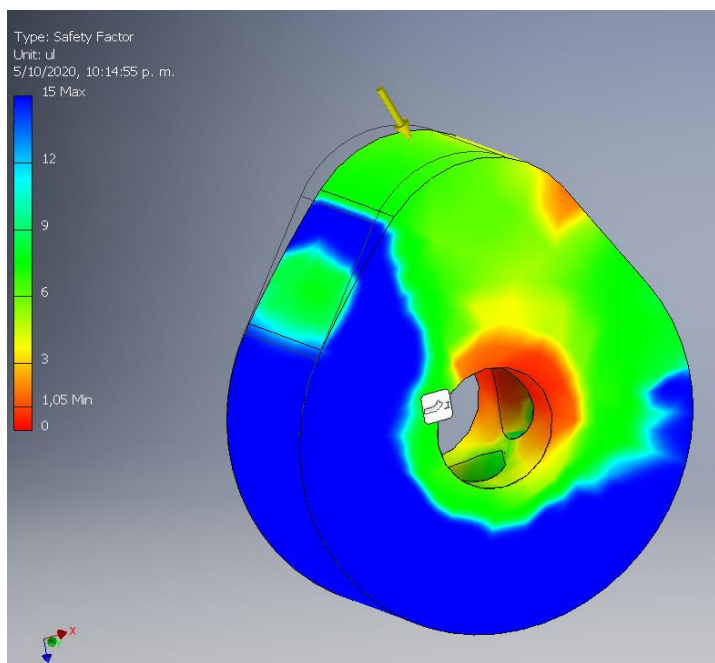
Fuente: Propia, Software Inventor

De donde el esfuerzo máximo de la leva es de 19.07 Mpa; de acuerdo a esto el desplazamiento máximo que sufre la leva se indica en la figura 2-5.

**Figura 2-5** Desplazamiento máximo de leva

**Fuente:** Propia, Software Inventor

De acuerdo al análisis realizado mediante simulación de desplazamiento máximo en la leva dicho valor es de 0.08mm; con respecto al factor de seguridad la figura 2-6 indica:

**Figura 2-6** Factor de seguridad

Fuente: Propia, Software Inventor

Que el valor de dicho factor de servicio en la leva es de 1.05.

### 2.1.5 Análisis de esfuerzo en brazo mecánico

Se tiene un cilindro neumático que trabaja a una presión máxima de 11 bares (1.1 N/mm<sup>2</sup>) y un diámetro interno de cilindro de 20 mm; a partir de la siguiente expresión.

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{ecuación 2.9})$$

De donde:

F= fuerza en N

A= área en  $mm^2$

Se despeja el área en función del diámetro, de lo cual se obtiene:

$$A = \pi r^2 \quad (\text{ecuación 2.10})$$

De dónde:

$$A = \pi 10^2$$

$$A = 314.16mm^2$$

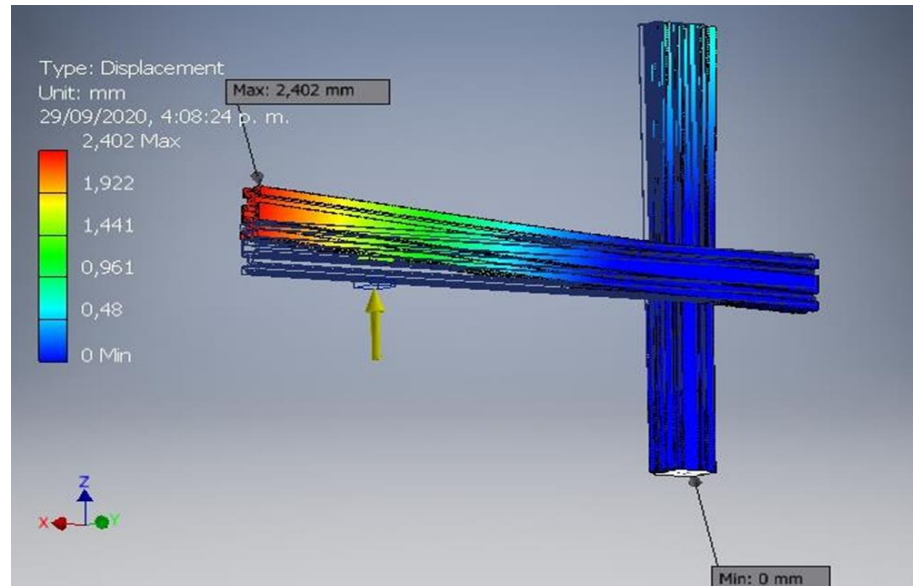
Se despeja la fuerza, dónde se obtiene:

$$F = P * A \quad (\text{ecuación 2.11})$$

$$F = 1.1 \frac{N}{mm^2} * 314.16mm^2$$

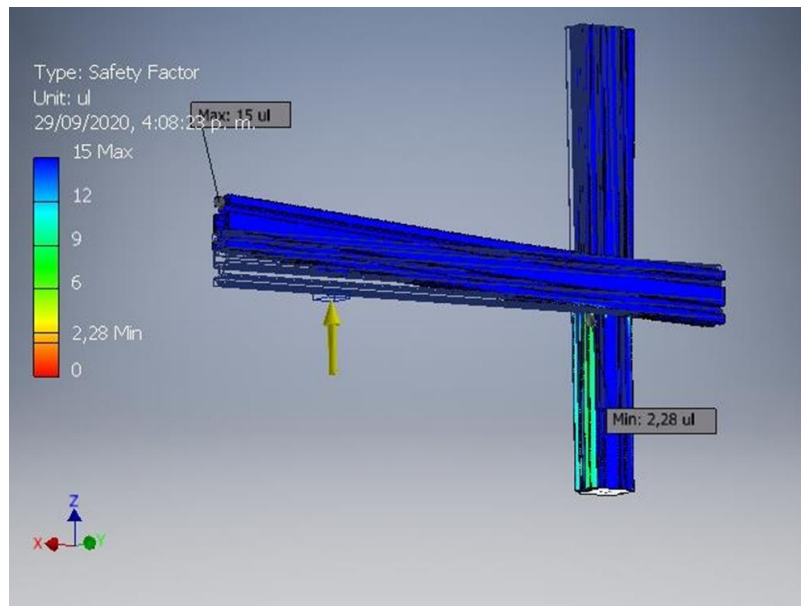
$$F = 345.57N$$

Se aplicó esta fuerza en la simulación, el material del perfil es aluminio y la designación de este es ob2040 6063; los resultados con respecto al desplazamiento se muestran la figura 2-7

**Figura 2-7** Análisis de desplazamiento

Fuente: Propia, Software Inventor

De acuerdo a la figura 2-7 el máximo desplazamiento que sufre el material trabajando en condiciones extremas es de 2,402 mm; con respecto al Factor de seguridad, la figura 2-32 indica:

**Figura 2-8** Análisis factor de seguridad

Fuente: Propia, Software Inventor

Que el factor de seguridad que presenta el material cuando es sometido a diferentes esfuerzos está dentro del máximo rango del sistema (15), lo cual implica que no presente roturas por esfuerzos.

Con respecto al análisis de momentos y fuerzas de reacción se tiene el siguiente resumen en la tabla 2-2

**Tabla 2-2** Resumen de fuerzas de reacción y torsión

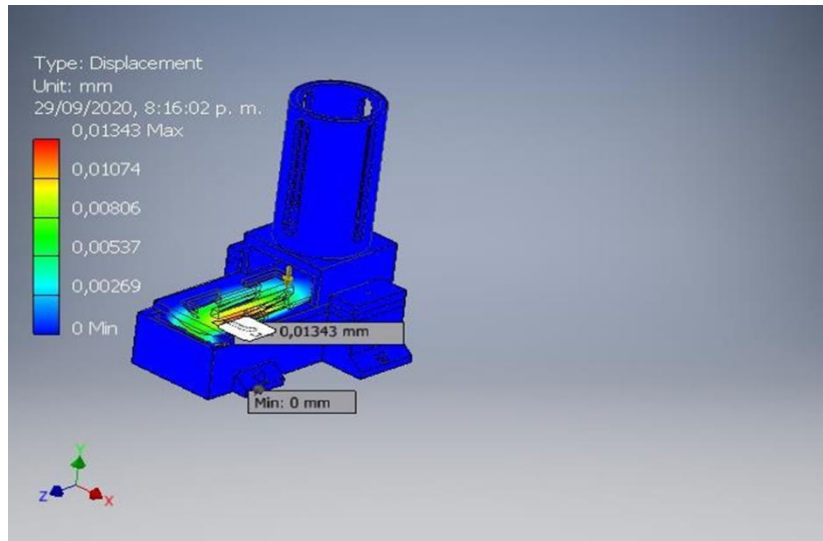
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
		0 N		-6,90398 N m
Fixed Constraint:1	345,57 N	0 N	90,241 m	89,9765 N m
		-345,57 N		0 N m

Fuente: Propia, Software Inventor

### 2.1.6 Análisis de esfuerzo en soporte de las piezas (ABS)

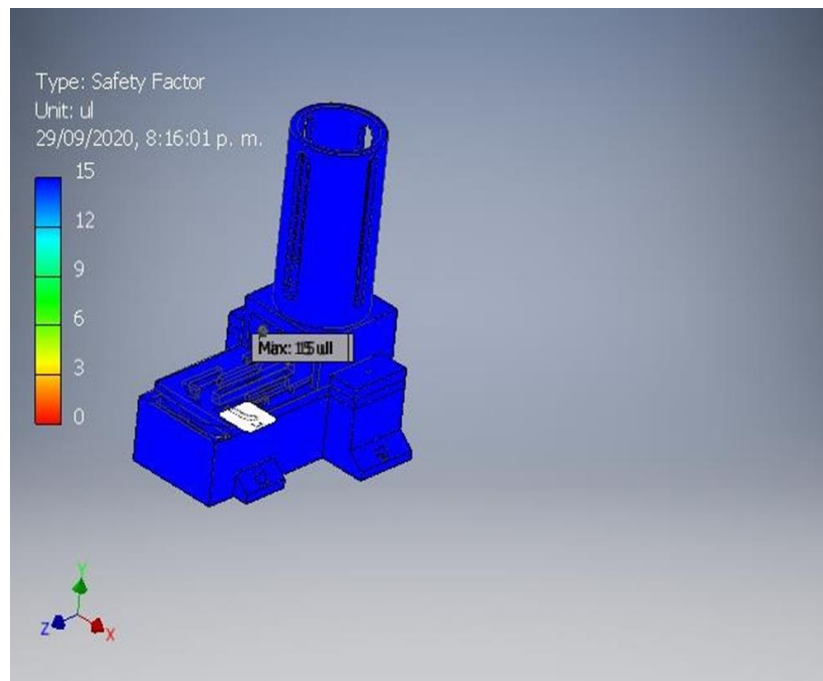
Se realiza un análisis de esfuerzos en donde se somete el dispositivo ensamblado a una carga de 2Kg, la cual es la fuerza máxima de absorción que tiene el sistema neumático que sujeta el producto, por esta razón se realiza el análisis bajo esta carga máxima, la cual soporta el sistema diseñado.

El análisis de desplazamiento mostrado en la figura 2-9, establece:

**Figura 2-9** Análisis de desplazamiento

**Fuente:** Propia, Software Inventor

Que el máximo desplazamiento que sufre el material trabajando en condiciones extremas es de 0,013 mm; el factor de seguridad se muestra en la figura 2-10

**Figura 2-10** Análisis de factor de seguridad

**Fuente:** Propia, Software Inventor

El factor de seguridad que presenta el material cuando es sometido a diferentes esfuerzos está dentro del máximo rango del sistema (15), lo cual implica que no presente roturas por esfuerzos.

Con respecto al análisis de momentos y fuerzas de reacción se tiene el siguiente resumen en la tabla 2-3

**Tabla 2-3** Análisis de fuerzas y momentos

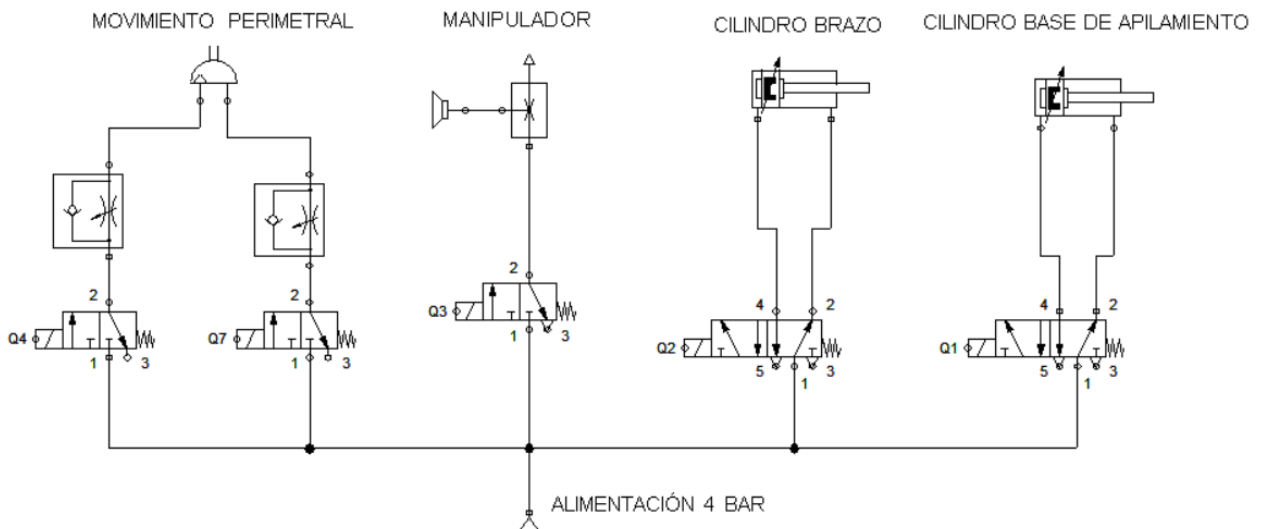
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	19,62 N	0 N	0,0385345 N m	0,0111245 N m
		19,62 N		0 N m
		0 N		0,0368938 N m

Fuente: Propia, Software Inventor

## 2.2 Diseño Circuito Electro-Neumático

Para dar cumplimiento al objetivo general definido en este documento, se plantea el circuito electro neumático indicado en la figura 2-11:

**Figura 2-11** Circuito Electro-neumático



Fuente: Propia, FluidSim

El circuito electo-neumático tiene una presión aproximada de trabajo de 4bar, la cual llega a dos uniones encargadas de configurar el circuito en paralelo. Las anteriores se conectan a cinco electroválvulas mono-estables con retorno por muelle, de tal forma que los actuadores conserven su posición inicial siempre que el solenoide de dicha válvula este apagada. Se implementan este tipo de electroválvulas (mono estable) con el fin de usar pocas salidas en los controladores seleccionados.

El circuito consta de dos electroválvulas 3/2, es decir, de 3 vías y 2 posiciones, las cuales se emplearon para dar paso o cierre de aire al actuador rotativo, y con ayuda de dos reguladores de caudal unidireccional controlar la velocidad angular en dicho actuador y posicionarlo con mayor precisión en el ángulo deseado.

A su vez, la última electroválvula 3/2 esta empleada para el accionamiento de la ventosa, que para su funcionamiento requiere de una bomba de vacío para lograr la adherencia de los objetos. Este efecto se consigue gracias al Fenómeno Venturi; elemento neumático que se incluye dentro del circuito propuesto para cumplir con la manipulación de las piezas.

Por otro lado, los dos cilindros doble efectos ocupan las dos válvulas restantes, estas de clasificación 5/2; un cilindro de doble efecto está ubicado en el [perfil horizontal](#) de la estructura, este será el encargado de subir o bajar la ventosa que transportará la pieza. El segundo cilindro estará en la base de apilamiento, la cual fue diseñada para que el pistón expulse las piezas del tubo que las almacena y el mecanismo pueda cumplir con su tarea.

El circuito es alimentado a través de un acople rápido neumático para facilitar el flujo de aire a la unidad de mantenimiento. De allí el aire sale por un racor de rosca G 1/2" mediante una manguera de poliuretano de 1/8", la cual llegará a dos uniones. Estas se encargarán de conectar las electroválvulas en la configuración descrita anteriormente, para que todas conserven la misma fuerza sobre área suministrada al inicio del circuito.

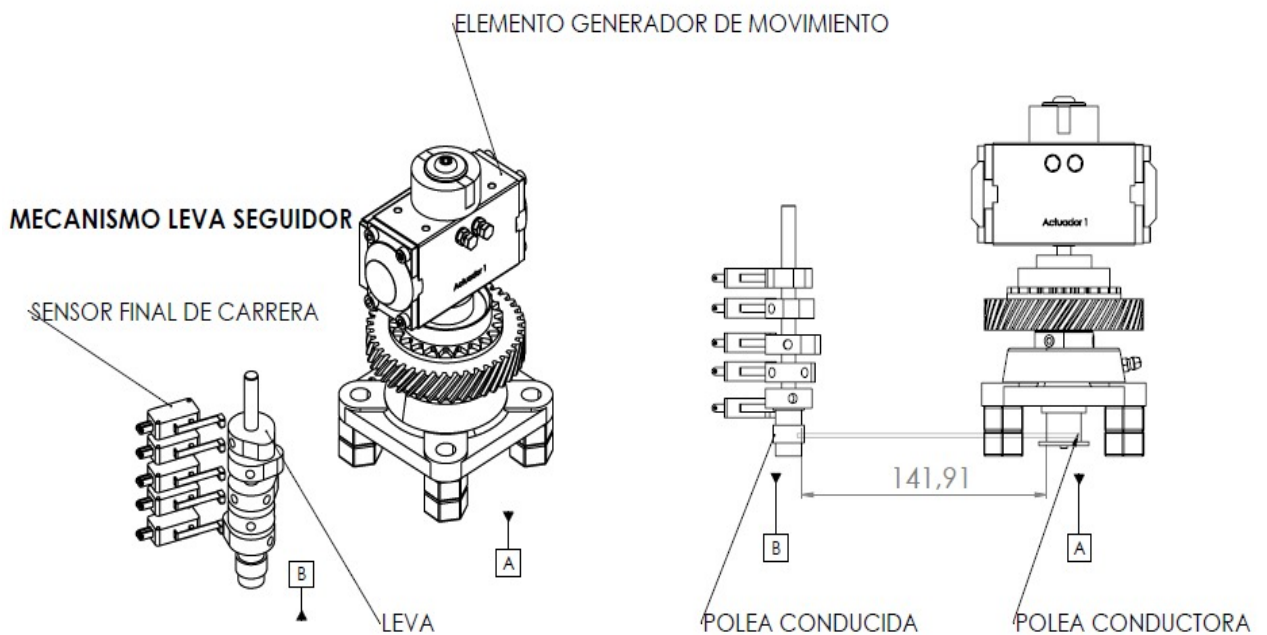
Una vez conectadas las electroválvulas por la entrada 1, se procedió a configurar tres válvulas 5/2 a 3/2 ya que por circunstancias del mercado sólo se logró conseguir electroválvulas 5/2 monoestables y con retorno por muelle para manguera de 1/8". Esta modificación se logró taponando la salida 2 de las electroválvulas con un elemento de unión desmontable tipo Allen de diámetro 3/8" x 5/16". Todo esto con él con el fin, de



acoplar dos de estas electroválvulas a un actuador rotativo y otra a un tubo de vacío el cual es indispensable para el funcionamiento de la ventosa.

Inicialmente, se pensó para el control de movimiento del actuador rotativo un posicionador electro-neumático que daba una gran exactitud al movimiento, pero por su alto costo se desistió de dicho elemento. La segunda opción fue una válvula proporcional de 4 a 20 mA que tenía control en el porcentaje de apertura y cierre, pero por escasos de estos elementos y alto valor en el mercado se abandonó esta idea. Como solución para [el control de giro del actuador rotativo neumático](#), se implementó un [árbol de levas](#) sincronizado a 45° grados una de la otra. El árbol, como se indica en la figura 2-12, se ubicó frente a los finales de carrera, estos accionan el respectivo interruptor de posición y desactivan la electroválvula que proporciona el aire al actuador rotativo, tal acción causa que el actuador se detenga en el lugar deseado. El anterior tiene un giro máximo de 90° por tal motivo fue necesario acoplarlo a una transmisión mecánica 1:2 que amplifica el movimiento a 180°.

**Figura 2-12** Sistema generador del movimiento perimetral



Fuente: Propia, Software Solidworks

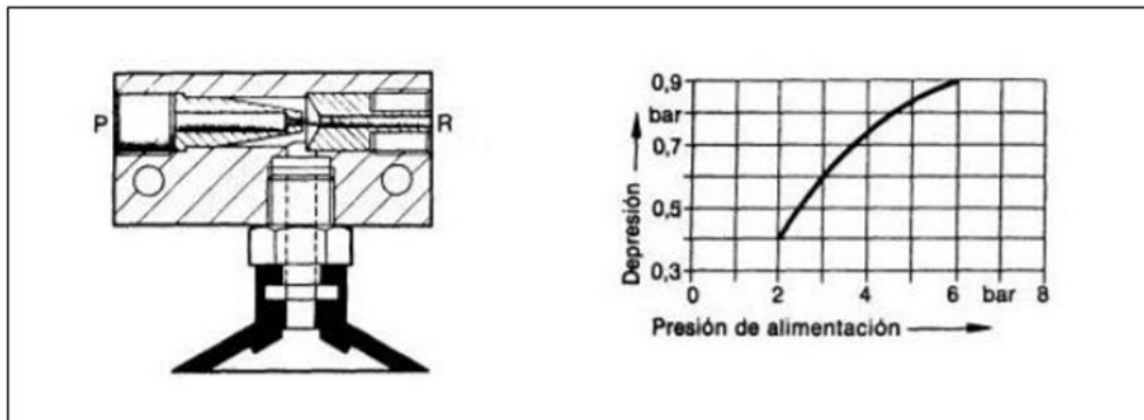
Nota. Acople de la transmisión y el control realizado sobre el actuador rotativo

- **Ventosa y Adherencia**

Para realizar el proceso de manipulación, es necesario acoplar la ventosa a una bomba de vacío, esto se realiza con el fin de crear una fuerza de succión que permite adherir las piezas al mecanismo para posteriormente ser transportadas y distribuidas. El funcionamiento de estos elementos se basa en la aplicación del principio Venturi (depresión). La presión de alimentación se aplica a la entrada, para este caso son 4 bar; de acuerdo al estrechamiento de la sección transversal de inicio, la velocidad del aire aumenta a causa del fenómeno y la ventosa produce una depresión (efecto de succión), a partir de este efecto se adhieren las piezas.

Según la teoría, se recomienda que la superficie sea limpia y poco porosa, con el fin de alcanzar un buen efecto de succión.

**Figura 2-13** Ventosa y relación de depresión y alimentación

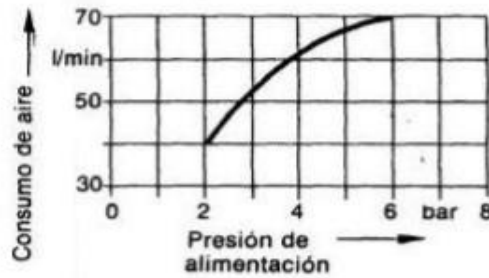


Fuente: Tomada de (Schmalz, 2020)

Como la presión de alimentación empleada en el proyecto es de 4 bar, se puede apreciar que la depresión en el sistema a este valor es de más o menos 0.7 bar. Lo que equivale, a una pérdida aproximada del 17,5%

Su succión es  $-85\text{KPa}$  a 5,5bar lo que quiere decir que a 4 bar la ventosa genera  $-61.18\text{KPa}$

**Figura 2-14** Relación consumo y presión alimentación



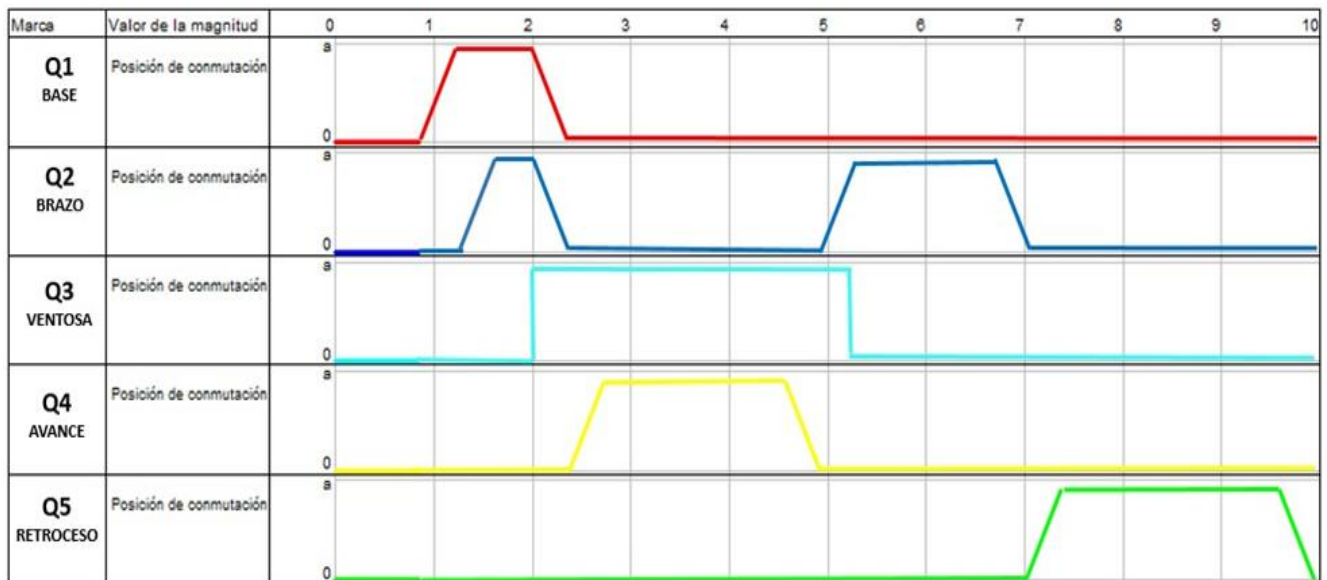
Fuente: (Schmalz, 2020)

De la Figura 2-14, se puede establecer, que el consumo de aire por parte de la bomba de vacío y presión nominal de trabajo, es de 60 litros por cada minuto de operación.

Nota. Al igual que en el actuador, para el control de la ventosa se modificó una de las electroválvulas, 5/2 a 3/2. Esta electroválvula ira al tubo de vacío, el cual cuenta con un racor de 3/8" a su entrada y una salida con un racor de 5/8" (manguera de 1/4"), por lo tanto, fue necesario implementar una reducción de 1/4" a 1/8" para poder suministrar aire a la ventosa.

### 2.2.1 Diseño de la Secuencia Electro-neumática

**Figura 2-15** Secuencia del circuito



Fuente: Propia

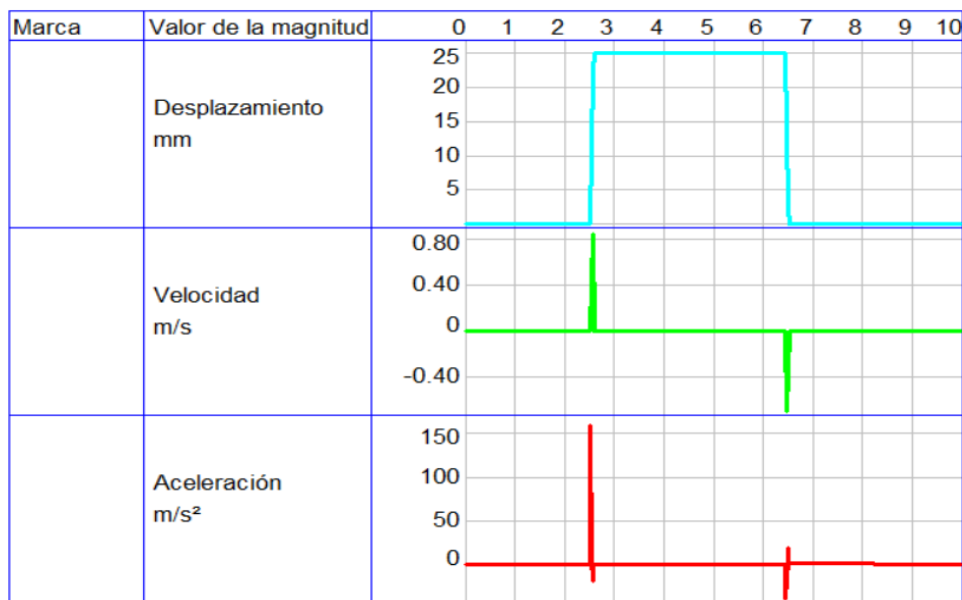
La figura 2-15 indica la ecuación de movimiento correspondiente al circuito electro neumático.

$$|Q1+|Q2+|Q3+| (Q1Q2)- |Q4+|Q4-|Q2+|Q3-|Q2-|Q7+|Q7-|$$

Esta secuencia se diseñó con el fin de generar el movimiento básico del banco ([anexo 6.5.1](#)). Q1 corresponde al solenoide del primer cilindro doble efecto, el cual está encargado de expulsar las piezas de la base de apilamiento para su posterior manipulación y distribución. Luego de concretada esta acción, Q2 obtura el cilindro 2 para conectar el manipulador de vacío (ventosa) con el elemento a transportar (pieza).

Al accionarse el pulsador que da energía a Q3, los Q1 y Q2 se desactivan al mismo tiempo. Q3 activa la ventosa que mantendrá sujeta la pieza. Para así continuar con la activación de Q4, él encargado del giro positivo del actuador rotativo. Este se desactivará según la base a la que se quiera llegar. Completados estos movimientos, el mecanismo procederá al descargue de la pieza. Para ello, el cilindro 2 se extiende y la ventosa se desactiva. Luego de la salida del vástago, el cilindro se retrae nuevamente para activar la electroválvula Q7 que hará retornar el artefacto a su posición inicial. Gracias a esta secuencia se puede llevar acabo las distintas configuraciones de programación y así dar una gran variedad de movimientos al banco.

**Figura 2-16** Diagrama de estado de trayectoria vástago.



Fuente: Propia, FluidSim

Por otra parte, en la figura 2-16, se muestra un diagrama de estado de la trayectoria del vástago en función del tiempo, las cuales dan a conocer la carrera del cilindro que posee la viga empotrada, su velocidad y aceleración. Lo anterior se desarrolla con el fin de tener en cuenta los valores para el diseño mecánico y la base para establecer la programación del banco.

Por otra parte, en base a la ecuación de caudal:  $Q = V.A$  (ecuación 2-12)

Dónde:

$V =$  A la velocidad del vástago

$A =$  Al área en  $m^2$  del embolo

Se halla el caudal que proporciona la fuente de aire comprimido:

$$Q = V.A$$

$$Q = V * \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$Q = 0.80 \frac{m}{s} * \frac{\pi * (0.02m)^2}{4}$$

$$Q = 0.251 \times 10^{-3} \frac{m^3}{seg}$$

$$Q \approx 0.251 \frac{LTS}{seg}$$

El caudal consumido por cada uno de los actuadores neumáticos es de aproximadamente:

$$0.251 \frac{LTS}{seg}$$

Según las especificaciones técnicas de la bomba de vacío, el caudal de aire consumido a 4bar es de:

$$0,2545 \frac{LTS}{seg}$$

Por lo tanto, el caudal consumido por la planta en estado de operación a 4bar es de aproximadamente:

$$1,011 \frac{LTS}{seg} \approx 60.665 \frac{LTS}{min}$$

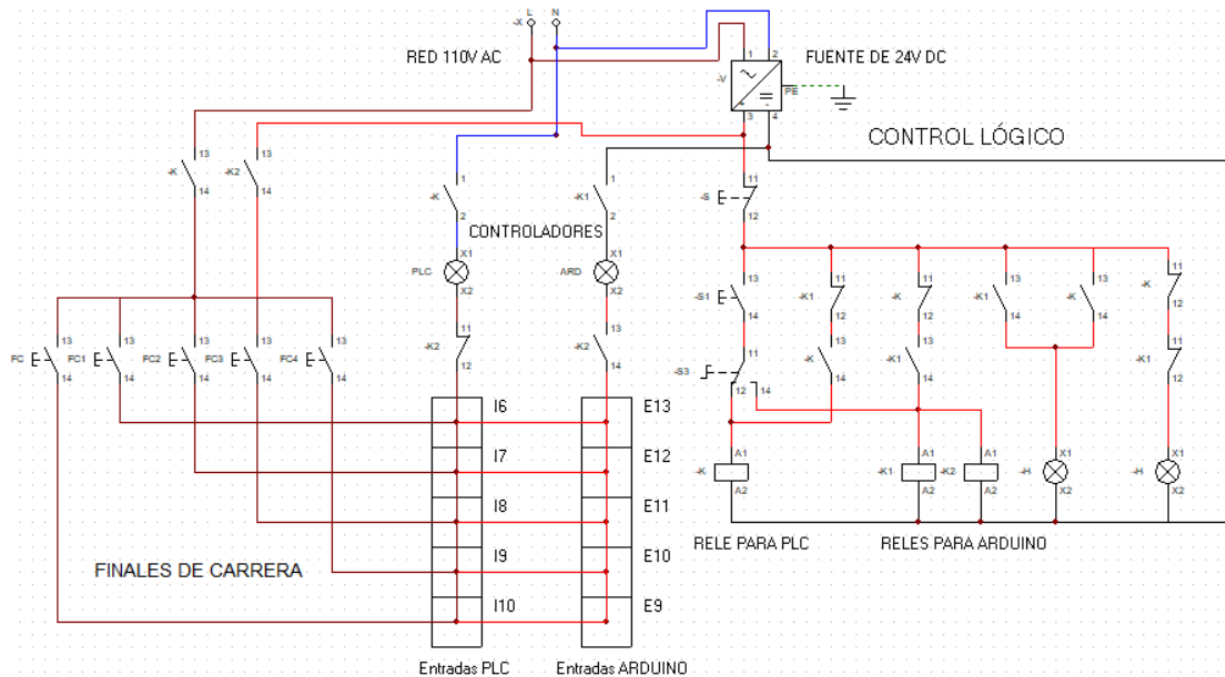
## 2.3 Diseño Circuitos de Control

### 2.3.1 Control Lógico

De acuerdo a aspectos de seguridad, las electroválvulas seleccionadas para el diseño trabajan a 24VDC, teniendo en cuenta esto, se hace necesario el uso de una fuente de poder auxiliar fija que proporcione dicho voltaje.

El circuito de lógica cableada de la figura 2-17, se realiza con el fin de que los operarios del banco puedan tener control total del banco didáctico desde un solo punto (tablero de control).

Figura 2-17 Circuito de arranque



Fuente: Propia, Cadesimu

La elaboración de este cableado lógico se realiza con el fin de seleccionar uno de los dos controladores disponibles para la planta y alimentar los finales de carrera con la tensión adecuada, ya que cada uno de estos controladores trabaja con voltajes distintos (AC y DC). Lo anterior se debe a que uno de ellos es usado para ambientes industriales con elevadas tensiones, mientras el segundo se realiza para entornos didácticos, con voltajes directos y pequeños. De acuerdo a lo anterior se consigue que cada uno de los

controladores se retroalimente con información necesaria y segura para llevar a cabo la secuencia ordenadamente.

El circuito se elaboró en un pequeño tablero eléctrico, con sus respectivas protecciones termoeléctricas, conductores apropiados a la potencia de trabajo y elementos eléctricos certificados para este tipo de labores.

En el mando del tablero se localizan dos pulsadores, abierto y cerrado que prestan el servicio de encendido y apagado (ON-OFF) así como un pulsador de emergencia que interrumpe el proceso en caso de ser necesario, dos pilotos de señalización verde y rojo de 22mm y un selector triple que permite elegir el controlador correspondiente. Una vez seleccionado el equipo a trabajar y encendido el sistema, se puede apreciar que cada controlador posee un relé por protección con cuatro comunes, cuatro contactos NO y cuatro NC. Asegurándose que cuando uno este encendido el otro tenga los contactos abiertos (des-energizado) en lugares donde pudiera existir un corto circuito que afecte las tarjetas y controladores implementados. La elaboración de este diseño brinda seguridad al encender el banco y la oportunidad de usar configuraciones tanto en voltajes alternos como directos. Para así llevar las órdenes de programación al respectivo controlador.

Ya que los elementos que se consideraron para el diseño del circuito de arranque son muy usados a nivel industrial, están estandarizados y diseñados para manejar desde bajos hasta altos valores de tensión, así como DC o AC. (Su selección se hace teniendo en cuenta los valores de voltaje que se van a emplear.) Para llevar a cabo el diseño anterior fue necesario:

$$I(\text{consumida}) = (\text{PLC} + \text{módulo}) + \text{Relé} + 2 * (\text{Piloto}) + \text{Arduino} + 5 * (\text{Electroválvulas}) + \text{otros consumos}$$

$$I(\text{consumida}) = (40\text{mA} + 40\text{mA}) + 5\text{mA} + 2 * (20\text{mA}) + 46\text{mA} + 5 * (125\text{mA}) + 40\text{mA}$$

$$I(\text{consumida}) = 0,836 \text{ A}$$

$$P = V * I$$

$$P = 100\text{V} * 0.836\text{A} \text{ (ecuación 2.13)}$$

$$P = 91.96\text{Watts}$$

## Selección de elementos:

- Relés de 24V, pues como se mencionó anteriormente todo será trabajado bajo este valor de voltaje. Sin embargo, como se puede apreciar en la figura 2-16 son necesarios 4 contactos para cada controlador. Por esta razón se usará un relé de 14 pines. El cual posee 4 comunes, 4 contactos NO ,4 NC y 2 para energizar la bobina. Además de esto, gracias al cálculo de la corriente consumida se determina que los relés deben soportar mínimamente 1A.
- Pilotos a 24V DC
- Pulsadores que soporten 24V DC/ 110V AC
- Fuente de alimentación de entrada 110V AC y salida 24V DC fija
- Protección termo magnética (Breaker) 110V AC /2A, se trabajará con este amperaje para no estar al límite de la corriente de consumo.
- Cable, se trabajará un calibre 20 para no estar al límite en cuestiones de corriente, El calibre escogido soporta 2A, como se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2-4 (APRENDIZAJE, 2020)

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

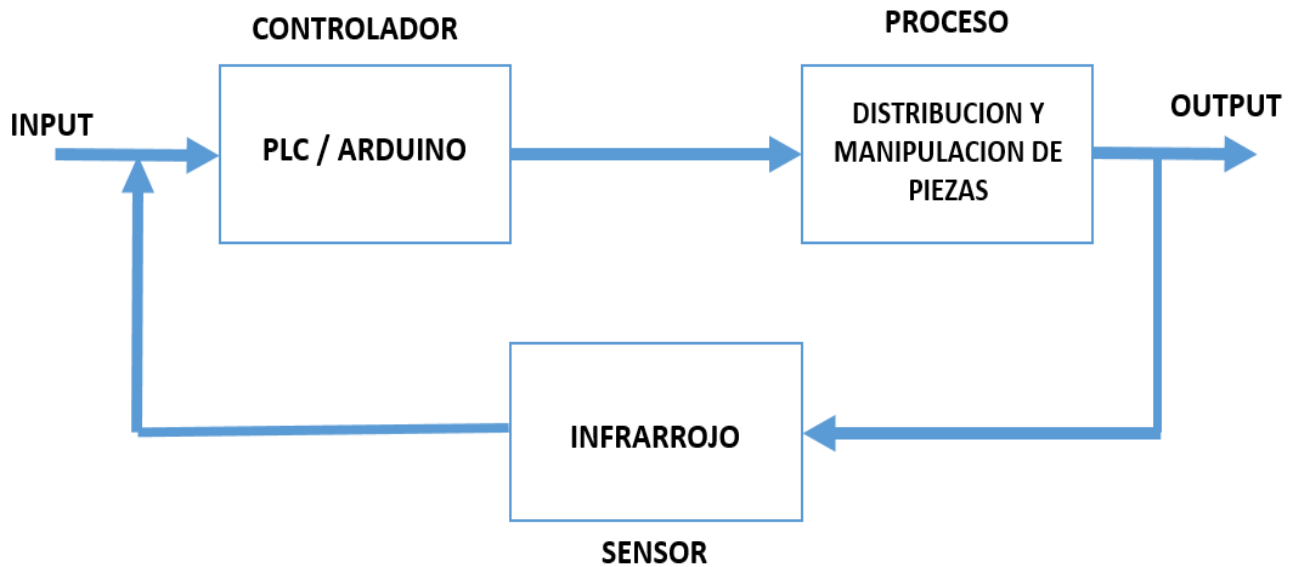
Amperaje que soportan los cables de cobre

Fuente: (APRENDIZAJE, 2020)



### 2.3.2 Control ON/OFF de Lazo Cerrado

Figura 2-18 Control ON/OFF



Fuente: Propia

Para el cumplimiento del objetivo del presente proyecto, se hace necesario que exista una retroalimentación del sistema para que este sea lo suficiente autónomo de saber la opción más adecuada donde dirigirse, lo anterior se logra mediante el uso de sensores, que para el caso del proyecto son de tipo infrarrojo (CNY 70) como se indica en la figura 2-18; se desarrollará una tarjeta por cada base, de tal forma que se evalúe constantemente la salida del sistema y el mecanismo sepa cuál es la base más cercana vacía donde puede descargar.



Fuente: Propia MultiSim

**La primera etapa** es la simulación de la infraestructura interna del sensor electrónico CNY70, es un sensor óptico Infrarrojo compuesto por un led infrarrojo y un foto-transistor, de un rango de corto alcance, el cual se utiliza para detectar colores u objetos. Para poder hacer una detección, la luz infrarroja se refleja con la superficie del objeto, el detector recibe esta luz en la base de la foto-transistor; si la corriente en la base es suficiente, permite el paso de corriente entre el colector y el emisor. El CNY70 funciona como un Switch que se abre o cierra si existe una superficie que refleje la señal que emite el diodo IR.

La distancia es determinada por la corriente que llega a la base de la foto-transistor, aquí la corriente de la base depende de la corriente que se le suministre al diodo emisor; por ende, se debe hallar la resistencia del cátodo para tener la corriente deseada a partir de la ley de ohm, teniendo en cuenta la alimentación suministrada, la cual es de 5v.

$$I = \frac{V}{R} \quad (\text{ecuación 2.14})$$

Dónde

$$V = 5V - 1.25V$$

Se resta la alimentación con el voltaje de caída del diodo emisor.

$$I = 20mA$$

El datasheet recomienda tomar la corriente según la distancia máxima deseada. Se despeja la ecuación (2.15) y se halla la resistencia como se indica a continuación:

$$\begin{aligned} R &= \frac{V}{I} \\ R &= \frac{5V - 1.25V}{20mA} \\ R &= 187.5ohm \approx 200ohm \end{aligned}$$

Realizada la prueba, se determina que esta resistencia es muy sensible; de acuerdo a esto se fue cambiando el resistor sin afectar al diodo y no tomando la máxima distancia.

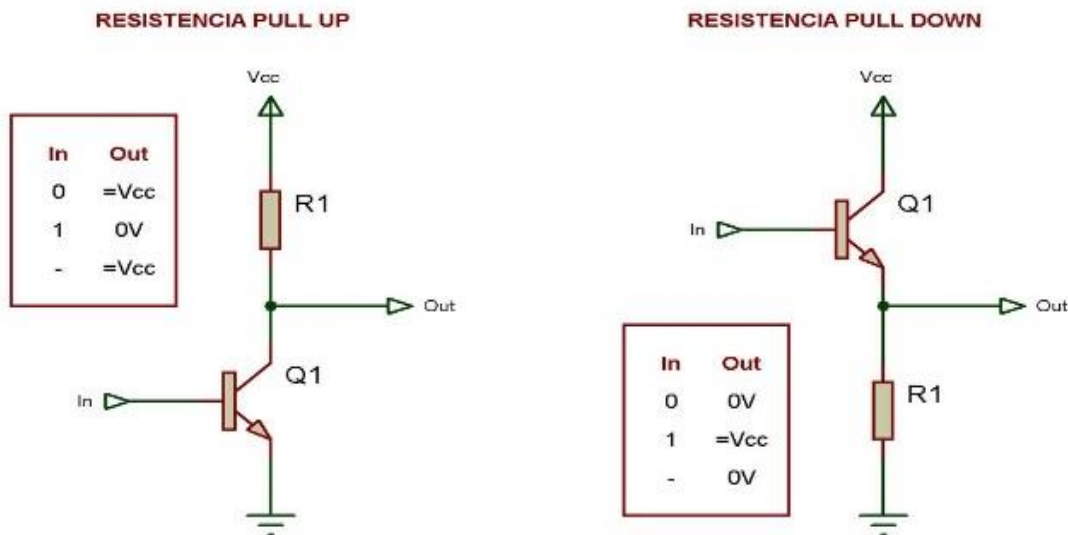
$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{5V - 1.25V}{3.75mA}$$

$$R = 1K\Omega$$

Se debe calcular la resistencia de la foto- transistor, para esto se observa que se utiliza configuración Pull Down como se indica en la figura 2-21, la salida está conectada con tierra a través de una resistencia, cuando el transistor está activado conectara el pin de salida con VCC, se maneja una resistencia de un valor elevado para que la corriente sea baja y no provocar un cortocircuito entre VCC y tierra cuando se active el transistor; por ende, se utilizó una resistencia de 10k ohm.

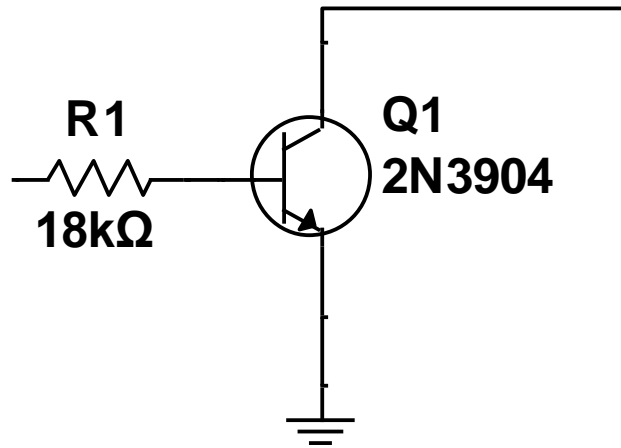
**Figura 2-21** Configuración de resistencia pull up y pull down



Fuente: Tomado de (Fidestec, 2020)

**La segunda** etapa es la de amplificación, para lo cual se usó, la configuración con emisor común NPN, el cual amplifica el voltaje, donde la entrada es por la base y la salida por el colector como se indica en la figura 2-22, para hallar el resistor adecuado se hace un análisis de mallas manejando una distancia donde el sensor no tenga baja sensibilidad.

**Figura 2-22** Malla de configuración de la segunda etapa



Fuente: Propia, MultiSim

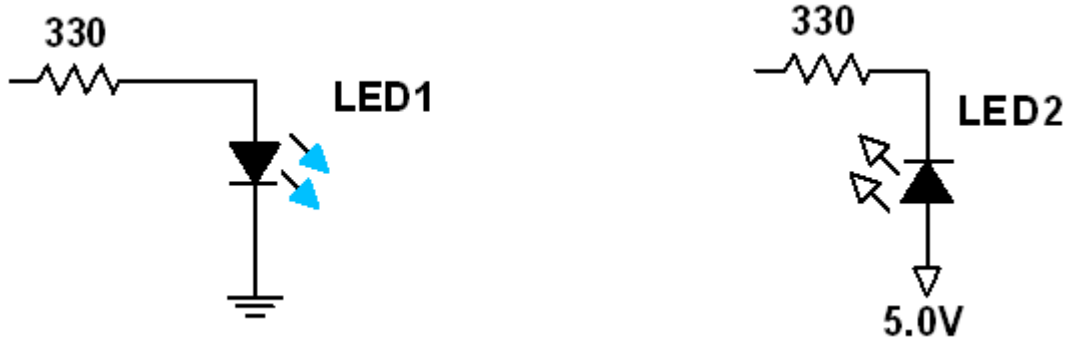
El voltaje de entrada es de 0.75V, el voltaje base-emisor por lo general es de 0.7v, por lo tanto

$$\begin{aligned}
 V_{BB} - (I_B * R_B) - V_{BE} &= 0 \\
 0.75 - (8,3\mu A * R_B) &= 0 \\
 0.05 &= 8,3\mu A * R_B && \text{(ecuación 2.15)} \\
 \frac{0.05}{2,7\mu A} &= R_B \\
 18K\Omega &\approx R_B
 \end{aligned}$$

Lo cual genera una amplificación de 0.75 v a 3.78 v; de la terminal de colector-emisor se saca una derivación con el fin de enviar esta señal de 3.78V al PLC y al arduino, ya que el arduino a partir de 2.5V toma la señal como un estado lógico alto; se hace conveniente trabajar de esta manera. Sin embargo, como el PLC recibe pulsos mayores a 110V es necesario hacer uso de un dispositivo electromecánico para realizar la conmutación.

**La tercera etapa** utiliza las dos configuraciones de transistores NPN y PNP conectados con los leds y sus resistores (330 Ohm) correspondientes para proteger los leds de la corriente, como se indica en la figura 2-23.

**Figura 2-23** Configuración de la tercera etapa para los leds



Fuente: Propia MultiSim

El transistor NPN, recibe la tensión positiva en el terminal del colector, este voltaje positivo permite que la corriente fluya de colector a emisor y el transistor PNP recibe la tensión positiva en el terminal del emisor. El voltaje positivo permite que la corriente fluya del emisor al colector (learningaboutelectronics, 2020).

Cuando hay presencia de un objeto el circuito con el transistor PNP se activa alumbrando el led 1 y cuando no hay presencia de objeto la configuración del transistor NPN mantiene alumbrando el led 2. La salida de la etapa 2 y la entrada de la etapa 3 poseen un voltaje de 3.78V.

La primera configuración manejada en la tercera etapa es colector común y el transistor empleado es de tipo PNP. Se tiene un voltaje de entrada de 5V, aquí el funcionamiento del transistor depende de la cantidad de corriente que pase por su base y así poder entrar de región de corte a saturación. Se asume un resistor de base para obtener una corriente indicada de base por medio de la Ley de Ohm y con el beta ( $\beta$ ) seleccionado hallar la corriente de colector; el resistor en el emisor disminuye la corriente ingresada proporcional a lo que se necesita por ende se maneja un resistor pequeño ( $330\Omega$ ) como se muestra en la figura 2-23.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_b = \frac{3.78}{1.2k}$$

$$I_b = 3.15mA$$

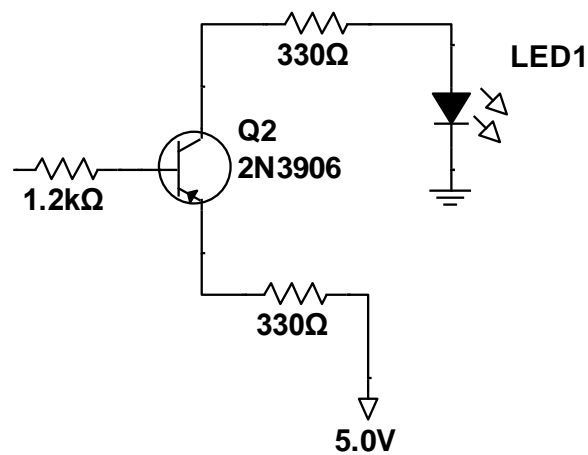
$$\beta = 30$$

$$I_c = \beta * b$$

$$I_c = 30 * 0,00315$$

$$I_c = 0,0945 \approx 94,5mA$$

**Figura 2-24** Primera configuración de los transistores de la tercera etapa



Fuente: Propia MultiSim

Se aplica el mismo cálculo en la siguiente configuración, pero la diferencia radica en que se usara emisor común y transistor NPN, cambiando la ubicación del led.

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_b = \frac{3.78}{1.2k}$$

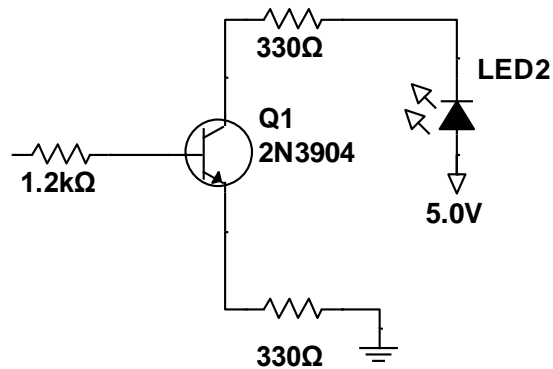
$$I_b = 3.15mA$$

$$\beta = 30$$

$$I_c = \beta * b$$

$$I_c = 30 * 0,00315$$

$$I_c = 0,0945 \approx 94,5mA$$

**Figura 2-25** Segunda configuración de los transistores de la tercera etapa

Fuente: Propia MultiSim

Para seleccionar la potencia adecuada en las resistencias que se van a usar en la tarjeta, será necesario usar la ley de watt. En este caso, para que todas las resistencias queden del mismo tamaño en la tarjeta, se trabajara con la potencia más alta disipada y la corriente máxima de colector y se multiplica por el voltaje máximo que puede manejar el circuito, que para este caso es de 5V.

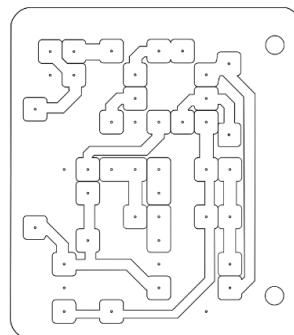
$$I = \frac{V}{R}$$

$$P = V * I$$

$$P = 5V * 94,5mA$$

$$P = 0,4725Watts$$

Del resultado anterior se puede establecer que para que el circuito pueda trabajar en condiciones normales y las resistencias no corran riesgos de quemarse, se puede trabajar mínimo a ½ watt de potencia; para fabricar la tarjeta, se hizo uso de una Routeadora CNC y su diseño se realizó mediante software Coral DrawX5 como se indica en la figura 2-26.

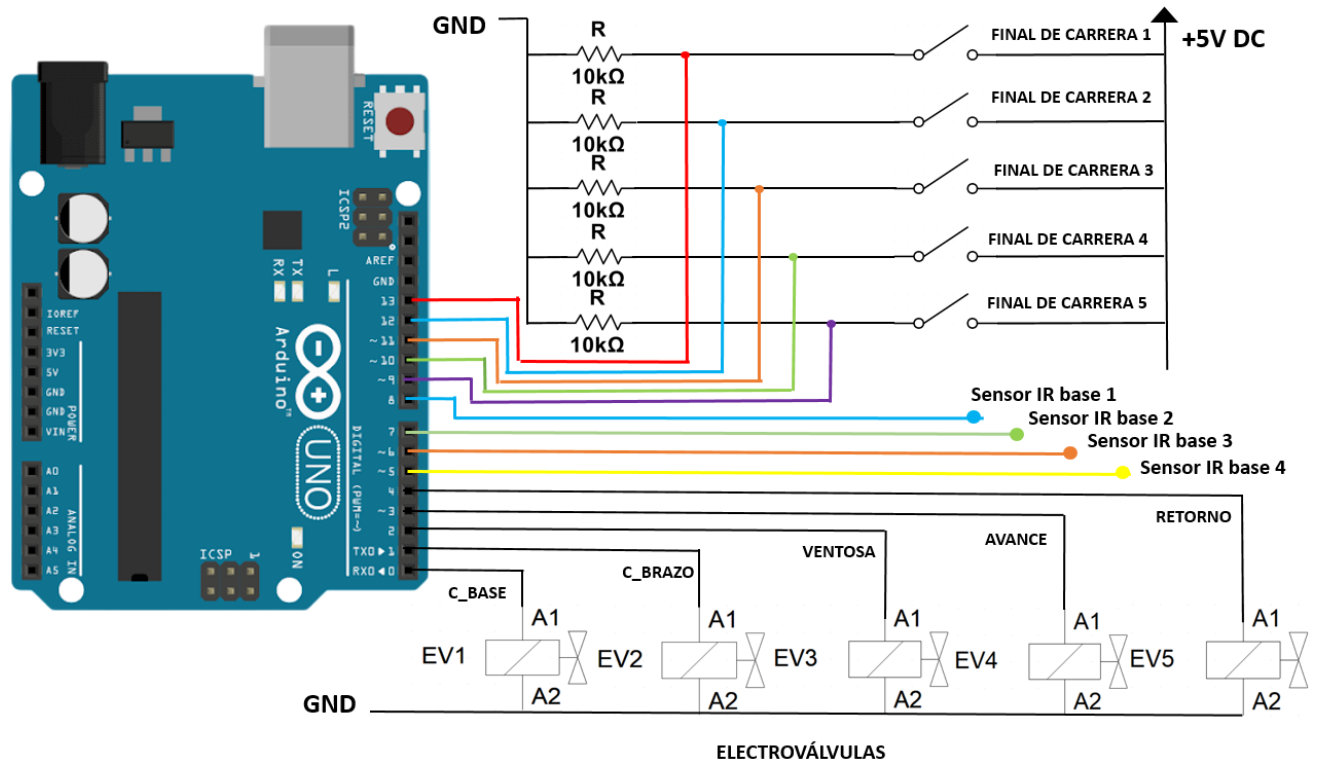
**Figura 2-26** Circuito de sensor Infrarrojo



Fuente: Propia, Diseño en Coral Draw x5 una vez simulado en proteus y probado en Protoboard

### 2.3.4 Conexiones Arduino

Figura 2-27 Conexiones arduino



Fuente: Elaboración propia

Las conexiones de arduino se elaboraron como se muestra en la figura 2-27, a partir del uso de los 13 pines digitales que este posee.

Los pines del 0 al 4 se declararon mediante el comando `pinMode` como salidas. De la misma forma se configuraron los pines del 5 al 13 como entradas, de los cuales cuatro corresponden a los sensores IR ubicados en cada una de las bases, estos son los encargados de retroalimentar el sistema e informar cual es la posición más adecuada para realizar el proceso de descarga de la pieza. Las otras 5 entradas corresponden a los finales de carrera, los cuales apoyan el control del actuador rotativo neumático, ya que permiten apagar la electroválvula en la posición más adecuada. Para realizar la conexión de los interruptores de posición, se hace necesario el uso de resistencias de pull down a cada uno de ellos, ya que garantizan una entrada lógica cero (LOW), mientras el interruptor este

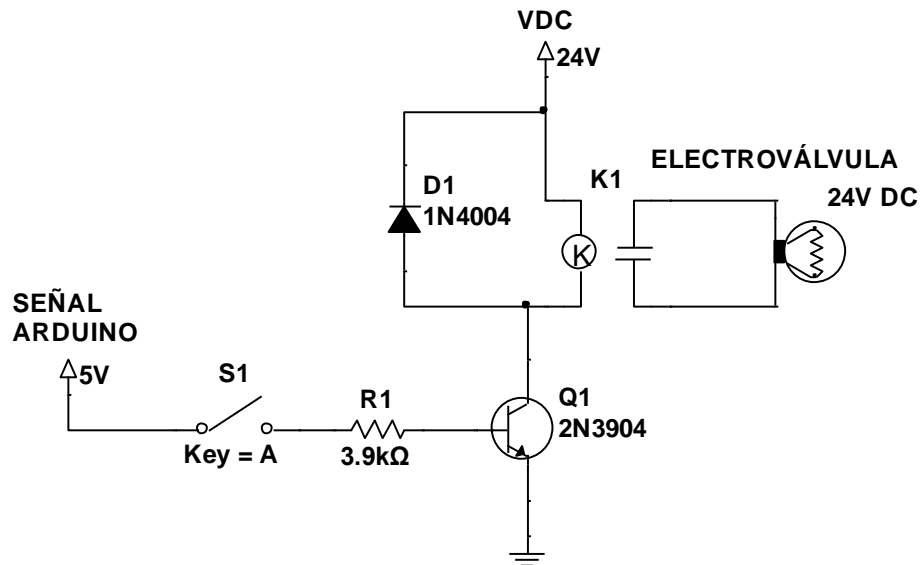
en reposo. Según los parámetros de diseño, se dice el valor de esta resistencia debe comprender entre  $1k\Omega$  y  $10k\Omega$ , es decir, ser lo suficiente alta para no influir en el circuito. Para el desarrollo de este proyecto se implementaron resistencias de pull down de  $10k\Omega$ .

Según la hoja de especificaciones de arduino, el voltaje que se proporciona en sus salidas mediante el comando `digitalWrite` es 5V, este voltaje es insuficiente para la activación de las electroválvulas, las cuales necesitan un voltaje nominal de 24V. Por lo anterior, se hace fundamental realizar una etapa de potencia que permita la activación de las anteriores.

### 2.3.5 Etapa de Potencia para Activar Electroválvulas de 24VDC desde Arduino.

El diseño propuesto en la figura 2-28, se elabora con el fin de activar las válvulas mediante el controlador arduino, ya que este trabaja con voltajes de 5VDC, se hace necesario la implementación de una etapa de potencia que permita la activación de las mismas.

**Figura 2-28** Circuito de potencia para activación arduino



Fuente: Elaboración propia MultiSim

Para lo anterior se emplea el contacto normalmente abierto del relé, el cual va conectado directamente a la electroválvula de 24V. Por cuestiones de simulación se emplea un bombillo para representar la carga.

El diseño empieza con la búsqueda del relé de 24V que se va a emplear. Una vez seleccionado, se establece la referencia y este valor es buscado en el datasheet, para determinar el valor de la corriente nominal que consume el dispositivo. El Relé implementado es el SRD-24VDC-SL-C.

**Tabla 2-5** Coil Data Sheet (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance ( $\Omega$ ) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
	48	48	7.5	6400				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500				

Fuente: Tomada de (Alldatasheet, 2020)

De acuerdo a la tabla 2-5, existen dos modos de trabajos, el de alta sensibilidad y el estándar. Para el desarrollo del prototipo se trabajará con el modo estándar.

Lo primero es ubicar en la tabla el voltaje de trabajo, en este caso 24 V, ya que es la tensión con la que trabaja la bobina del Relay. Luego, se toma la corriente de consumo del dispositivo elegido, la cual, según la configuración de emisor común acoplada con transistor, va hacer la misma corriente de colector.

Teniendo de base lo anterior y sabiendo que la corriente que va a pasar por el colector es  $I_c = 18,7$  mA, se busca un transistor que soporte dicha corriente. Dentro de los transistores que soportan la corriente anterior, se encuentra el 2N3904; el cual es un transistor de tipo NPN, que soporta como corriente máxima en su colector 200mA como se indica en la tabla 2-6.

Tabla 2-6 Corriente Colector

**Absolute Maximum Ratings:**

Collector–Emitter Voltage, $V_{CEO}$ .....	40V
Collector–Base Voltage, $V_{CB}$ .....	60V
Emitter–Base Voltage, $V_{EBO}$ .....	6V
Continuous Collector Current, $I_C$ .....	200mA
Total Device Dissipation ( $T_A = +25^\circ\text{C}$ ), $P_D$ .....	625mW
Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....	2.8mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation ( $T_C = +25^\circ\text{C}$ ), $P_D$ .....	1.5W
Derate Above $25^\circ\text{C}$ .....	12mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range, $T_J$ .....	$-55^\circ$ to $+150^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, $T_{stg}$ .....	$-55^\circ$ to $+150^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Case, $R_{thJC}$ .....	83.3 $^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient, $R_{thJA}$ .....	200 $^\circ\text{C}/\text{W}$

Fuente: Tomado (Alldatasheet, 2020)

De acuerdo a esto se tiene:

$$I_c = B * I_b \text{ (ecuación 2.16)}$$

Despejamos:

$$I_b = \frac{I_c}{B} \text{ (ecuación 2.17)}$$

Conocida la corriente de colector y partiendo del hecho de que en condiciones pesimistas la ganancia del transistor es la mínima expresada por el fabricante. Se procede a despejar  $I_b$ .

Tabla 2-7 Valor del Beta mínimo

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>OFF Characteristics</b>						
Collector–Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 1\text{mA}$ , $I_B = 0$ , Note 1	40	–	–	V
Collector–Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 10\mu\text{A}$ , $I_E = 0$	60	–	–	V
Emitter–Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = 10\mu\text{A}$ , $I_C = 0$	6	–	–	V
Collector Cutoff Current	$I_{CEX}$	$V_{CE} = 30\text{V}$ , $V_{EB} = 3\text{V}$	–	–	50	nA
Base Cutoff Current	$I_{BL}$	$V_{CE} = 30\text{V}$ , $V_{EB} = 3\text{V}$	–	–	50	nA
<b>ON Characteristics (Note 1)</b>						
DC Current Gain	$h_{FE}$	$V_{CE} = 1\text{V}$ , $I_C = 0.1\text{mA}$	40	–	–	
		$V_{CE} = 1\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	70	–	–	
		$V_{CE} = 1\text{V}$ , $I_C = 10\text{mA}$	100	–	300	
		$V_{CE} = 1\text{V}$ , $I_C = 50\text{mA}$	60	–	–	
		$V_{CE} = 1\text{V}$ , $I_C = 100\text{mA}$	30	–	–	

Fuente: Tomada de (Alldatasheet, 2020)

Como se puede apreciar en la tabla 2-7, el Beta mínimo con el que cuenta esta referencia de transistor es 30, por tal razón, el cálculo se hará en función de este valor; por lo cual, al reemplazar en (2) se tiene:

$$I_b = \frac{18,17mA}{30} = 623,33\mu A$$

Determinada la corriente de base, se puede identificar en la hoja de especificaciones, que esta corriente no es suficiente para poner el transistor en saturación, y que, de acuerdo a ello, la corriente mínima de base para hacerlo entrar en dicha región es 1mA.

**Tabla 2-8** Características eléctricas

**Electrical Characteristics (Cont'd):** ( $T_A = +25^\circ C$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>ON Characteristics (Cont'd) (Note 1)</b>						
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 10mA, I_B = 1mA$	-	-	0.2	V
		$I_C = 50mA, I_B = 5mA$	-	-	0.3	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 10mA, I_B = 1mA$	0.65	-	0.85	V
		$I_C = 50mA, I_B = 5mA$	-	-	0.95	V

Fuente: Tomada de (Alldatasheet, 2020)

De acuerdo a la tabla 2-8, como parámetro de diseño, se aumentará la corriente al doble con el fin de cumplir con lo establecido, es decir:

$$I_b(sat) = I_b * 2 \text{ (ecuación 2.18)}$$

De donde al reemplazar el valor de  $I_b$  en (3), se tiene:

$$I_b(sat) = (623,33\mu A) * 2$$

$$I_b(sat) = 1,24mA$$

Calculada la corriente de base, se realizará la respectiva malla para despejar el valor de la resistencia de base como lo indica la ecuación (4); entonces:

$$\begin{aligned}
 -V_{in} + V_{rb} + 0.7 &= 0 \\
 -5V + R_b(1.24mA) + 0.7 &= 0 \\
 R_b &= \frac{5V - 0.7}{1.24mA} \\
 R_b &= 3.4kohms
 \end{aligned}$$

Se debe tener en cuenta que el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), corresponde al voltaje que viene del arduino cuando se le provee un estado lógico alto, es decir, 5V.

Como la resistencia de base ( $R_b$ ) no es de un valor comercial, se aproximará con el fin de trabajarla con uno que, si lo sea, Dicho valor debe estar por encima del calculado, en este caso 3.9K

Sin embargo, hay que tener en cuenta que como se está trabajando con un dispositivo que almacena corriente (inductor) , cuando este se apague a través del transistor, y la bobina del Relay se descargue, la corriente buscara salir por algún lado; para ello se debe proteger el transistor del campo magnético presente en la bobina que induce ella misma por un breve momento, ya que se va a producir una tensión muy elevada de polaridad opuesta en sus terminales (inventable, 2020).

Este pico de tensión es conocido como "extra tensión de apertura"; para solucionar este problema, se hace necesario conectar en paralelo con la bobina un diodo rectificador inversamente polarizado en modo tal que este absorba estos picos de tensión de polaridad opuesta; en este caso se usará el diodo 1N4004 el cual tolera 1A y 400V, lo cual permite estar seguros en la protección del transistor. Para determinar la potencia de la resistencia de base, debemos tener en cuenta lo siguiente:

$$I_c(máx) = B * I_b \quad (\text{ecuación 2.19})$$

Al reemplazar en (5) se tiene:

$$\begin{aligned}
 I_c(máx) &= \frac{I_c(máx)}{B} = \frac{200mA}{30} \\
 I_b(máx) &= 6.66mA
 \end{aligned}$$

La máxima corriente de base que puede ser manejada por el transistor depende de la máxima corriente de colector que este soporte.

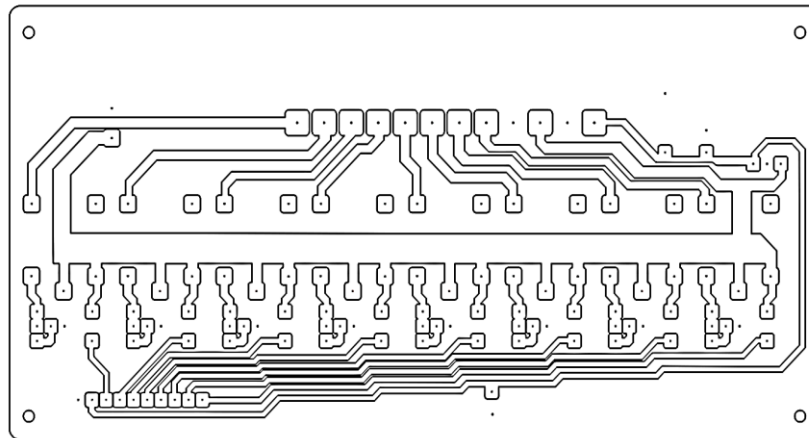
$$P = V * I$$

$$P = 5V * 6.66mA = 33.33mW$$

Es decir, para la resistencia de base  $\frac{1}{4}$  de Watt es suficiente, ya que la potencia disipada no es mucha. Con los datos anteriores, se realizó el siguiente circuito en Corel Draw x5 para su posterior fabricación en la routeadora CNC.

Resulta importante aclarar, que este circuito se repitió para las 5 electro-válvulas a 24V.

**Figura 2-29** Diseño de PCB para activación de electroválvulas desde arduino

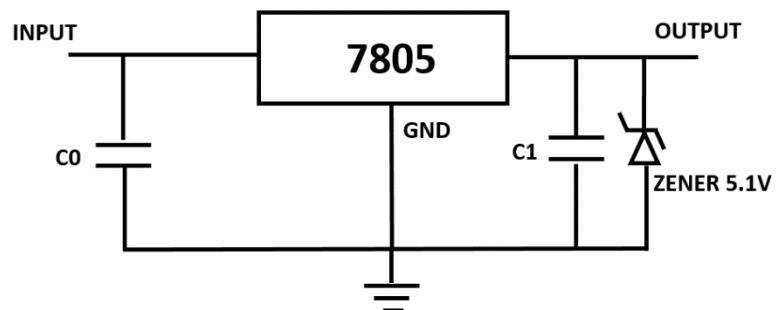


Fuente: Propia, Corel Drawx5

### 2.3.6 Regulador de Tensión

El circuito de la figura 2-30, se realiza con el fin de aprovechar los 24V DC que proporciona la fuente auxiliar fija para alimentar los sensores infrarrojos y el Arduino en caso de no esta energizado con el computador.

**Figura 2-30** Regulador de Tensión



Fuente: Propia MultiSim

Para regular la tensión, se tuvo en cuenta la ecuación (2.21).

$$C_0 = \frac{1}{2 * \pi * f * V} \text{ (ecuación 2.20)}$$

De donde:

C= Valor del capacitor

I= Corriente máxima que proporciona la fuente

f= Frecuencia

V= Voltaje de entrada

$$C_0 = \frac{1}{2 * \pi * 60\text{HZ} * 24\text{V}} = 552,62\mu\text{f}$$

De acuerdo al resultado, comercialmente se puede emplear un capacitor a partir de 560uF, y como el voltaje de entrada es 24V, se establece que mínimamente se necesita un capacitor de 560uF/25V; si es más grande no representa un problema. Respecto a los parámetros de diseño se indica que el capacitor de la entrada normalmente es 10 veces más grande que el de la salida. Por esta razón, para hallar C1, se a realizar lo siguiente, con el valor comercialmente encontrado.

$$C_1 = \frac{560\mu\text{f}}{10} = 56\mu\text{f}$$

Ahora, si se busca un valor comercial acorde a los siguientes cálculos, se puede apreciar que resulta útil un capacitor a partir de 56uF, y como el voltaje de salida se supone que es 5V, se puede decir que mínimamente se necesita un capacitor de 560uF/10V. Si es mayor no representa problema.

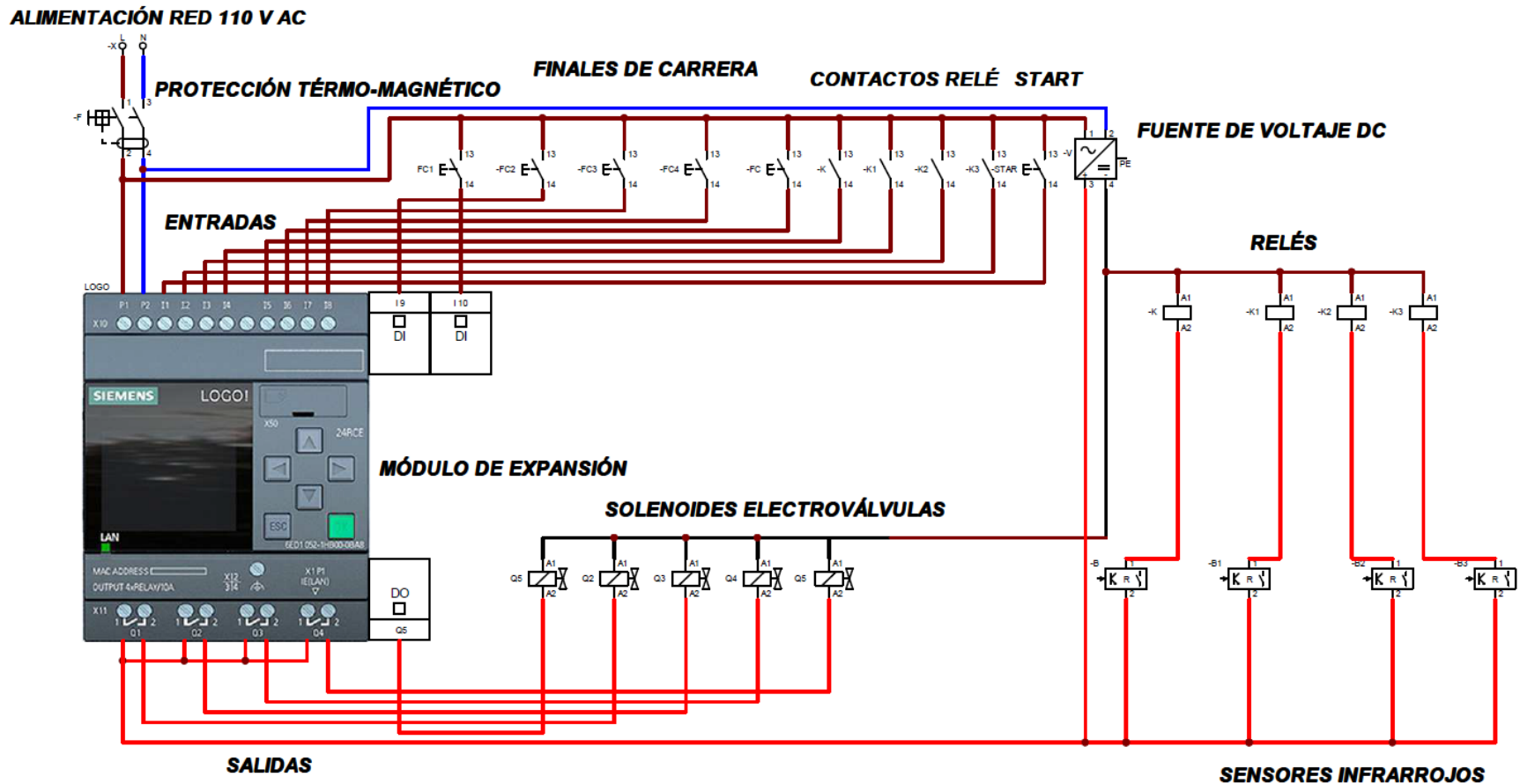
La función de C0 y C1 es casi similar, tiene como objetivo estabilizar el voltaje que viene de la fuente en caso de que presente ruido, así mismo en la salida, después de regular el voltaje es necesario por efectos de estabilidad filtrar el voltaje de salida.

El diodo zener 5.1V se presenta como un elemento de protección para mantener un voltaje constante o referenciado en la salida, El diodo anterior se escogió ya que la salida que esperamos es de 5V.



### 2.3.7 Conexiones PLC

Figura 2-31 Conexiones a PLC LOGO



Fuente: Propia, CaDe\_SIMU

El PLC logo 230 RC, posee 8 entradas con señal de 110V y 4 salidas a Relé, por esta razón se hace necesario implementar un módulo DM8 230R para aumentar la cantidad de salidas. Para este proyecto se utilizan 5 salidas digitales para cada electroválvula, 10 entradas digitales que corresponde a 4 sensores infrarrojos, 5 finales de carrera, y un pulsador de inicio.

El PLC se alimenta a 110V AC o DC, lo cual hace necesario conectarlo a una red eléctrica. Debido a las fallas que se presenta muchas veces en la alimentación eléctrica domiciliaria, por protección del controlador, se hizo uso de una protección termo magnética. Cabe resaltar que el PLC ya posee una protección interna ante malas polarizaciones.

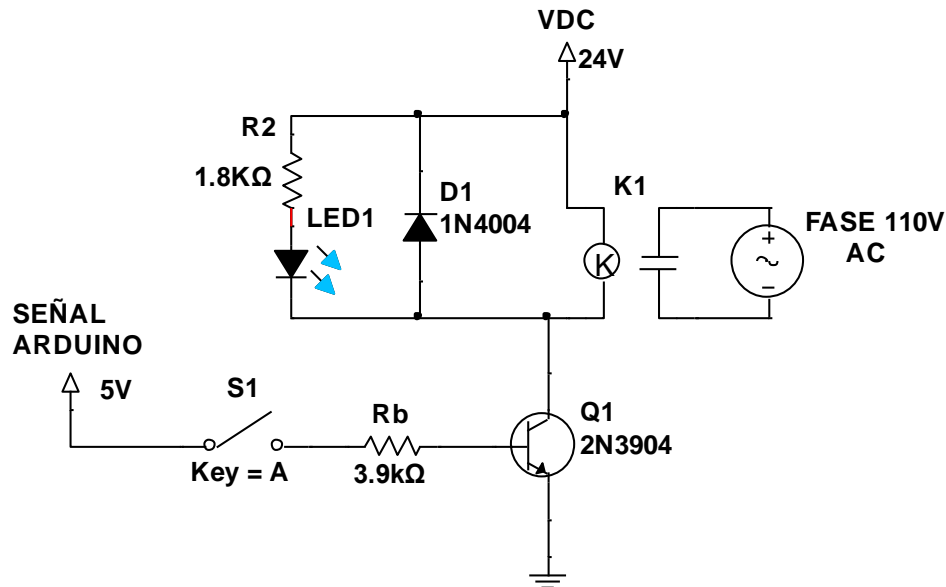
Es necesario hacer uso de una fuente de 24V, ya que las electroválvulas trabajan a este voltaje. Como se está trabajando con voltajes relativamente altos, es necesario aterrizar el circuito, para lo anterior se requiere una bornera adicional que permita unir todas las tierras de las electroválvulas, y demás elementos metálicos para posteriormente enviarlas directamente a la tierra de la residencia. Debido a que el PLC recibe únicamente señales de entrada de 110V, y se está usando sensores IR, los cuales trabajan a 5VDC, fue necesario realizar una etapa de potencia para elevar esta señal y proteger los sensores.

Para conectar el pulsador de arranque y los finales de carrera, se conecta el común de cada uno de ellos a los 110V de red eléctrica y el contacto N.O directamente al PLC, de tal forma que cuando se accionen mecánicamente se cierre el circuito y de paso a los 110V que se requieren.

### **2.3.8 Etapa de Potencia para Activación del PLC por medio de un Sensor I.R de 5VDC.**

El siguiente diseño se realiza con el fin de amplificar la señal que emite el sensor IR y enviarla al PLC:

Figura 2-32 Circuito de potencia para activar entrada del PLC mediante sensor I.R.



Fuente: Propia

Nota. Se emplea el contacto normalmente abierto del relé, el cual va conectado directamente a la línea de 110V AC.

Al igual que en la tarjeta anterior, el relé usado, cuenta con las mismas especificaciones. De acuerdo a esto, se empleará la misma referencia de transistor de la tarjeta anterior. Para esto se determina con la ecuación (2.9):

$$I_c = 18,7\text{mA}$$

$$I_c = B \cdot I_b$$

$$\text{De dónde } I_b = \frac{I_c}{B} \quad (\text{ecuación 2.21})$$

$$I_b(\text{sat}) = (623,33\mu\text{A}) \cdot 2 = 1,24\text{mA}$$

Para este caso, como el voltaje de la señal que recibirá la tarjeta es 3.7V y la tensión suele variar, se ejecuta el cálculo suponiendo una tensión mínima de 3V de tal forma que, si llega a recibir un voltaje por debajo del esperado, no se afecte:

Se realiza la malla:

$$-V_{in} + V_{rb} + 0,7 = 0$$

$$-3V + R_b(1,24mA) + 0,7 = 0 \text{ (ecuación 2.23)}$$

$$R_b = \frac{3V - 0,7}{1,24mA} = 1,8k\Omega$$

Ya que comercialmente si se cuenta con resistencias de 1.8 K; y en este caso no es tan crítico el paso de la corriente, se usará la hallada para el montaje.









$$P = V * I$$

$$P = 5V * 6,66mA = 33,33mW \text{ (ecuación 2.24)}$$

Debido a que se usa el mismo transistor (2N3904), el cálculo de potencia es prácticamente el mismo, por tanto, la resistencia de ¼ de watt lo soporta. Al igual que el circuito de “Activación de las electroválvulas de 24V por medio de arduino”, es necesario colocar un diodo (para lo cual se usará la misma referencia) por protección del transistor. Adicional a esto, el presente circuito cuenta con un led indicador en el tablero de operación, el cual permite visualizar si la base se encuentra llena; este led se encuentra ubicado en anti paralelo con el diodo rectificador.

Para determinar el valor de la resistencia que acompaña dicho led, es necesario hacer el siguiente cálculo, teniendo en cuenta el color del mismo como lo indica la figura 2-33, De esta manera se podrá determinar su consumo y el voltaje adecuado para él.

**Figura 2-33** Tipo de led con voltaje de alimentación de 5V

Alimentación: 5V			
tipo de led	Vled	corriente	resistencia
 azul / blanco alta luminosidad	3,7V	20 mA	(calculado: 65 ohm)  <b>68 ohm</b>
 rojo alta luminosidad	1,2V	20 mA	(calculado: 190 ohm)  <b>180 ohm</b>
 rojo tipo indicatore	1,2V	5 mA	(calculado: 760 ohm)  <b>680 ohm</b>
 verde / amarillo tipo indicatore	1,6V	5 mA	(calculado: 680 ohm)  <b>680 ohm</b>

Fuente: Tomado de (Alldatasheet, 2020)

Como se usará un led azul, se realizará el cálculo con los respectivos valores.

$$R_{led} = \frac{V_{fuente} - V_{Led}}{I_{led}} \quad (\text{ecuación 2.25})$$

$$R_{led} = \frac{(24 - 3.7)V}{20mA} = 1015$$

Comercialmente la aproximaremos a una resistencia de 1.2K

$$P = V * I$$

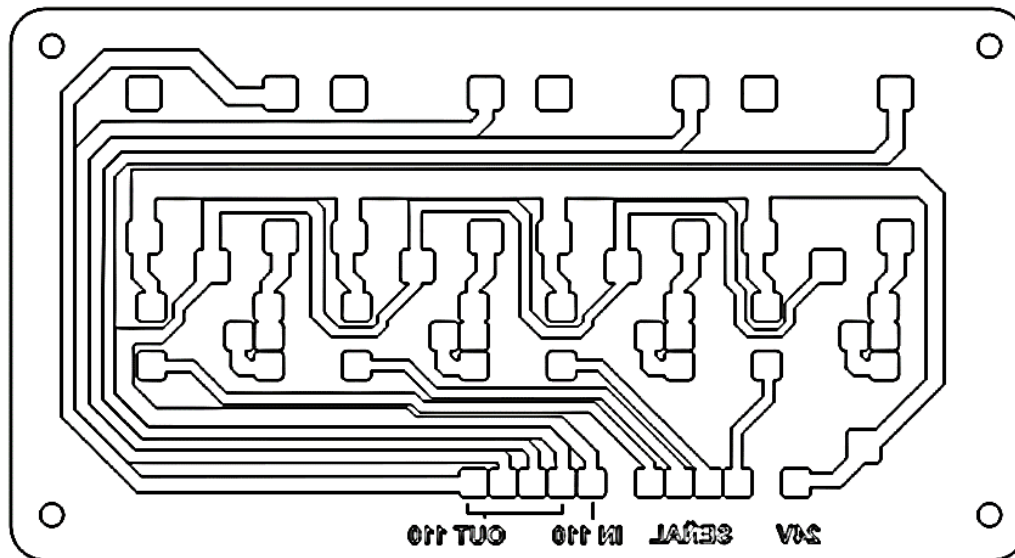
$$P = 24V * 20mA \quad (\text{ecuación 2.26})$$

$$P = 0.48Watts$$

Para determinar la potencia de la resistencia del led, se realizó el cálculo anterior, teniendo en cuenta el voltaje directo de la fuente por el consumo máximo del led.

Para esto se usará resistencias desde ½ Watt de potencia.

**Figura 2-34** Diseño tarjeta



Fuente: Propia, Corel Drawx5

## 2.4 Lógica Programada

El diagrama de flujo que explica la secuencia de las programaciones se encuentra en [\(anexos 6.2\)](#).

### 2.4.1 Diseño Programación en PLC

Para realizar la programación en lenguaje Ladder se hace necesario analizar las condiciones de operación del mecanismo, para lo cual se empleará la técnica de minimización de funciones (Min-términos). La lógica que trabaja el siguiente código se realiza con el fin de que el mecanismo sea lo suficiente autónomo y sepa que base es más adecuada para depositar la ficha. Esto se logra gracias a un sistema de sensores ubicado en cada base, estos determinan cuál es la base más cercana vacía para que el brazo se dirija a ella y deposite la ficha, para lo anterior se toma como base fundamentos aprendidos en sistemas Digitales 1.

$n = 4$ ; La cual corresponden a los 4 sensores ubicados en cada base

$m = 2^n$ ; Donde  $m$  corresponde al número de combinaciones que existen para 4 inputs

$m = 2^4$ ; (ecuación 2.27)

$m = 16$ ; Combinaciones de entrada.

De acuerdo a lo anterior, se debe tener en cuenta que cuando el sensor detecte alguna pieza, se enviará una entrada en alto al controlador, de lo contrario permanecerá como un estado lógico bajo, es decir:

1 → Hay pieza.

0 → No hay pieza.

Ahora, se identificará todas las posibles combinaciones de entrada, y hacia qué base debería dirigirse el brazo en cada situación, es decir, se evaluarán todas las salidas que tengan un 1, como se indica en la tabla 2-9.

**Tabla 2-9** Tabla de verdad

INPUTS				OUTPUTS			
S1	S2	S3	S4	S1=0	S2=0	S3=0	S4=0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0	0

Fuente: Propia

La siguiente información se evaluará por MIN-TÉRMINOS para hallar de una forma más clara las condiciones que debe tener en cuenta el mecanismo.

Para lo anterior resultaron las siguientes ecuaciones, una por cada combinación de input para los que el output es verdad, es decir, las combinaciones válidas cuando el output es

$$S1 = (S1'S2'S3'S4') + (S1'S2'S3'S4) + (S1'S2'S3 S4') + (S1'S2'S3 S4) + (S1'S2 S3'S4') + (S1'S2 S3'S4) + (S1'S2 S3 S4') + (S1'S2 S3 S4)$$

Las 8 primeras combinaciones harán que el mecanismo se dirija a la base 1 a depositar la pieza.

$$S2 = (S1 S2'S3'S4') + (S1 S2'S3'S4) + (S1 S2'S3 S4') + (S1 S2'S3 S4)$$

Las 4 combinaciones siguientes a las anteriores harán que el mecanismo se dirija a la base 2 a depositar la pieza.

$$\mathbf{S3= (S1 S2 S3'S4') + (S1 S2 S3'S4)}$$

Las 2 combinaciones siguientes a las anteriores harán que el mecanismo se dirija a la base 3 a depositar la pieza.

$$\mathbf{S4= (S1 S2 S3 S4')}$$

Solo en la penúltima combinación el mecanismo se dirige a la base 4.

Ante la última condición el mecanismo permanece en su lugar, pues representa que no hay una base vacía. Una vez encontrada la ecuación canónica para cada entrada, será necesario simplificar la expresión a través del algebra de Boole, para esto, nos ayudaremos del software Multisim de National Instruments.

Las ecuaciones anteriores simplificadas por algebra de Boole resultan:

$$\mathbf{S1= S1'}$$

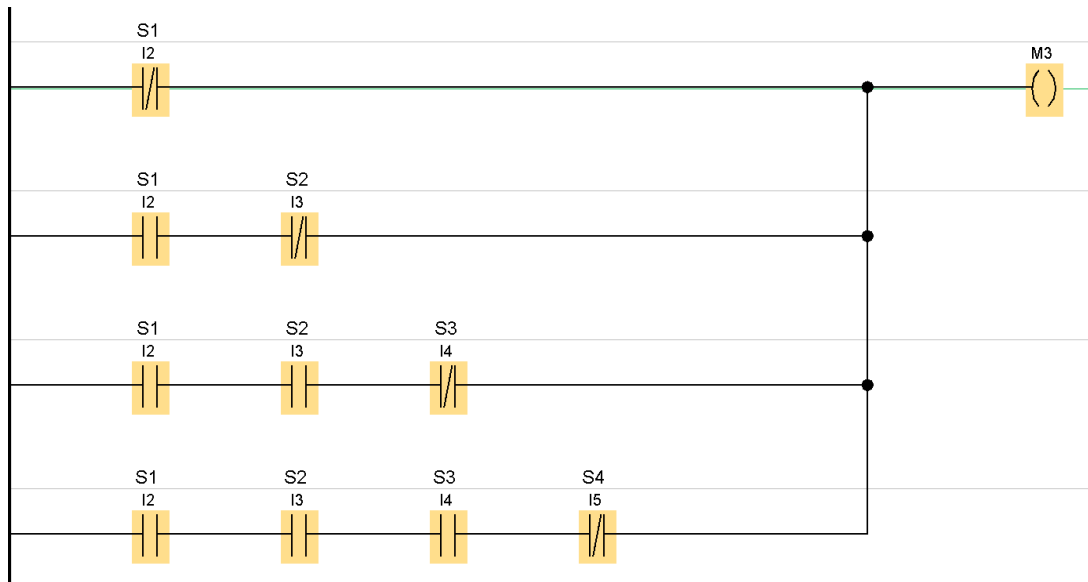
$$\mathbf{S2= S1 S2'}$$

$$\mathbf{S3= S1 S2 S3'}$$

$$\mathbf{S4= S1 S2 S3 S4}$$

Donde una variable negada (') equivale a un contacto normalmente cerrado y una variable sin negar equivale a un contacto normalmente abierto. En lógica Ladder las Ecuaciones anteriores son equivalentes a las siguientes condiciones:



**Tabla 2-10** Diagrama de condiciones en lógica Ladder

Fuente: Propia, logo soft confort v8.0

Las anteriores 4 líneas en paralelo hacen referencia a las 4 bases en las que el banco puede realizar el proceso de descarga. Para detener el mecanismo en la base correspondiente se agrega un bloque normalmente cerrado en serie a cada línea, el anterior hace alusión a los finales de carrera empleados para cada base.

El análisis empleado es fundamental para darle autonomía al mecanismo. Sin embargo, esta condición no es suficiente para la programación del banco, hay que tener en cuenta la secuencia que corresponde al proceso de manipulación y descarga.

### 2.4.2 Programación en Ladder

La programación que se implementó en el controlador lógico programable en lenguaje Ladder se muestra en [\(anexos 6.3\)](#)

**Tabla 2-11** Entradas y Salidas PLC

PLC				
CONEXIÓN INPUTS EN PLC	INPUTS	COMENTARIO EN EL PROGRAMA	NOMENCLATURA MARCAS	MARCAS
I1	PULSADOR START	ON	M1	ACTIVACION BASE
I2	SENSOR IR BASE 1	S1	M2	ACTIVACION VENTOSA
I3	SENSOR IR BASE 2	S2	M3	DETECCION ESTADO DE LAS BASES
I4	SENSOR IR BASE 3	S3		
I5	SENSOR IR BASE 4	S4		
I6	FINAL DE CARRERA BASE 1	FC1		
I7	FINAL DE CARRERA BASE 2	FC2		
I8	FINAL DE CARRERA BASE 3	FC3		
I9	FINAL DE CARRERA BASE 4	FC4		
I10	FINAL DE CARRERA BASE PRINCIPAL	FC0		
CONEXIÓN OUTPUTS EN PLC	OUTPUTS	COMENTARIO EN EL PROGRAMA		
Q1	ELECTROVALVULA CILINDRO DE LA BASE	C-BASE		
Q2	ELECTROVALVULA CILINDRO DEL BRAZO	C-BRAZO		
Q3	ELECTROVALVULA DE LA VENTOSA	VENTOSA		
Q4	ELECTROVALVULA AVANCE ACTUADOR ROTATIVO	AVANCE		
Q7	ELECTROVALVULA RETROCESO ACTUADOR ROTATIVO	RETROCESO		

Fuente: Elaboración propia

Para entender la programación en este controlador es necesario tener en cuenta la tabla 2-11, la cual indica a que corresponde cada salida y entrada en el controlador PLC logo. Una vez entendido el proceso, se establecen las entradas y salidas que se van a usar en el PLC. El código se desarrolla teniendo en cuenta la siguiente secuencia, la cual se dividido en dos partes para una mejor comprensión.

Q1+/ Q2+ /Q3+ / (Q1- Q2-) || Q4+ /Q4- || Q2+ /Q3-/ Q2- /Q7+ /Q7-

1

2

3

**(Proceso de manipulación) || (Movimiento perimetral) || Proceso de descarga)**

La primera parte hace alusión a la activación del cilindro Q1+ de la base principal, la función de este es expulsar la ficha hacia adelante y mantenerla hasta que el mecanismo la recoja. Se adiciona una marca (M1) con el fin de mantener retenido el pulso que da el encendido para que inicie la secuencia y más adelante no tener problemas al desactivar Q1.

Luego de esto, Q1 habilita un temporizador de retardo a la conexión para que el cilindro ubicado en la viga empotrada (Q2+) se extienda; posteriormente, se activa una marca (M2) que da paso a la activación de la ventosa (Q3+), esta se realiza con el fin de guardar valores y no saturar el código con instrucciones que vendrán luego; debido al sistema de vacío que se logra con la bomba de vacío y la ventosa esta consigue la adherencia de la pieza, realizando así el proceso de manipulación. Una vez atrapada la ficha, Q3 con un contacto normalmente cerrado ubicado en serie con Q1 y Q2, corta la alimentación del cilindro de la base (Q1-) y del cilindro de la viga (Q2-), mientras ventosa (Q3) permanece activa.

Antes de iniciar la activación de las electroválvulas el mecanismo ya sabe hacia qué base debe dirigirse, teniendo en cuenta la cercanía y el estado (ocupada o vacía). El análisis de estas condiciones se encuentra a partir de la página 71 del presente documento. Conociendo las 4 condiciones (una por cada base) se ubica en serie con un contacto normalmente cerrado que corresponde al final de carrera de cada base de tal forma que el mecanismo cuando avance y active el final de carrera declarado en el programa se energice y abra el contacto N.C del programa; provocando así que el actuador rotativo se detenga y se posicione donde se ha establecido. Si existe alguna base disponible la

secuencia que cumple el banco iniciara, de lo contrario la marca (M3) que corresponde a las condiciones descritas anteriormente permanecerá desenergizada y no se activará la marca (M1) la cual da el inicio a la secuencia.

marca (M1) la cual da el inicio a la secuencia. Una vez la ficha ha sido recogida, y el mecanismo ya sabe en qué base depositarla, se activa la electroválvula Q4+, la cual es llamada “Avance”, la función de esta es introducir aire por una entrada del actuador rotativo, (cabe recordar que este actuador funciona como un cilindro doble efecto) y hacer que el mecanismo avance hacia la derecha realizando el movimiento perimetral de transporte. La electroválvula permanecerá en ese estado hasta que el árbol de levas ubicado paralelamente a los finales de carrera lo toque y por ende desactive el actuador rotativo (Q4-) en la base que seleccionada anteriormente.

La segunda parte corresponde a la secuencia de “descarga”. Es decir, una vez la grúa llegue al sitio identificado desde el principio, lo que hace es activar nuevamente el cilindro del brazo (Q2+) con una serie de instrucciones ubicada en paralelo a la primera instrucción que la activa (equivalente a la compuerta OR). Luego, un temporizador que se encendió después del proceso anterior, desactiva la ventosa (Q3-) provocando que la ficha caiga en la base. Después de esto, el contacto normalmente abierto ubicado en la línea del brazo, el cual corresponde a la ventosa se desactiva y el cilindro del brazo (Q2-) se recoge nuevamente para evitar tropiezos con las otras bases en el regreso.

Posteriormente, un bloque de instrucción activa la electroválvula de “Retrosceso” (Q7+); la función de esta electroválvula es ingresar aire por el otro conducto del actuador rotativo provocando que cambie su sentido de giro, esta se detendrá una vez toque el final de carrera 0, el cual hace alusión que ha llegado al tope. Una vez este se energice se abre el contacto normalmente cerrado y se corta la alimentación, esto indica que el mecanismo ya se encuentra nuevamente en la base principal.

Este proceso debe ser capaz de repetirse siempre y cuando alguna base está desocupada, una vez llena, el mecanismo queda preparado para cuando una de las bases se desocupe nuevamente.

Nota. Esta misma secuencia se explica en el diagrama de flujo encontrado en el anexo

### 2.4.3 Diseño Programación en Arduino

Al igual que en la programación diseñada para PLC en el programa Logo soft confort V8.0 es necesario:

1. Tener muy clara la secuencia que se va a diseñar
2. Establecer las conexiones físicas (entradas y salidas) en el controlador que se va a trabajar, en este caso arduino.
3. Pensar la secuencia en forma de estados para facilitar la programación, ya que a diferencia del Ladder en este tipo de lenguaje un carácter mal escrito puede afectar el programa.

Una vez fijado lo anterior, el programa en arduino se inicia declarando las variables junto a los pines que se van a trabajar en la tarjeta, esto se realiza con el comando "int", que significa entero, todos los procesos se llevaron a cabo mediante condicionales (IF).






### 2.4.4 Programación en Arduino

La programación que se implementó en el controlador arduino se muestra en [\(anexos 6.4\)](#)  
Para mayor entendimiento de la secuencia, revisar diagrama de flujo en [\(anexo 6.2\)](#)

## 3. Capítulo 3: Resultados

### 3.1 Fabricación digital

**Tabla 3-1** Etapas de fabricación digital

ETAPA	CNC	IMPRESIÓN 3D
DISEÑO	 <p>CorelDRAW X5</p>	 <p>SOLIDWORKS</p>
CONFIGURACIÓN	 <p>DXF2GCODE</p>	 <p>Repetier-Host V2.1.6</p>
COMUNICACIÓN Y CONTROL	 <p>Grbl Control</p>	

Fuente: Propia

Para dar cumplimiento al objetivo general del presente proyecto, se implementó la técnica de fabricación digital, haciendo uso de una routeadora CNC modelo JFT-CNC3018 para la elaboración de las tarjetas electrónicas y una impresora 3D marca Zonestar de referencia P802QR2 para la fabricación de algunas piezas que conforman el banco didáctico electro neumático.

Ya que el principio de funcionamiento de ambos equipos es similar, se realizó una analogía del software empleados para la fabricación de los distintos elementos. El proceso consta de 3 partes:

### 3.1.1 Diseño

- **Routeadora CNC:** Para el diseño y elaboración de las tarjetas electrónicas, se usó el software corelDrawX5; se debe contar con un diseño previo, simulado y probado en el circuito para estar seguros del funcionamiento y conocer la unión de las pistas. Una vez teniendo esto, se procede a dibujar el circuito en el programa y se aplica la función “Reflejar horizontalmente” de tal forma que el diseño en la computadora quede opuesto a lo que se había dibujado, esto se debe a que la parte en que la routeadora realizará la sustracción del cobre será la inferior de la baquetas, por ende, cuando se gire la tarjeta quedara al derecho. Una vez realizado todo el diseño tal como quedara, se procede a guardar el archivo en formato “DXF”. Las dimensiones que se trabajaron son:
  - Cuadros: 2,55 mm \* 2,55 mm
  - Pistas: 0.1mm

**(Los diseños de las tarjetas elaboradas se muestran en las páginas 54, 61 y 68)**

- **Perforación:** Esta parte se realiza luego de que la tarjeta ya ha sido maquinada, es decir, ya se ha efectuado el proceso de sustracción. Para esto, se utiliza el diseño anterior y se dibujan sobre ella los puntos donde van los hoyos, luego se borran todas las líneas que hacen alusión a las pistas, conservando únicamente la de los bordes que dan referencia al tamaño de la tarjeta. Este contorno sirve para determinar el punto de origen (cero). Posteriormente se guarda el nuevo archivo en el mismo formato DXF, y se repite la etapa 2 y 3.
- **Impresión 3D:** El diseño de las distintas piezas se realizó en el programa Solidworks. Para esto fue necesario medir y conocer de manera exacta las dimensiones que se iban a trabajar en los elementos. Ya que el tiempo que toma este proceso para reproducir los diseños 3D es un poco extenso; la mayoría de figuras se diseñaron de tal forma que el consumo de material no fuera mucho y por ende no tomara tanto tiempo. Una vez realizado el diseño se procede a guardar el trabajo en formato “STL”

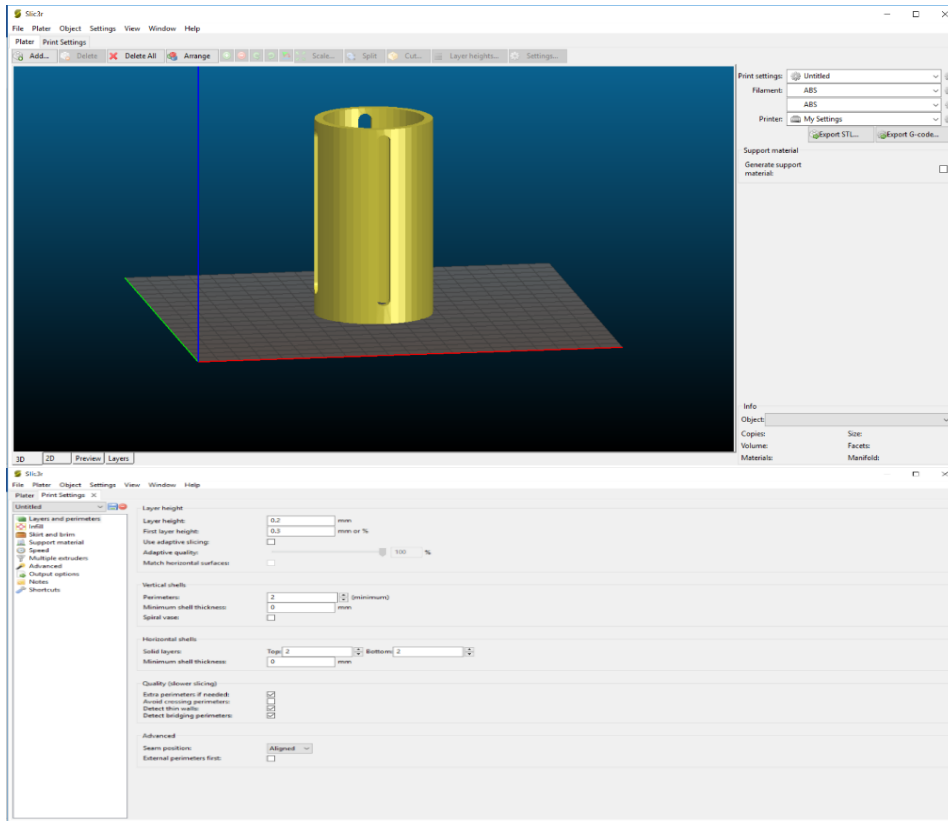
**(Los diseños de las piezas elaboradas se muestran en [\(anexos 6.5.9\)](#))**

### 3.1.2 Configuración

- **Routeadora CNC:** Esta etapa del proceso es muy importante, se realiza importando el formato DXF producida en la etapa de diseño en el programa DXF2GCODE, aquí se configura la velocidad con que la máquina va a realizar el proceso de sustracción del cobre, la profundidad con que lo va hacer y en qué orden; este último es muy importante ya que, si se modifica adecuadamente, puede reducir tiempos en la fabricación. El archivo generado en este proceso se guarda en formato (TAP).
  - **Perforación:** La profundidad de perforación de los hoyos es diferente a la que realiza el proceso de sustracción del cobre con la fresa en V
- **Impresión 3D:** El proceso de fabricación en esta máquina requiere más configuraciones ya que se depende de un material: para lograr este objetivo, se importa el archivo STL en el software “Repetier Host”, allí se centra la pieza en la cama y se gira de acuerdo a la mejor posición para imprimir, es importante tener en cuenta que si una pieza es hueca es necesario aplicarle un soporte ya que, sino el extrusor estaría imprimiendo en el aire, y por tanto la pieza no quedará bien. Aquí se configura la velocidad de impresión, el tipo de material, la temperatura de la cama, el tipo de adherencia y soporte, la forma de impresión, la cantidad de relleno, las capas, el perímetro, la temperatura del extrusor, entre otras. El programa mencionado anteriormente cuenta con varias sub-extensiones para el desarrollo del presente proyecto están configuraciones se realizaron en Slic3r.



Figura 3-1 Parametrización y Diseño pieza en 3D



Fuente: Propia, Slic3r

Para la impresión de los elementos encontrados en el presente proyecto se usaron dos tipos de materiales PLA y ABS, cada uno con su respectiva ventaja. Una variable muy importante para el proceso de fabricación es la temperatura, por esta razón es necesario tener en cuenta las propiedades de los materiales indicados en la tabla 3-2.

Figura 3-2 Propiedades de materiales PLA y ABS

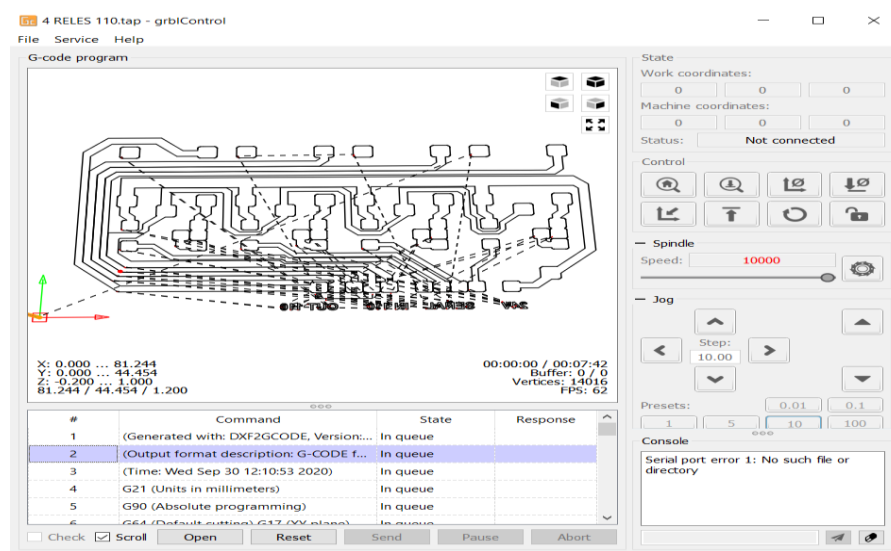
	ABS	PLA
<b>Temperatura Extrusor</b>	215-250 °	180- 230°
<b>Temperatura Plataforma</b>	90-110 °	Hasta 60°
<b>Ventaja</b>	Versátil, Se Lija Y Pule	Múltiples Aplicaciones
<b>Biodegradable</b>	No	Si
<b>Reciclable</b>	Si	Si

Fuente: propia

### 3.1.3 Comunicación y Control

- **Routadora CNC:** Una vez generado el archivo TAP se procede abrir en el software GRBL control, el cual es el predeterminado para esa referencia de CNC, allí se pueden configurar otros parámetros, pero en esta ocasión solo se usará para entablar la comunicación con el computador y controlar la máquina mediante código G generado anteriormente con el archivo TAP.

**Figura 3-3** Corte CNC ( se muestra en tiempo real del corte que se está realizando)



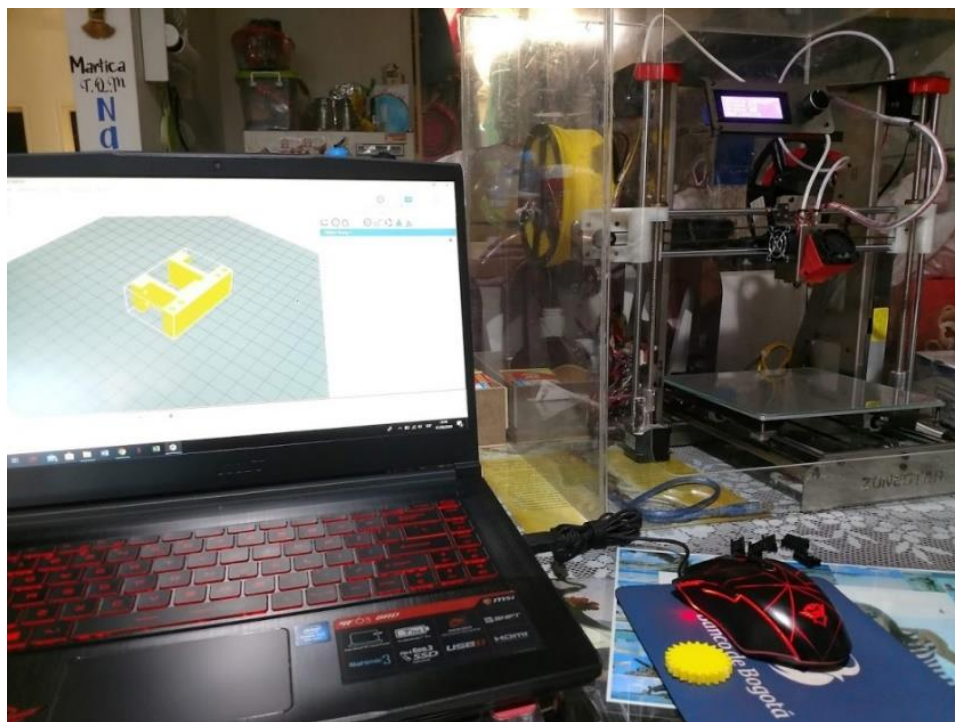
Fuente propia

- **Impresión 3D:** La comunicación de la máquina al computador se realiza con el mismo software de configuración repetier host, allí se puede imprimir la pieza ya configurada o simplemente guardar en una memoria SD e insertarla directamente en la impresora. La ventaja de la comunicación con el PC es que se puede controlar la máquina directamente desde allí y se observa en tiempo real el proceso, además como el cable proporciona energía, si hay una pérdida de esta, el proceso permanece guardado. Sin embargo, si se pierde la comunicación la impresión se ve afectada y difícilmente se puede recuperar. Mientras que con la memoria SD el único riesgo que se corre es que se vaya la energía. Para evitar lo anterior se ha grabado el archivo en la memoria SD en formato G (g.co), y se introdujo en la impresora. Adicional a esto, se conectó al PC de tal forma que el controlador de la

impresora se mantenga alimentado en caso de que se presente algún inconveniente.

Nota. La CNC y la impresora 3D utilizan el mismo cable de comunicación, el cual también es usado para arduino.

**Figura 3-4** Tablero control de impresora 3D

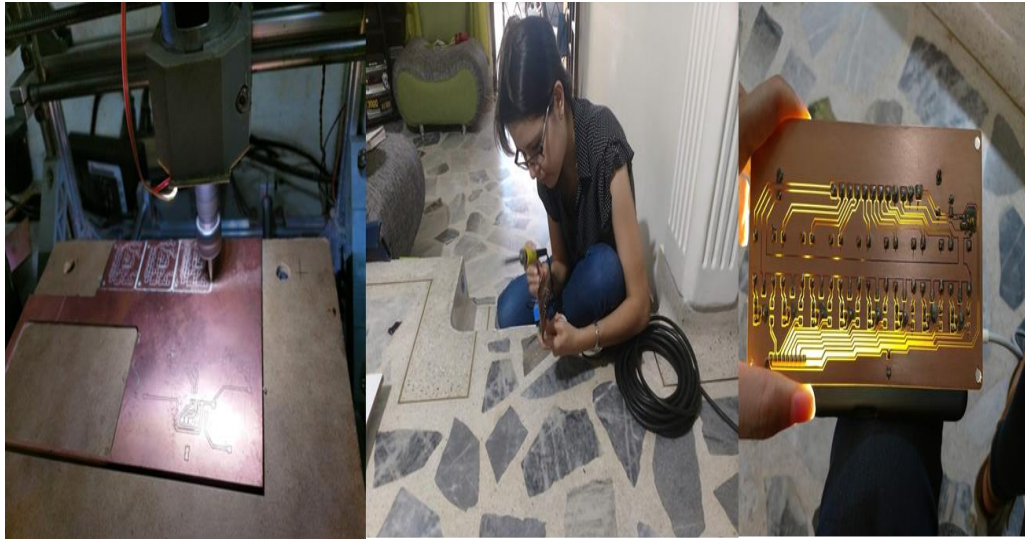


Fuente: propia

### 3.1.4 Hardware

**Routeadora CNC:** Para el proceso de fabricación de las baquetas se hizo uso de una fresa en V de  $10^\circ$  que remueve el material como lo indica la figura 3-6, para la perforación de la misma se usó una broca de 0.1mm de diámetro la cual va acoplada en una canastilla para diámetros de  $1/8"$ . El tiempo promedio de fabricación de cada una de las tarjetas implementadas fue de 40 minutos a 1 hora.

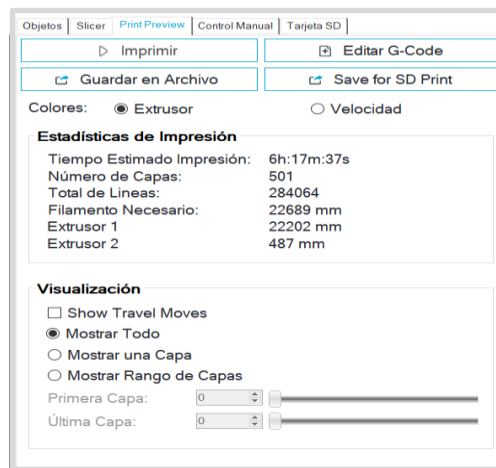
**Figura 3-5** Ruteada de tarjetas de circuitos



Fuente: propia

- Impresión 3D:** La extrusión del plástico se da a través de una boquilla de 0.4mm. Cada capa del material es de 0.2mm. Al igual que en la CNC y en toda máquina, es importante tener calibrada la cama donde se realiza la operación, de no ser así, el material no se adhiere correctamente y empieza a deformarse. Antes de imprimir es necesario cerciorarse que la correa dentada de sincronización se encuentre bien tensionada, de lo contrario se saltara los dientes y la pieza que se imprime puede dañarse en medio del proceso. El tiempo promedio de la fabricación 3D de cada uno de los elementos implementados fue aproximadamente 6 horas.

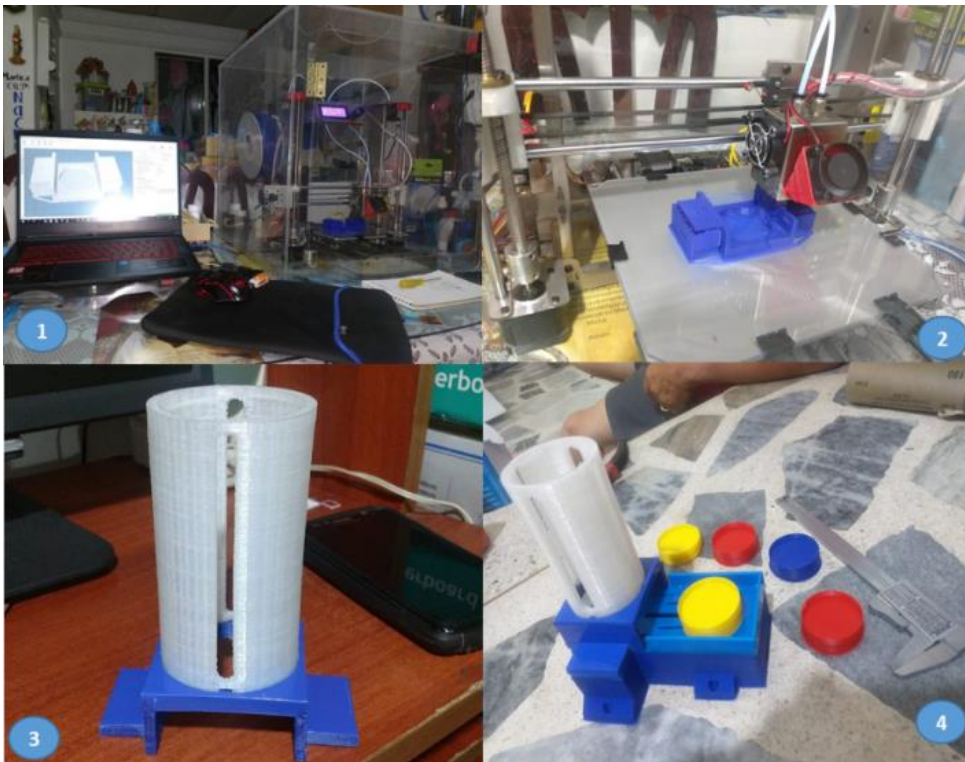
**Figura 3-6** Tiempo estimado de impresión elementos



Fuente: Propia, Slic3r

En la ventana de la figura 3-6, se muestra el tiempo estimado de impresión de una pieza, la cantidad de material necesario y el número de capas.

**Figura 3-7** Impresión accesorios



Fuente: propia

Después de impresas las piezas en 3D es necesario lijar para corregir asperezas y mejorar el acabado; En la figura 3-7, se muestra el proceso de impresión y acabado de los accesorios del banco.



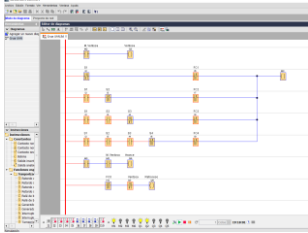
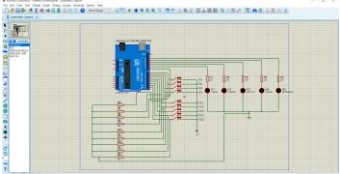



### 3.1.5 Secuencia de Implementación Sistema Eléctrico y Electrónico

Una vez diseñado, construido y adquirido los materiales y elementos del sistema electrónico, la secuencia llevada a cabo se indica en la tabla

**Tabla 3-2** Secuencia ensamble 1

ITEM	PROCESO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
1	MONTAJE DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS A LA PLATAFORMA		Actividad que se realiza para organizar y fijar los elementos en la plataforma
2	CONEXIÓN DEL CONTROL LÓGICO		Actividad que se realiza para la alimentación eléctrica del banco y la selección del controlador
3	FABRICACIÓN DE LAS TARJETAS QUE CONTIENE LOS SENSORES DE CADA BASE		Actividad que se realiza para que cada base detecte la presencia de piezas, y señalice en forma luminica el estado de la base.
4	FABRICACIÓN DE LA TARJETA DE POTENCIA PARA LOS SENSORES EN PLC		Actividad que se realiza para activar las entradas de 110V AC del PLC a través de un sensor IR de 5V
5	CONEXIONES DEL PLC		Actividad que se realiza para realizar el control del mecanismo desde el PLC

ITEM	PROCESO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
6	FABRICACIÓN DE LA TARJETA PARA ACTIVAR LAS ELECTROVÁLVULAS DE 24VDC DESDE ARDUINO		Actividad que se realiza para activar las electroválvulas de 24V desde arduino y alimentar la tarjeta de los sensores y el controlador cuando no este conectado al ordenador.
7	IMPLEMENTACIÓN DE LAS TARJETAS EN LA PLATAFORMA		Actividad que se realiza para implementar todas las tarjetas fabricadas en el banco
8	CONEXIONES DE ARDUINO		Actividad que se realiza para realizar el control del mecanismo desde Arduino
9	VERIFICACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL		Actividad que se realiza con el fin de evaluar que la alimentación, las etapas de potencia y los controladores funcionan correctamente
10	SEÑALIZACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL		Actividad que se realiza con el fin de que los usuarios sepan para que es cada elemento.

ITEM	PROCESO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
11	SIMULACIÓN DE LA LÓGICA DEL PLC		Actividad que se realiza para comprobar el diseño de la lógica programada en logo soft! Confort V8.0
12	SIMULACIÓN DE LA LÓGICA DE ARDUINO		Actividad que se realiza para comprobar el diseño de la lógica programada de arduino en Proteus
13	IMPLEMENTACIÓN DE LA LÓGICA DISEÑADA EN EL PLC		Actividad que se realiza para poner en funcionamiento el banco desde PLC
14	IMPLEMENTACIÓN DE LA LÓGICA EN ARDUINO		Actividad que se realiza para poner en funcionamiento el banco desde arduino
15	EVALUACIÓN DE FUNCIONALIDAD		Actividad que se realiza con el fin de evaluar que todo lo del banco funcione como se ha esperado. Para esto se hacen pruebas de funcionamiento.

Fuente: Propia



### 3.1.6 Secuencia de Implementación Sistemas Mecánicos


Este capítulo incluye tareas de conexión, acople, ajuste de materiales y accesorios al chasis del banco.

- **Elementos y Materiales**

La tabla 3-3 nos presenta la relación de materiales y elementos usados para el armado del banco

**Tabla 3-3** Materiales y elementos

ITEM	RELACIÓN MATERIALES	IMAGEN
1	TABLA	
2	LÁMINA DE ALUMINIO 60-70	
3	PERFIL DE ALUMINIO OB2040	
4	EJE ACERO	
5	ÁRBOL DE LEVAS RENAULT 9/ 1400	

ITEM	RELACIÓN MATERIALES	IMAGEN
6	ENGRANAJE TREN FIJO DE MAZDA 323 DE DIENTES HELICOIDALES	
7	PIÑÓN DE 4TA DE RENAULT 9	
8	SOPORTE SKF FY 25 TF	
9	TUBO DE NYLON 3"	
10	ÁCIDO POLILÁCTICO PLA	
11	ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO ABS	
14	CORREA DE DISTRIBUCIÓN 2GT	

Fuente: Propia

Tabla 3-4 Construcción sistemas mecánicos

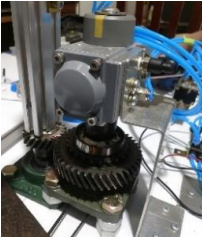

ITEM	PROCESO MANUFACTURA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
1	DIBUJAR LOS ELEMENTOS		Actividad que consiste en dibujar los elementos seleccionados en el diseño para realizar el plano del banco
2	ESMERILADO, LIMADO Y LIJADO		Actividad que consiste en remover material de la chumacera para poder relacionar la posición mecánica de la corona con el piñón
3	ACERRADO, TALADRADO Y MACHUELIADO		Actividad que consiste en cortar las levas del árbol, taladrarlas y macholiarlas para sincronizar el movimiento del banco.
4	MECANIZADO DE EJE DE 1" 5/16 Y DEL TREN FIJO - TALADRADO AXIAL		Actividad que consiste en mecanizar el eje en el torno para acoplarla con la chumacera, el engranaje y la polea. Se taladra axialmente para ensamblar el tornillo prisionero.
5	SOLDADURA CON ELECTRODO E308L16		Actividad que consiste en aplicar soldadura al tornillo prisionero que engrana al actuador rotativo para transmitir movimiento.

ITEM	PROCESO MANUFACTURA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
6	DISEÑO, TRAZADO, ACERRADO, LÁMINA DE ALUMINIO		Actividad que consiste en diseñar, trazar y doblar la lámina de aluminio para fabricar los soportes de distintos elementos que conforman el banco
7	ENSAMBLE Y ACOPLAMIENTO DE LA TRANSMISION PRINCIPAL		Actividad que consiste en acoplar la los soportes, eje, chumacera, engranajes a la plataforma
8	TRAZADO, CORTE Y UNION DEL PERFIL DE ALUMINIO		Actividad que consiste en trazado, corte del perfil de aluminio, y unión del perfil vertical con el horizontal mediante uniones con un ángulo de 90°.
9	ACERRADO Y FABRICACIÓN DE LAS BASES		Actividad que consiste en cortar el tubo de nylon y unirlo al acrílico mediante silicona
10	TENSIONAR Y SINCRONIZAR LA CORREA		Actividad que consiste en tensionar la correa para sincronizarla con el movimiento de la transmisión principal.
11	IMPLEMENTACIÓN DE LAS BASES		Actividad que consiste en medir la plataforma para distribuir y colocar las bases en el ángulo correspondiente

ITEM	PROCESO MANUFACTURA	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
12	IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS FINALES		Actividad que consiste en ensamblar todos los elementos con los soportes y piezas fabricados
13	CALIBRACIÓN DE LEVA		Actividad que consiste en calibrar las levas para que el mecanismo se posicione en el ángulo en que se encuentra las bases, se ajustan mediante el tornillo prisionero

Fuente: Propia

**Tabla 3-5** Conexiones y acoples de elementos electro neumáticos

ITEM	ELEMENTO	IMAGEN	DESCRIPCION
1	ACTUADOR ROTATIVO NEUMÁTICO		Permite el movimiento del mecanismo. Para esto fue necesario realizar una lámina en aluminio con el fin de mantener estático el actuador.
2	CILINDROS DOBLE EFECTO		El primero es usado para transportar la ventosa a recoger las piezas, para esto fue necesario elaborar una platina que los sujete. El segundo es el encargado de expulsar las fichas de la base de apilamiento, para esto fue necesario elaborar un acople al vástago del cilindro.

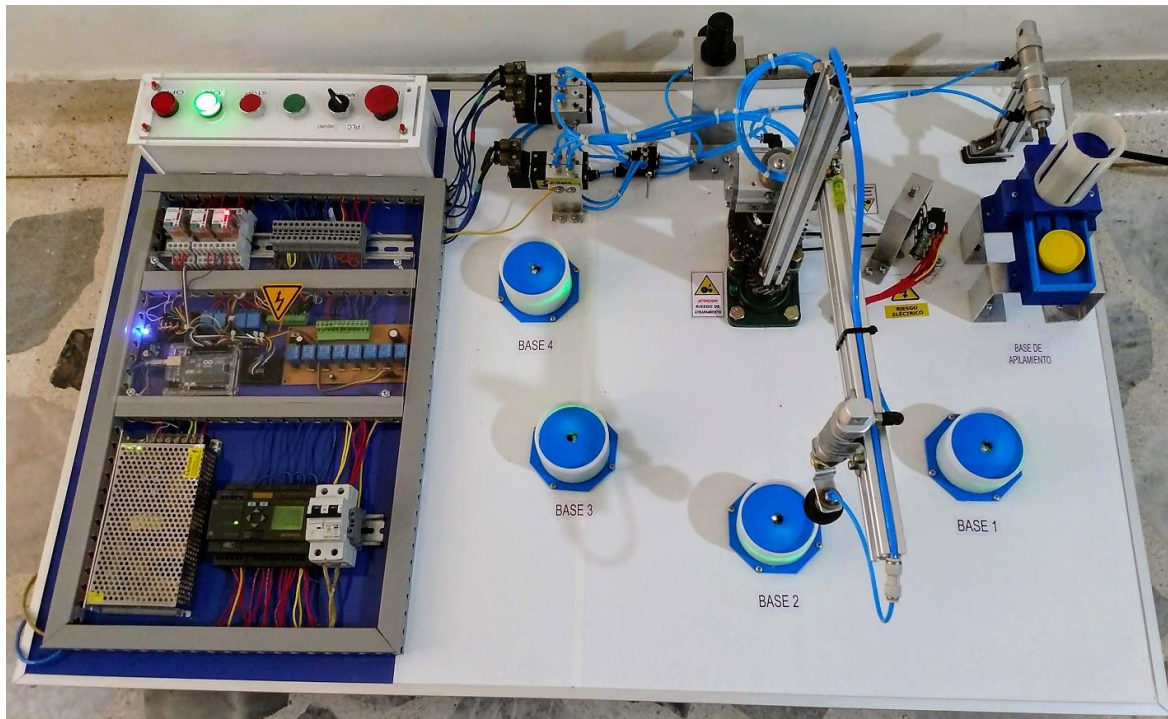
ITEM	ELEMENTO	IMAGEN	DESCRIPCION
3	ELECTROVÁLVULA MONOESTABLE 5/2		Convertidores de corriente a presión. Permiten el control del aire por medio de una solenoide, para esto fue necesario elaborar un soporte que permita sujetarlas al banco.
6	VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO UNIDIRECCIONAL		Permiten regular la velocidad del mecanismo cuando esta girando. Fue necesario unir las y organizarlas con un ángulo
7	UNIDAD DE MANTENIMIENTO		Permite mantener una presión constante en el banco, fue necesario realizar un soporte para sujetarla.
8	VENTOSA		Permiten la sujeción de la ficha debido al fenómeno venturí que se crea. Para esto fue necesario un racor de 3/8" y una manguera de 6mm con el fin de conectar la ventosa a la bomba.
9	BOMBA DE VACÍO		
10	REDUCCIÓN DE 6 A 4 mm		Permite pasar de una conexión de manguera cuyo racor es de 3/8" a racor de 1/8"
11	COMPRESOR		Proporciona aire al banco. Es necesario adaptar un acople rápido a la FRL para que el sistema neumático del banco sea compatible con la manguera del compresor.

Fuente: Propia



## 3.2 Análisis de Resultados

Figura 3-8 Banco Didáctico



Fuente propia

Dentro de la construcción del banco didáctico electro neumático se presentaron las siguientes situaciones:

1. Los soportes SKF FY 25 TF presentaron problemas de proximidad lo cual hizo imposible el engrane de la transmisión uno, por esta razón se intervino en la estructura de uno de los soportes provocando concetricidad en la base de apoyo y a su vez engrane de los elementos que transmiten la potencia.
2. La transmisión dos presento problemas en la alineación de las poleas, lo cual se solucionó mecanizando el eje principal a una longitud de 20mm para tener la libertad de alinear las poleas con respecto al eje conducido.
3. Para fijar la estructura de la base al piñón conducido, se hizo necesario taladrar concéntricamente este elemento y así adicionar un vástago por toda la sección transversal de la columna principal, taladrarla de manera radial para fijar la estructura con un pasador y evitar inestabilidad.

4. Las electroválvulas encontradas en el mercado eran de 5/2 monoestable. Para el cumplimiento del objetivo general se requirió configurarlas en 3/2 por medio de tapón tipo Allen que permitiera el control del actuador rotativo neumático.

Para el desarrollo del tablero de control se hizo necesaria la fabricación de circuitos que permitieran:

1. Detectar el estado de las bases, es decir, si están vacías o llenas, y enviar esa señal a los controladores. Para lo anterior fue necesario adaptar un sensor IR a un circuito e implementarlos en las 4 bases donde se da el proceso de descarga. La tarjeta anterior es alimentada por 5V/DC. El pin de señal de esta placa envía constantemente 5V si no hay presencia de elemento. Sin embargo, cuando el sensor infrarrojo detecta algún objeto la señal que se emite es de 0V.
2. Activar las electroválvulas de 24V/DC desde arduino. Como bien se sabe, este sistema embebido maneja en sus salidas un voltaje máximo de 5VDC y el banco didáctico electro neumático consta de 5 actuadores (electroválvulas) que trabajan a 24VDC. Por esta razón fue necesario emplear 5 transistores 2N3904 en configuración de emisor común, conectar la base de cada uno de ellos a los pines de salidas del arduino, y proporcionar una alimentación de 24VDC entre el colector y el emisor, de tal forma que cuando se envié un estado lógico alto, el transistor entre en saturación y permita pasar toda esa corriente. Con lo anterior se activa la bobina del relé, y el contacto normalmente abierto se energiza dejando que la electroválvula se active.
3. Alimentar el arduino y las tarjetas de los sensores, para ello se usó la fuente de 24VDC. Se empleó un regulador 7805 y dos capacitores de 1000uF con el fin de tener una pequeña fuente de 5VDC constantes para alimentaciones.
4. Enviar una señal de 110VAC a las entradas del PLC desde los sensores. Como se explicó anteriormente los sensores IR envían señales máximo de 5VDC y el PLC lee únicamente señales de 110VAC. Para esto, se diseñó un inversor con un transistor de tipo NPN, el cual invierte la señal de 0V proveniente del sensor que significa que hay presencia de objeto, y conmuta activando la bobina del relé, dando paso así a los 110VAC que se necesitan para activar la entrada del PLC.

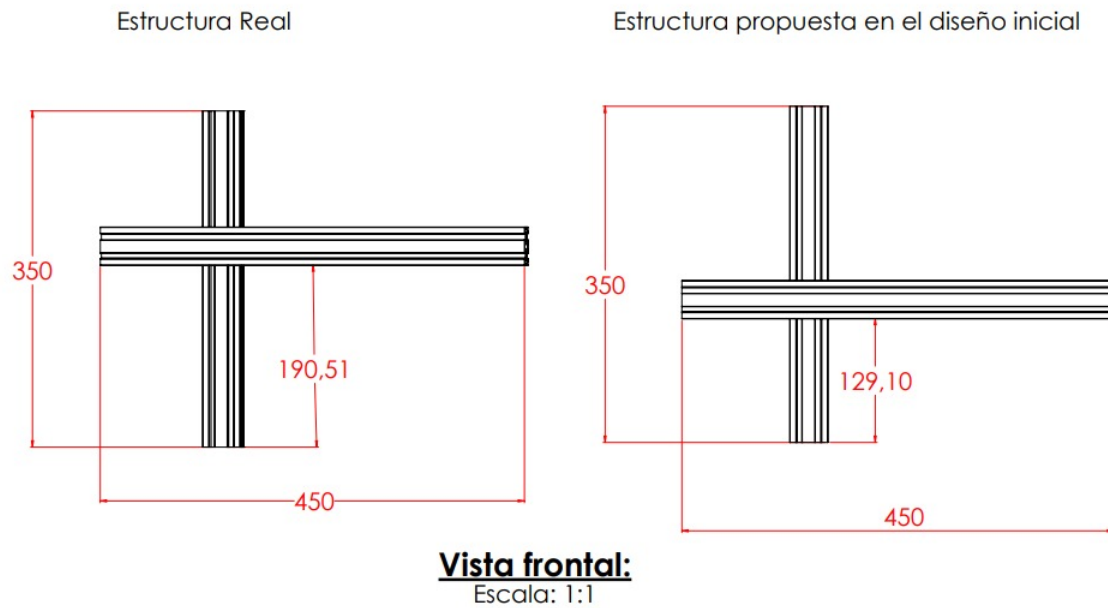


Una vez la construcción realizada, la lógica cableada ejecutada, y los circuitos fabricados implementados, se procedieron a evaluar la funcionalidad del banco didáctico. Sin embargo, se encontraron los siguientes inconvenientes:

1. El sensor CNY-70 es muy sensible a la luz, para esto, se procedió a colocar papel polarizado y realizar pruebas en condiciones bajas de luz. Sin embargo, el sistema era inestable y solo servía en ocasiones. Por esta razón se implementaron dos leds infrarrojos (blanco-negro) y se reemplazaron en la tarjeta inicial. La respuesta fue positiva.
2. La tarjeta de relés para las entradas de 110V del PLC no se activaban, esto se debían a un mal contacto en la protoboard auxiliar, lo cual provocaba una pérdida de voltaje que no permitía la activación de los relés. Para solucionar este problema, se conectó la señal directamente al nodo principal.
3. Las entradas correspondientes a los sensores IR activaban el arduino cuando no había presencia de objetos. Como se explicó anteriormente los sensores IR cortan la alimentación de voltaje cuando detectan un objeto, de lo contrario envía 5V constantemente. Como la señal de los sensores es adecuada para el microcontrolador, se conectó directamente a las entradas del arduino. Sin embargo, no se tuvo en cuenta que la lógica estaba invertida. Por esta razón se implementó un transistor PNP 3906 para que actué como una compuerta NOT, de tal forma que cuando reciba un 0 que significa presencia de objeto, el microcontrolador reciba un 1 y viceversa. De esta forma se garantiza que todas las señales que reciba el arduino sean positivas.
4. Las platinas que se fabricaron para soportes de distintos componentes se conducían corriente alterna, creando estática y riesgo de dañar varios elementos que componen el banco. Para lo anterior se incorporó una bornera que va directamente a la tierra de la instalación eléctrica, la cual conecta todos los elementos metálicos para aterrizarlos. Además, al trabajar dos voltajes distintos requiere de una buena puesta a tierra pues sino, el sistema genera muchos retornos que pueden afectar el funcionamiento y los elementos del banco.
5. La velocidad con la que se realiza el movimiento perimetral no es ni será constante debido a que es un sistema que mantiene en un intercambio de presiones. En este caso la presión generada por el compresor es de 4 bar, mientras que la presión atmosférica en Neiva es de 721mmHg lo que equivale a 0,961254 bar. Por lo

anterior, se puede apreciar que la presión del mecanismo es 4 veces mayor a la presión atmosférica, lo cual provoca una presión variable que altera el movimiento del mecanismo.

6. El mecanismo leva seguidor que se empleó para la sincronización y el control del movimiento, presentó problemas en la relación de posición del elemento palpador y palpado. Para lo cual fue necesario reducir la distancia de un elemento a otro.
7. El eje de levas al realizar su trabajo angular presento un amplio movimiento radial con respecto a su eje principal el cual generaba interferencia en el accionamiento del interruptor de posición; por lo tanto, se hizo necesario el diseño de un soporte tipo n de aluminio 6063, que no produjera desgaste abrasivo al eje y redujera su alabeo radial.
8. . La transmisión 2 (polea y correa) de sincronización, presento holgura en la correa debido a la poca tensión que se le pudo ejercer manualmente. Para solucionar este problema se implementó un elemento tipo 8 que mantenía la tensión y la multiplicaba.
9. Falsas señales. Al realizar el mecanismo la secuencia, el sensor IR detectaba el cilindro que está ubicado en la viga empotrada, por tal razón, cuando llegaba a la base seleccionada (vacía más cercana) el sensor IR lo detectaba y enviaba una falsa señal de que la base estaba ocupada. Debido a esto, el mecanismo buscaba otra base para depositar la pieza. Sin embargo, cuando se dirigía a un nuevo destino, la base enviaba nuevamente la señal de que estaba vacía, provocando que el mecanismo se quedara en este ciclo y no supiera que hacer. Por lo anterior, se replanteó la altura del perfil horizontal que contaba con un 36,9% de  $\Delta h$  y se elevó unos 66 mm dejando a este a unos 190,51mm de la unión del travesaño vertical con el engranaje conducido. Estas acciones, tuvieron un impacto positivo en la funcionalidad del banco ya que gracias a estos ajustes los sensores no eran afectados por la baja altura del cilindro. Lo anterior se muestra en la figura 3-10.

**Figura 3-9** Vista frontal estructura propuesta y real

Fuente: Propia

Las variaciones de la estructura que se realizaron para la solución de este problema se indican en la tabla 3-6:

**Tabla 3-6** Variaciones en el eje Z de la estructura

ALTURAS	DISTANCIA (mm)	PORCENTAJE %
$\Delta h$ ALTURA TOTAL	350	100
ALTURA INICIAL	129,1	36,89
ALTURA FINAL	190,51	147,57
DESPLAZAMIENTO	6,6	3,46

Fuente: Propia

Una vez detectado y solucionados los problemas mencionados anteriormente, se realizaron pruebas de funcionamiento con distintos valores de presiones, con el fin de

determinar las condiciones óptimas de trabajo del mecanismo los cuales se indican en la tabla 3-7

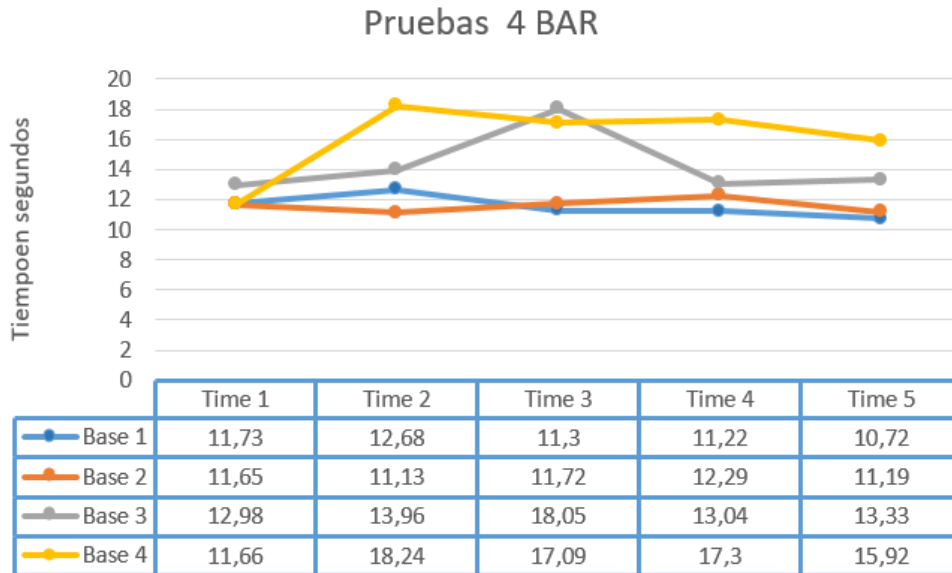
**Tabla 3-7** Pruebas de caudal tiempo

PRESIÓN BAR	CAUDAL LTS/MIN	TIEMPO EN MINUTOS
3	45.75	No se mueve la estructura
4	61	1:10:78
5	76.25	1:09:72
6	91.5	No realiza el proceso

Fuente: Propia

De acuerdo a lo anterior se determina, que a una presión de 3 bares el mecanismo no tiene la suficiente fuerza para moverse y la ventosa no agarra las piezas. Por esta razón, se realizarán prácticas con valores mayores o iguales a 4bares. A esta presión el banco realiza el ciclo completamente en un tiempo de 1minuto 10 segundos, mientras que a 5 bares el tiempo disminuye en 1 segundo; ambos tiempos son adecuados para realizar pruebas pues muestran un resultado donde se cumple con la tarea. A una presión de 6 bares el mecanismo deja de realizar el proceso, pues la presión es tan alta que su movimiento es rápido, y el control no se ejecuta correctamente debido a que no alcanza a determinar la orden de parada que emite los finales de carrera.

Por lo anterior la evaluación de funcionalidad se realiza a 4 Bar de presión, debido a que es la presión adecuada para la operación del banco. Dichas pruebas se indican en la figura 3- 10.

**Figura 3-10** Ensayos de tiempo según el caudal y la presión.

Fuente: Propia

Para soportar el argumento de la “tabla ciclos completos” se realizaron pruebas de 5 repeticiones cada una, con el fin de obtener un tiempo promedio y la variación de la velocidad del brazo en distintas oportunidades. Como se puede apreciar existen diversos tiempos en la operación del banco, esto se debe a que las condiciones no son ideales y como efecto secundario de trabajar sistemas neumáticos es la inercia, como ejemplo de esto, se observa las líneas de la Base 1 y la Base 2 en la gráfica anterior, donde, se puede apreciar que a pesar de las distancias entre estos dos puntos el punto más cerca al inicio en muchas ocasiones cuenta con más tiempo de entrega que en el punto más lejano debido a la inercia de la estructura, mientras que para las bases iguales o mayores que 2 el comportamiento de llegada es un poco más predecible debido a que el mecanismo disminuye la inercia y suaviza un poco su movimiento angular.

El banco didáctico busca manipular y transportar de manera perimetral un producto de geometría circular a través de un determinado espacio, para ello, se buscó una estructura que tuviese la capacidad de tener un compás suficiente para abarcar el radio establecido. La estructura adoptada, fue la de una grúa tipo pluma, la cual tenía un sencillo ensamble, un radio de operación y altura variable, en caso de necesitarlo. Los materiales empleados para el órgano anteriormente mencionada fueron, aluminio de referencia OB4020 y aleación 6063, la cual cuenta con magnesio de silicio y 63% de aluminio en su contenido; material que tiene las propiedades físicas óptimas para ese trabajo.

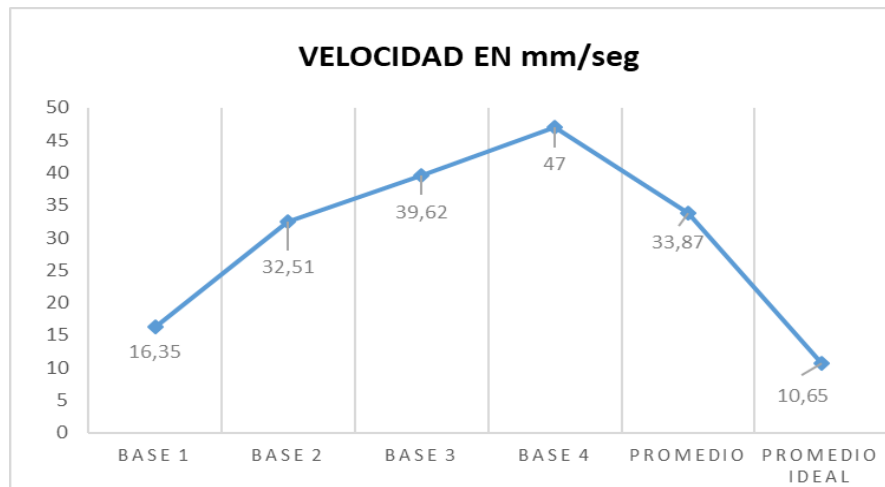
En cuanto a las evaluaciones cinemáticas del transporte de piezas se realizaron las siguientes pruebas y se adquirieron los siguientes datos como se indican en la tabla 3.8

**Tabla 3-8** Pruebas cinemáticas

BASE	VELOCIDAD EN mm/seg
BASE 1	16,35
BASE 2	32,51
BASE 3	39,62
BASE 4	47
PROMEDIO	33,87
PROMEDIO IDEAL	10,65

Fuente: Propia

**Figura 3-11** Gráfica de velocidad



Fuente: Propia

En la figura 3-11, se puede observar el promedio de las velocidades, desde la base 1 una hasta la 4, donde se aprecia que la primera llegada es la que cuenta con menor velocidad promedio que las siguientes, esto se debe a el mecanismo a medida que aumenta el recorrido gana una mayor rapidez, fenómeno que se ve presente en la mayoría de sistemas que trabajan con aire. Los promedios son la suma de las velocidades de la base 1 hasta la última, mientras que el promedio ideal es la velocidad obtenida mediante el tiempo de

un ciclo de operación normal del banco en condiciones ideales. En base a esto se logra apreciar, que una buena sincronización y la presión ideal mantendrán una mayor eficiencia y eficacia en el procedimiento.

Dentro de las variables más influyentes en el desarrollo del banco didáctico electro neumático se encuentran:

**Tabla 3-9** Variables más influyentes

RESULTADOS	
VARIABLES	VALORES
FUERZA DE SUCCIÓN DE LA VENTOSA	Máx 20 N
TAMAÑO DE LA PIEZA	Min 4 cm - Máx 10 cm
VELOCIDAD POR CICLO	10,65 mm/s
PRESIÓN NOMINAL	4 BAR
CAUDAL NOMINAL	61 Lts/min
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	127V AC
INTENSIDAD	0.72 A
POTENCIA DE TRABAJO	91,44 Watts

Fuente: Propia

Luego de evaluar la funcionalidad del banco didáctico electro neumático se realizaron mediciones con el fin de comprobar los valores que toman las variables halladas en el diseño. Lo anterior se encuentra en la tabla 3-9.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

La presión nominal para que el prototipo trabaje adecuadamente es de 4bar; si la presión es inferior a este valor el banco no es operativo, pues el mecanismo no tiene la suficiente fuerza para girar y no realiza el movimiento perimetral. Además, la ventosa no genera la presión negativa suficiente para que las piezas se adhieran, y por ende no existiría el proceso de manipulación ni distribución. Si la presión de alimentación del banco didáctico es superior a 4 bar, puede realizarse el proceso. Sin embargo, tendría que recalibrarse el mecanismo de levas y las válvulas reguladoras de caudal. A pesar de lo anterior, no es recomendable trabajar por encima de la presión nominal ya que genera desgaste en la estructura, desajuste en las uniones, y disminuye la vida útil de los elementos.

Para que exista un desarrollo más óptimo de la tarea y la ventosa pueda realizar adecuadamente el proceso de manipulación, las piezas tienen que ser de un tamaño igual o mayor a 4cm, pero menor a 10cm de diámetro (geometría circular por la forma de la base de apilamiento). Ya que, si es mayor a esta dimensión, se genera un momento que suelta la pieza de la ventosa. Si es menor, se crea un escape del aire de succión y no se puede transportar el objeto. La adherencia se realiza en una superficie de baja rugosidad, si está superficie cuenta con mal acabado, el transporte no se puede llevar a cabo por el mismo escape de aire. En los sistemas de producción modular este sistema usado para llevar un control de calidad de los elementos elaborados.

La carga máxima que puede soportar la ventosa para que exista adherencia, debe ser menor a la fuerza de succión creada por la bomba de vacío en ese momento.

Se llega a la conclusión que para este tipo de MPS la estructura propuesta que cuenta con dos ejes (Z, X) es una buena solución para recoger y transportar piezas en un determinado



espacio, debido a que el mecanismo gira sobre su propio eje, y cuenta con una prolongación hacia X que le permite abarcar radios variables. Adicional a esto, la estructura es muy rígida y según los cálculos se cuenta con un buen factor de seguridad, cualidades que se ajusta a la necesidad del diseño propuesto para el banco didáctico electro neumático.

En cuanto a las pruebas cinemáticas estudiadas en la evaluación de funcionalidad del banco didáctico electro neumático se obtuvieron 2 datos generales y 4 específicos. Los datos generales son velocidad promedio de operación del banco y la velocidad promedio ideal. Los específicos son el promedio de velocidades que tarda la estructura en llegar a cada una de las bases, de lo cual se puede deducir que el banco por efectos secundarios de la neumática, posee inercia y movimientos no tan finos. Por tanto, le llevara un tiempo estabilizar el movimiento de la estructura; datos corroborados por las pruebas individuales impuestas a cada base de dicha estación neumática y el promedio de esas pruebas de velocidad. Al existir un intervalo de menos tiempo de operación a medida que se alejan de la base 1, se da a entender que después de unos ciclos de pruebas el banco adquiere movimientos más suaves y precisos que al inicio de operación del banco. Por ende, es muy importante que la presión de trabajo sea la recomendada por el manual de operaciones.

Debido al actuador rotativo neumático, el sistema posee una inercia pronunciada, lo cual hace difícil de controlar el mecanismo por las velocidades y tiempos de respuestas tan rápidos. Por esta razón, la calibración de las levas es estricta ( $45^\circ$  una de la otra) y se vuelve un factor fundamental. Sin embargo, este proceso no es sencillo, ya que se requiere mucha exactitud, pues de no ser así la activación, el tiempo de accionamiento se prolonga o se acorta, lo que podría ser contraproducente, dada que la activación o desactivación del interruptor de posición podría darse muy tarde o muy temprano.

Otro elemento muy importante para el correcto funcionamiento del banco, son las válvulas reguladoras de caudal, ya que estas posibilitan el control de la velocidad angular de todo el mecanismo. Sin embargo, la estrangulación de estas válvulas no permite que el caudal que ingresa sea el mismo que sale debido a la limitación de su sección transversal. Como

efecto secundario se necesita un poco más de tiempo para que los actuadores desahoguen.

El banco didáctico electro neumático cuenta con un control de tipo ON/OFF ya que es el más común a nivel industrial por ser simple, económico, confiable, fácil de ajustar y de dar mantenimiento. Normalmente para el control de los actuadores neumáticos se emplean interruptores de posición o temporizadores. En este proyecto se hacen uso de estos dos métodos. Además, para realizar un control de tipo analógico como el proporcional, se requiere de un posicionador electro neumático o una válvula proporcional, los elementos anteriores son difíciles de conseguir, muy costosos y no se ajustan al presupuesto. Por tal razón son pocas las empresas que lo implementan. Como medio para emplear este tipo de control fue necesario implementar un mecanismo leva seguidor, ya que buscando la interdisciplinariedad de áreas se produjo una respuesta mecánica para un problema electrónico.

En cuanto al controlador principal se empleó un PLC logo 230RC, el cual posee entrada a 110VAC y no permite la conexión mediante puerto Ethernet sino mediante Logo Cable. Las condiciones que se evalúan para la programación de este equipo se realiza mediante minimización de funciones, lo que permite estimar situaciones que probablemente no se habían previsto, dan autonomía al mecanismo, optimiza el proceso y los códigos. Como controlador secundario se implementó un sistema embebido (arduino) con el fin de que los principiantes en áreas afines a la electrónica tengan interacción desde el comienzo con lenguajes de programación básicos como C++. Además de tener gran versatilidad con otras plataformas, y así poder realizar prácticas haciendo uso de distintos lenguajes y programas que tenga compatibilidad con la interfaz de arduino. Sin embargo, con el desarrollo de este proyecto se llega a la conclusión de que, para situaciones industriales, no es conveniente trabajar con arduino, ya que al manejar corriente alterna, se crean ruidos y retornos que lo afectan en su estructura mecánica, y en su lógica de programación.

Debido a las diferencias de voltajes con las que trabajan los equipos (110VAC y 5VDC) se hace pertinente la elaboración de tarjetas electrónicas que permitan ampliar o regular los voltajes de las señales que se reciben o transmiten, la mayoría de estas tarjetas se realizan haciendo uso de transistores y relés que permiten la conmutación. Sin embargo, al emplear

este elemento electromecánico (relés) se generan rebotes de corriente, que si no son aterrizados correctamente afectan la funcionalidad del banco.

Con respecto a la retroalimentación del sistema, para realizar un control de lazo cerrado se acondicionan sensores IR que permiten hacer lectura y por ende control de otras variables, de tal forma que el mecanismo autónomamente determine las bases más convenientes para que se realice el proceso de descarga. Con la práctica anterior, se evidencia que no cualquier sensor IR es adecuado, ya que existen referencias que son muy sensibles a la luz y afectan todo el sistema.

Para la fabricación del banco se emplearon distintas técnicas de manufactura. Sin embargo, una de las más importante fue el hecho de implementar fabricación digital haciendo uso de una impresora 3D y una routeadora CNC, de lo anterior se llega a la conclusión, de que la calibración de los elementos es muy importante para lo optimización de tiempos, de material y tener un producto de calidad.

Como resultado en la evaluación de funcionalidad del sistema tanto para la parte mecánica, electrónica y electro neumático se ejecutan pruebas de tiempos, presiones y apertura de válvulas reguladoras. De tal forma, que, si el mecanismo cumple con el propósito designado tanto lógica como estructuralmente, se puede decir que el banco didáctico es operativo.

En conclusión, lo que se quiere aportar con esta herramienta es que los usuarios realicen rutinas que les permitan operar adecuadamente el equipo, de tal forma que desarrollen habilidades tales como la percepción, el lenguaje y la memoria, que les ayuden en la capacidad de solución de problemas de tipo industrial, especialmente en aquellos que se implementan los sistemas de producción modular. A nivel industrial estos sistemas ayudan a optimizar los tiempos de producción, así pues, si un usuario ha tenido relación con este tipo de sistemas en su proceso de formación generara confianza en futuros entornos de trabajo.

## 4.2 Recomendaciones

- Debido a los problemas de inercia que se presentan con el mecanismo. Se recomienda evaluar la funcionalidad del banco haciendo uso de un motor paso a paso que permita un posicionamiento más eficiente. Para esto, se sugiere estudiar el diagrama de control para implementar este tipo de actuador en el sistema.
- Para adicionar un proceso de clasificación al banco, se recomienda implementar un sensor de tipo industrial (capacitivo o inductivo) donde se puedan catalogar las piezas por materiales (PLC). Igualmente sucede con el controlador arduino, se sugiere incorporar un sensor de color que permita seleccionar las piezas. Apuntando a la industria 4.0 se podrían emplear cámaras que le permitan al mecanismo realizar un procesamiento digital de imágenes e identificar el tipo de pieza que transporta.
- La ventaja de los sistemas de producción modular (MPS), es que los procesos suceden por etapas. Se recomienda desarrollar otra estación compatible con la presentada, de tal forma que se realicen procesos más completos y se evalúen otras variables.
- En vista de los problemas que se presentan en la calibración del mecanismo leva seguidor se recomienda innovar con un nuevo sistema que permita el control del banco ya sea haciendo uso de elementos electrónicos o mecánicos. Se sugiere experimentar un control de tipo proporcional haciendo uso de un posicionador electro neumático o una válvula proporcional, para esto es conveniente el uso de un módulo AM2AQ (salidas analógicas) que lo posibilite.
- Se recomienda realiza una interfaz hombre-máquina (HMI) que permita medir, controlar y regular las variables de una manera gráfica. Además de incorporar un sistema que permita controlar de forma inalámbrica el banco didáctico.
- Para ampliar los grados de libertad del mecanismo se sugiere implementar un cilindro doble efecto en el eje X, con el fin de realizar un proceso de distribución de piezas más complejo.

## 5. Bibliografía

Aguilar, N. A. (2019). Construcción, ensamblaje y pruebas de motor neumático. En N. A. Aguilar, *Construcción, ensamblaje y pruebas de motor neumático* (pág. 20). Piura: Universidad de Piura.

Alldatasheet. (1 de Octubre de 2020). *Alldatasheet*. Obtenido de Alldatasheet: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132032/SONGLERELAY/SRD-24VDC-SL-C.html>

APRENDIZAJE, U. D. (18 de 8 de 2020). *UNIDAD DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE* . Obtenido de UNIDAD DE APOYO PARA EL APRENDIZAJE : <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/33be8066-2f49-465b-86a1-cb9531b24b5f/Tipos-de-Cables-Usados-para-Instalaciones-Elctricas/index.html>

Becker. (9 de Enero de 2018). *Becker*. Obtenido de Becker: <https://becker-iberica.com/que-son-y-como-funcionan-las-bombas-de-vacio/>

Bonilla P, D. X., & Noriega F, C. P. (2014). *Diseño, construcción e implementación de un banco didáctico electroneumático para laboratorio de neumática de la Escuela de Ingeniería Mecánica*. Riobamba (Ecuador): U.Chimborazo.

CLR. (23 de Abril de 2018). *CLR*. Obtenido de CLR: <https://clr.es/blog/es/fundamentos-de-las-transmisiones-por-engranajes/>

D. ROMAN B. V. (2012). *"ELECTROPNEUMATIC AUTOMATION EDUCATIONAL LABORATORY"*. ucrania: CITESEERX.IST.PSU.EDU.

Diprax. (12 de Mayo de 2017). *Diprax*. Obtenido de Diprax: <http://www.diprax.es/vacio-industrial/ventosas/>

Duarte, F. H. (2013). EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS ESPECÍFICAS EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA. *Scielo*, Conclusiones.

Edu.xunta. (20 de Septiembre de 2020). *Edu.xunta*. Obtenido de Edu.xunta: [/www.edu.xunta.gal/centros/iesblancoamorculleredo/aulavirtual/pluginfile.php/38107/mod\\_resource/content/0/10\\_paquetes/Paquetes\\_web/5\\_mecanismos/55\\_leva\\_y\\_excntrica.html](http://www.edu.xunta.gal/centros/iesblancoamorculleredo/aulavirtual/pluginfile.php/38107/mod_resource/content/0/10_paquetes/Paquetes_web/5_mecanismos/55_leva_y_excntrica.html)

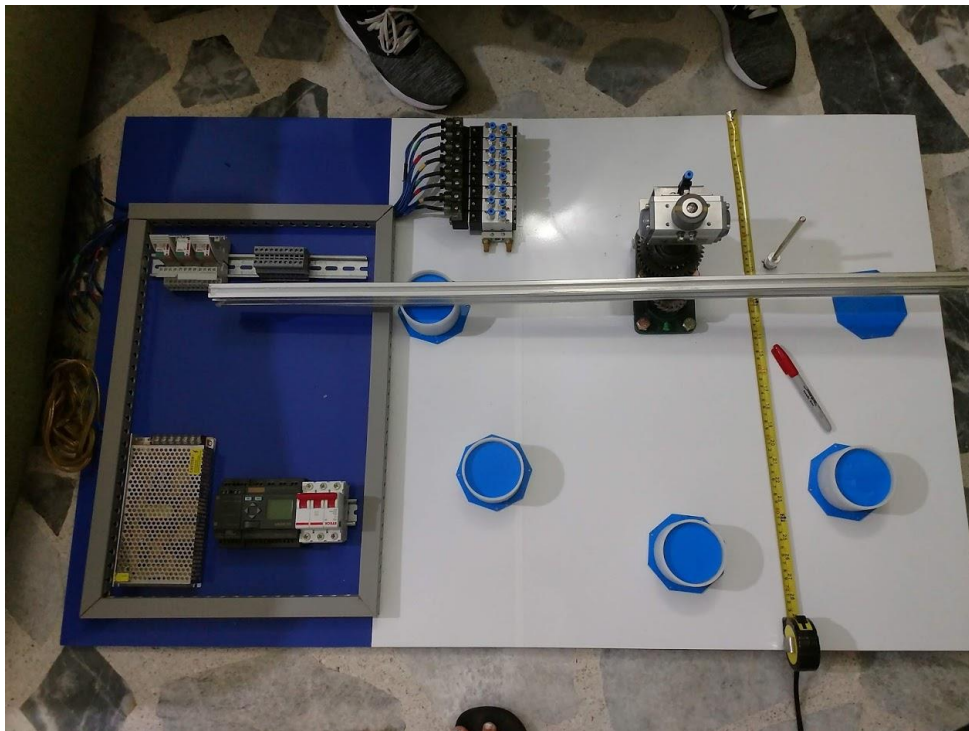
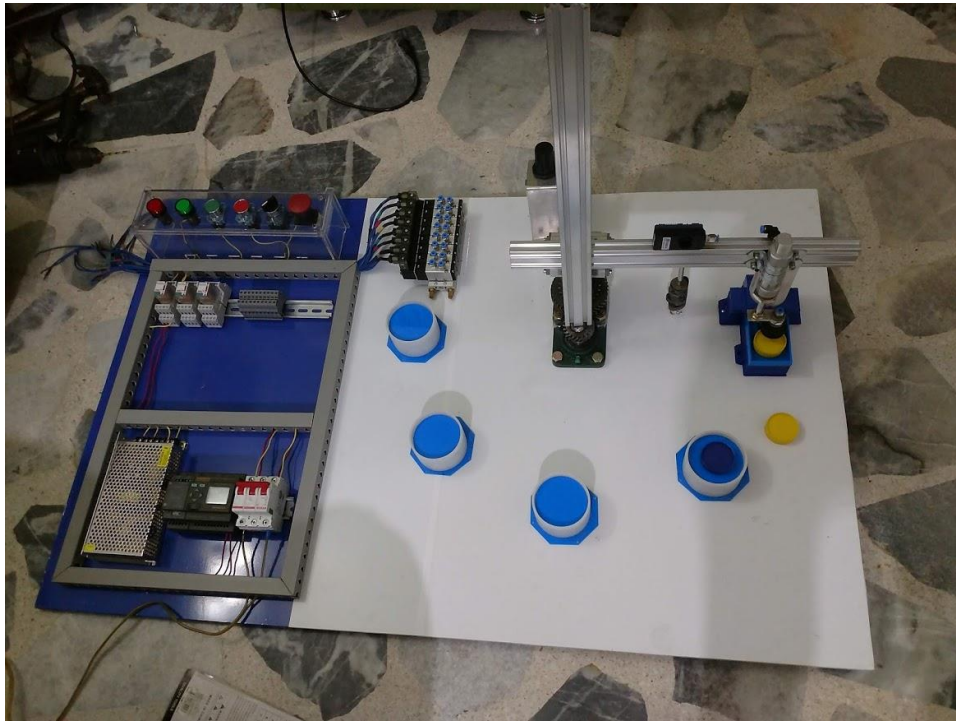
Educacionurbana. (8 de Octubre de 2020). *educacionurbana*. Obtenido de educacionurbana: <https://educacionurbana.com/>

- Escalera T, M. J., & Rodríguez F, A. J. (2013). *Actuadores neumáticos*. Barcelona (España): Useas.
- Fidestec. (12 de Septiembre de 2020). *Fidestec*. Obtenido de Fidestec: <https://fidestec.com/blog/resistencias-pull-up-down/>
- Fiscalab. (30 de Octubre de 2020). *Fiscalab*. Obtenido de Fiscalab: <https://www.fiscalab.com/apartado/rozamiento>
- Fuentes R, J. I., & Moo M, M. (2017). *Dificultades de aprender a programar*. Bogota: ACOFI.
- González F, M. T., & Castro L, A. (2011). *Impacto del ABP en el Desarrollo de la Habilidad para Formular Preguntas de Aprendizaje en Estudiantes Universitarios*. Sonora (Mexico): REDU.
- Guillén S, A. (1993). *Introducción a la neumática*. Barcelona (España): Marcombo.
- Informe. (20 de 11 de 2020). <http://informefebbreroatanquehidraulico828826.blogspot.com/>. Obtenido de Informe: <http://informefebbreroatanquehidraulico828826.blogspot.com/>
- inventable. (2 de Octubre de 2020). *inventable*. Obtenido de Inventable: <https://www.inventable.eu/introduccion-a-los-reles/>
- Lara Ri, A. A., & Trujnao G, G. (2004). *Producción modular y coordinación en el sector de autopartes en México. El caso de la red de plantas de Lear Corporation*. Morelos (Mexico): Scielo.
- learningaboutelectronics. (2 de Octubre de 2020). *learningaboutelectronics*. Obtenido de learningaboutelectronics: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Diferencia-entre-transistores-NPN-y-PNP.php>
- Maquinas y Equipos. (2 de Marzo de 2017). *Maquinas yequipos*. Obtenido de Maquinas yequipos: <https://maquinasyequipos.com.ar/manipulacion-de-piezas-al-vacio/#:~:text=Las%20ventosas%20se%20utilizan%20en,difícil%20por%20otro%20sistema%20debido>
- Norton, E. (2014). *Diseño de maquinas*. Boston: Mc Graw hill.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria*. New Yor: Mc Graw Hill.
- Ramírez G, A. (2015). *Metodología de la investigación Científica*. Bogota: Ujaveriana.
- Rendón, J. G. (2 de Abril de 2015). *oilproduction*. Obtenido de oilproduction: <http://www.oilproduction.net/files/Reguladoresdepresion.pdf>

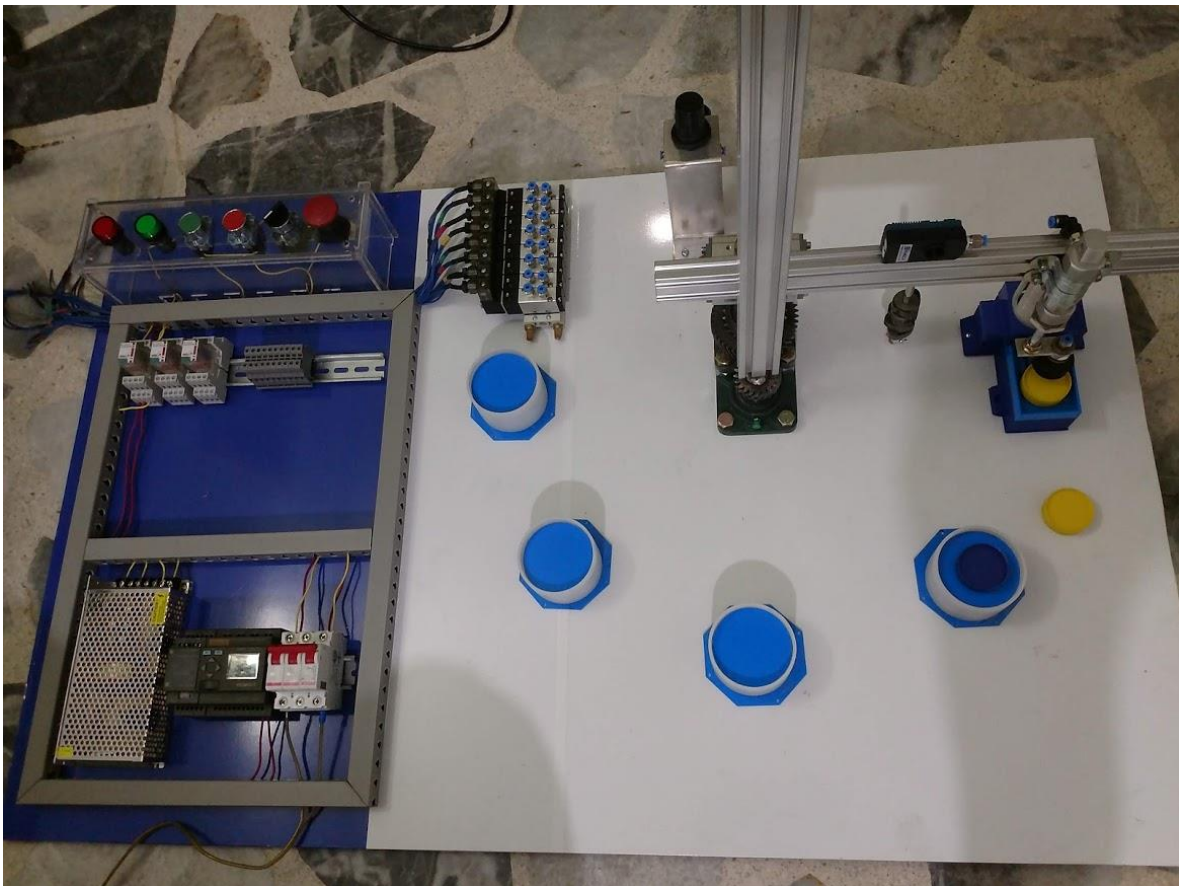
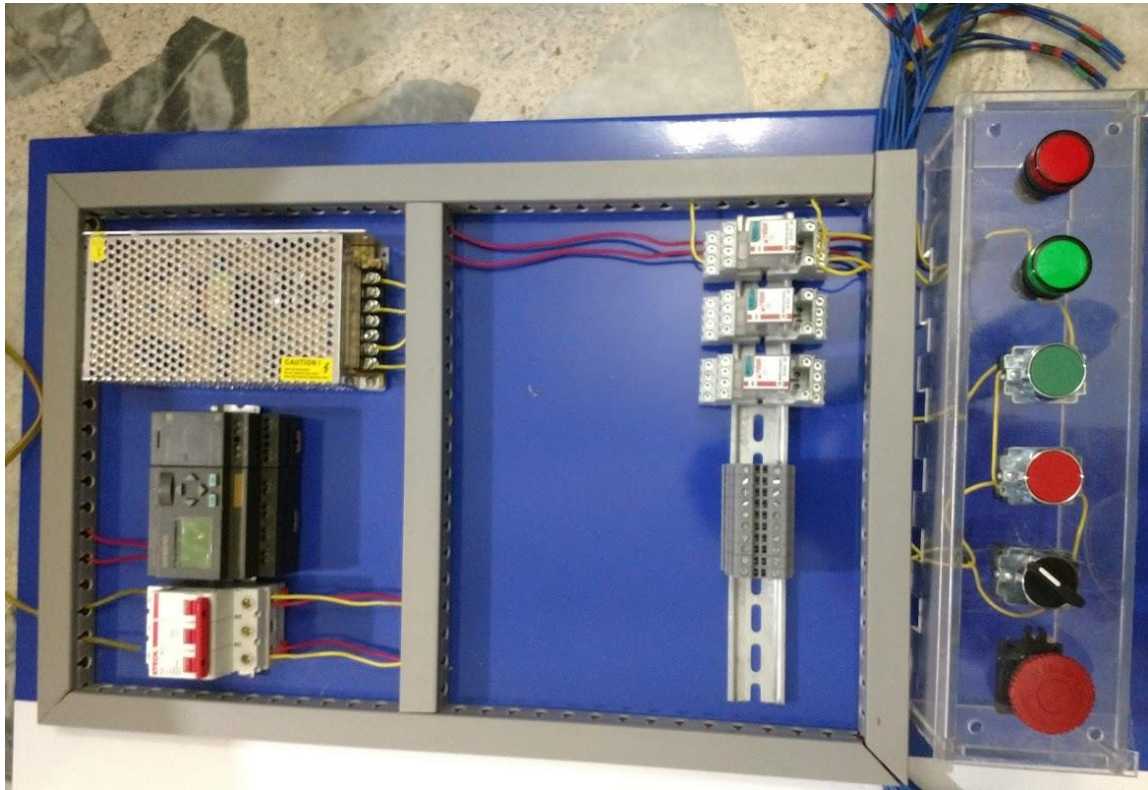
- Schmalz. (12 de Octubre de 2020). *schmalz*. Obtenido de schmalz:  
<https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/procedimiento-para-dimensionar-un-sistema/fuerza-de-retencion-teorica-de-una-ventosa/>
- Siemens. (2003). *Manual LOGO*. Nuremberg: Siemens.
- UAN. (12 de Septiembre de 2020). *UAN*. Obtenido de UAN:  
<HTTP://WWW.UAN.EDU.CO/FACULTAD-DE-INGENIERIA-MECANICA-ELECTRONICA-Y-BIOMEDICA>
- Universidad Antonio Nariño. (2020). *Plan de estudio*. Neiva: UAN.
- Valencia V, S. E., & Reyes R, A. S. (2011). *Estudio de automatización de un brazo neumático para facilitar procesos de aprendizaje en el laboratorio de neumática de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*. Ambato (Ecuador): Uambato.
- Villa L, F. H., García G, J., Vélez E, J., Leal O, S., & Ramírez R, A. (2013). *Electropneumatic system for industrial automation: a remote experiment within a web-based learning environment*. Veracruz (Mexico): Science Direct.
- Vmecca. (12 de Septiembre de 2020). *vmecca*. Obtenido de vmecca:  
<https://www.vmecca.com/shop/vacuum-pump-en/mini-pump-en/vtm5/>

## 6.Anexos

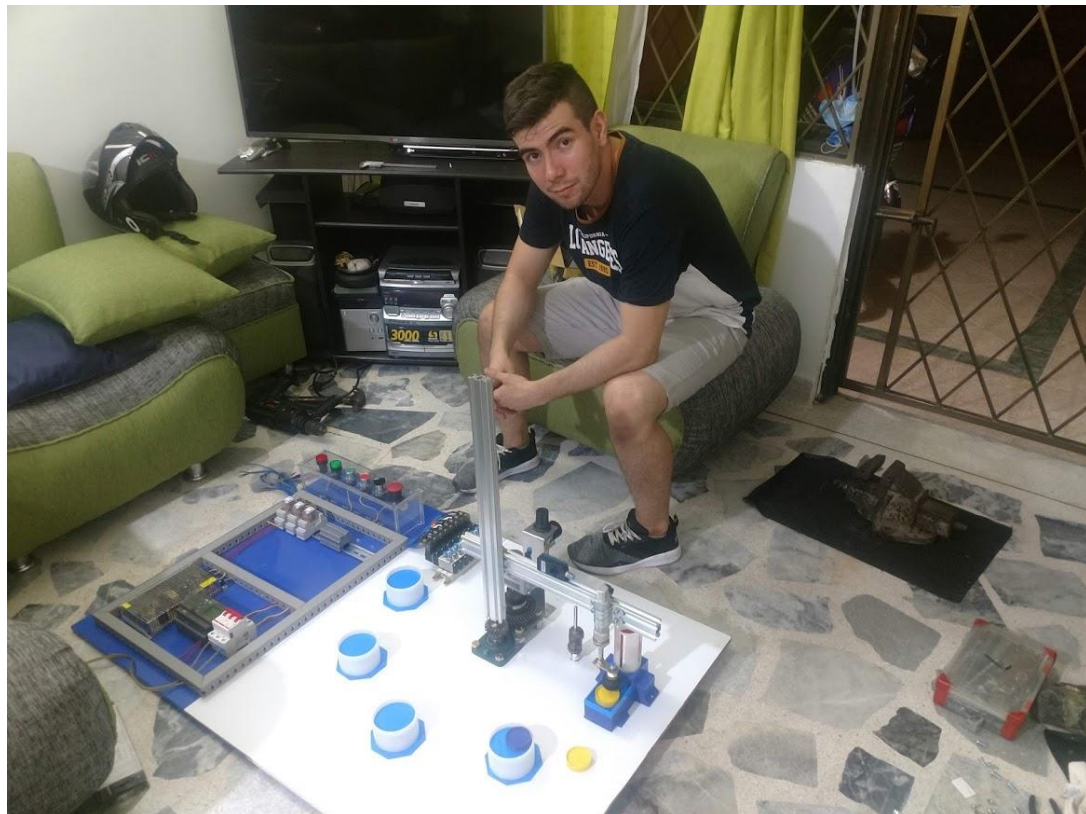
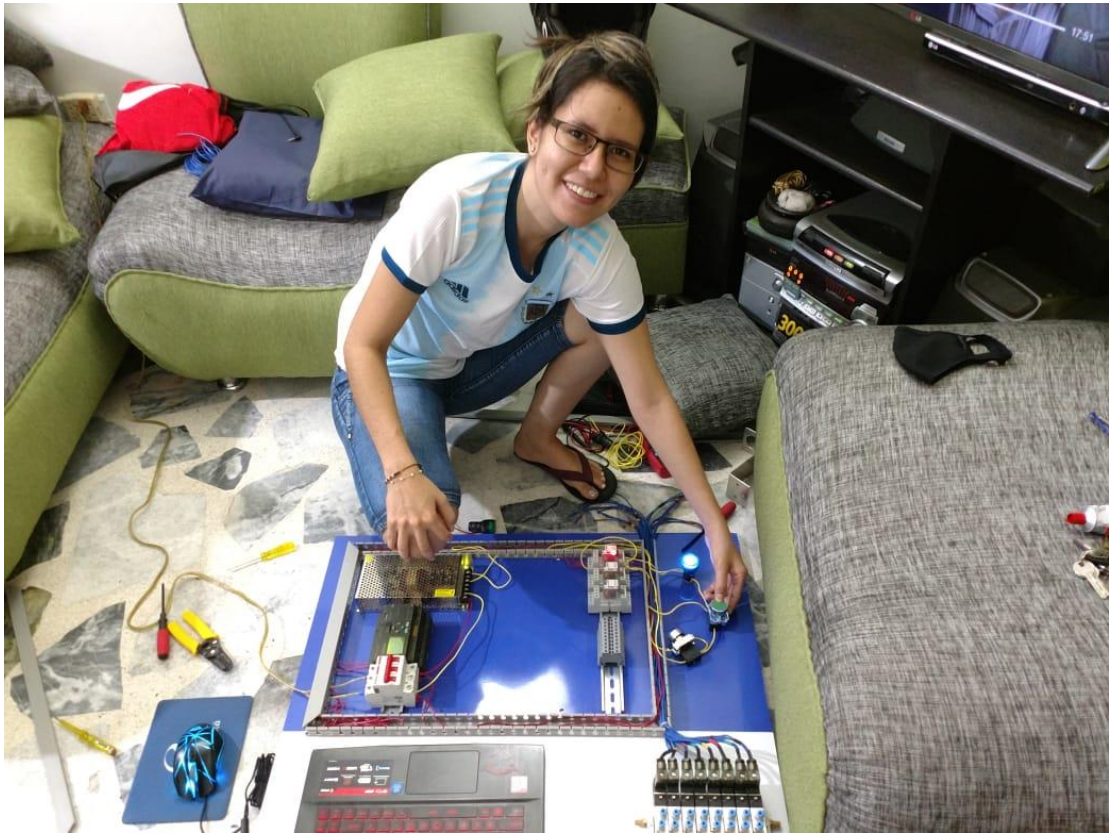
### 6.1 Anexo





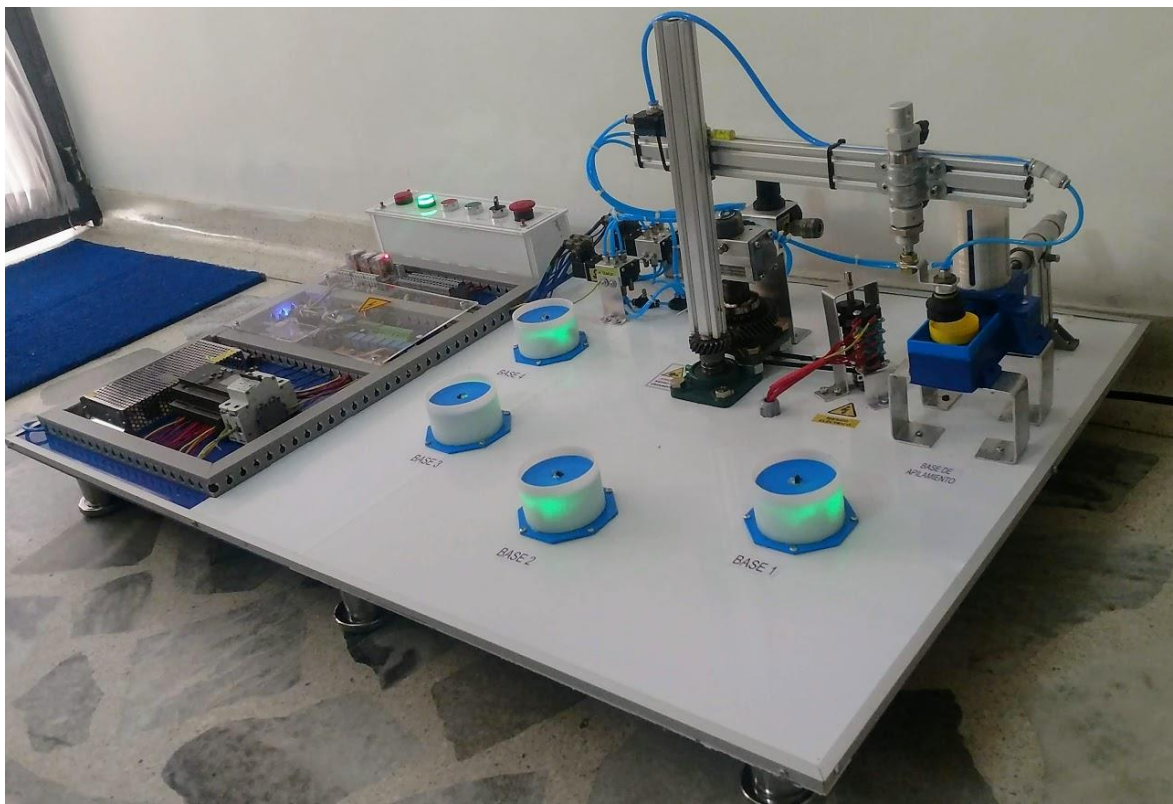
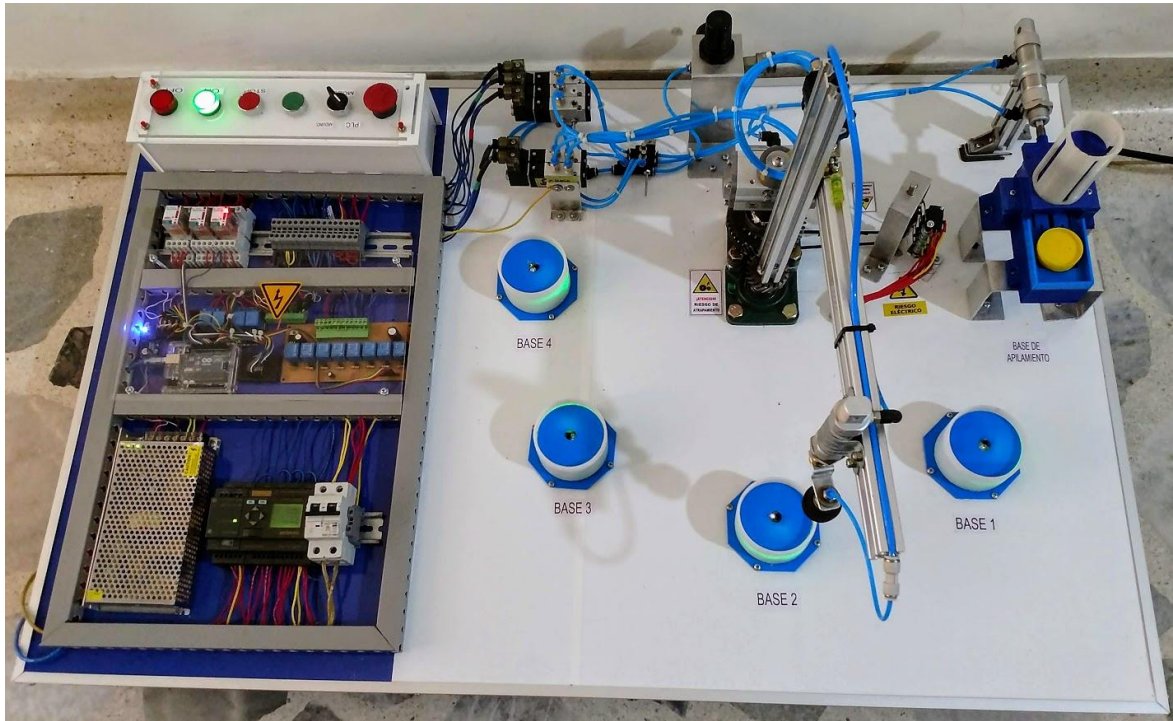














## **6.2 Anexo Diagramas de Flujo I y II**

[Retorno Lógica programada](#)

[Retorno programación Arduino](#)

## **6.3 Anexo Programación en Ladder**

[Retorno programación Ladder](#)

## **6.4 Anexo Programación en Arduino**

[Retorno programación Arduino](#)

## **6.5 Anexo Planos Banco didáctico electro neumático.**

[Retorno programación Ladder](#)

### **6.5.1 Isométrico del banco**

[Retorno diseño circuito electro-neumático](#)

### **6.5.2 Partes del banco**

### **6.5.3 Dimensiones**

### **6.5.4 Transmisión 1 y eje de levas**

[Retorno diseño circuito electro-neumático](#)

### **6.5.5 Elementos del Mecanismo leva Seguidor**

[Retorno diseño circuito electro-neumático](#)

**6.5.6 Engranaje conducido**

**6.5.7 Engranaje conductor**

**6.5.8 Cilindro manipulador**

**6.5.9 Base de inicio**

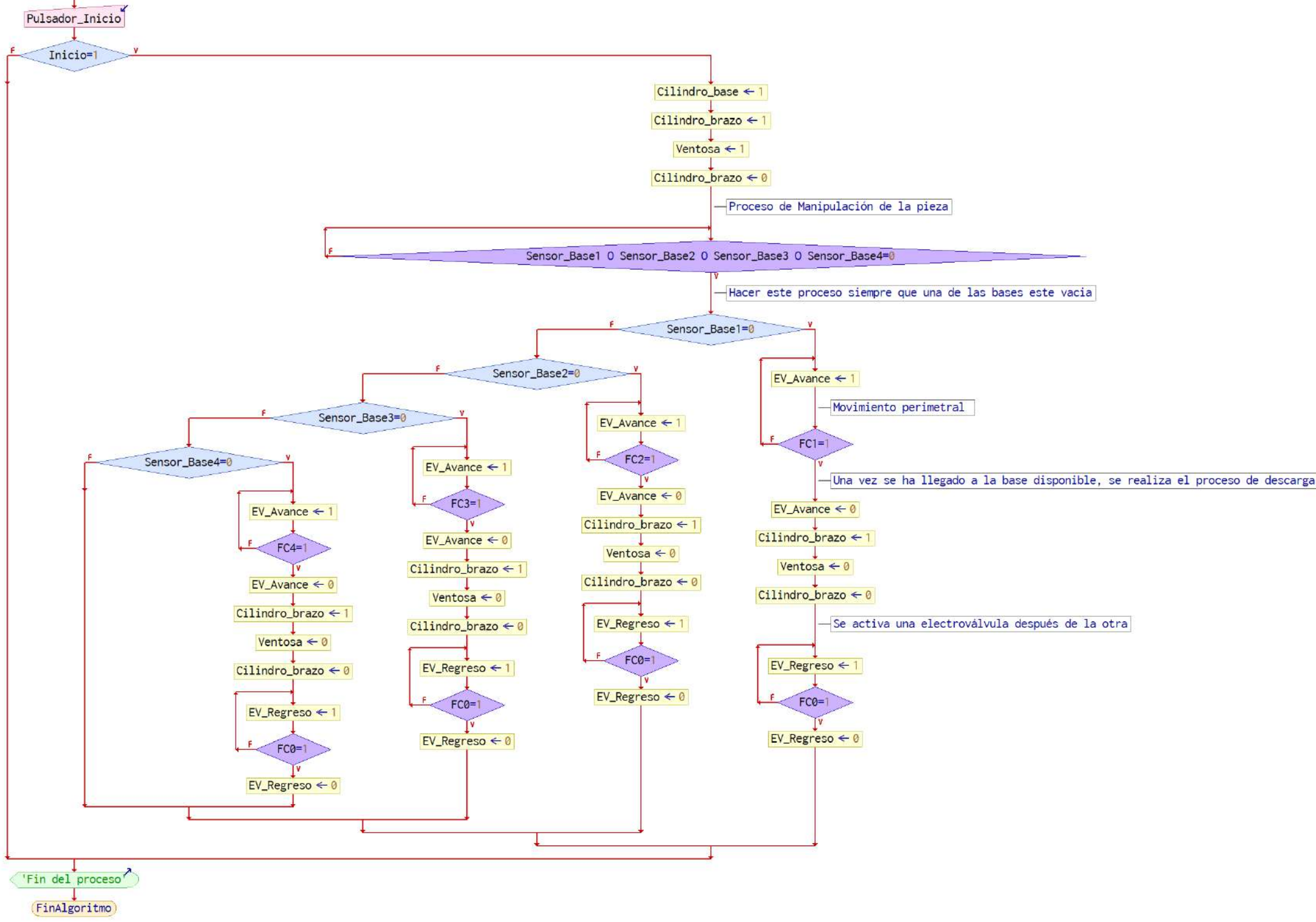
[Retorno fabricación digital.](#)

**6.5.10 Estructura transportadora**

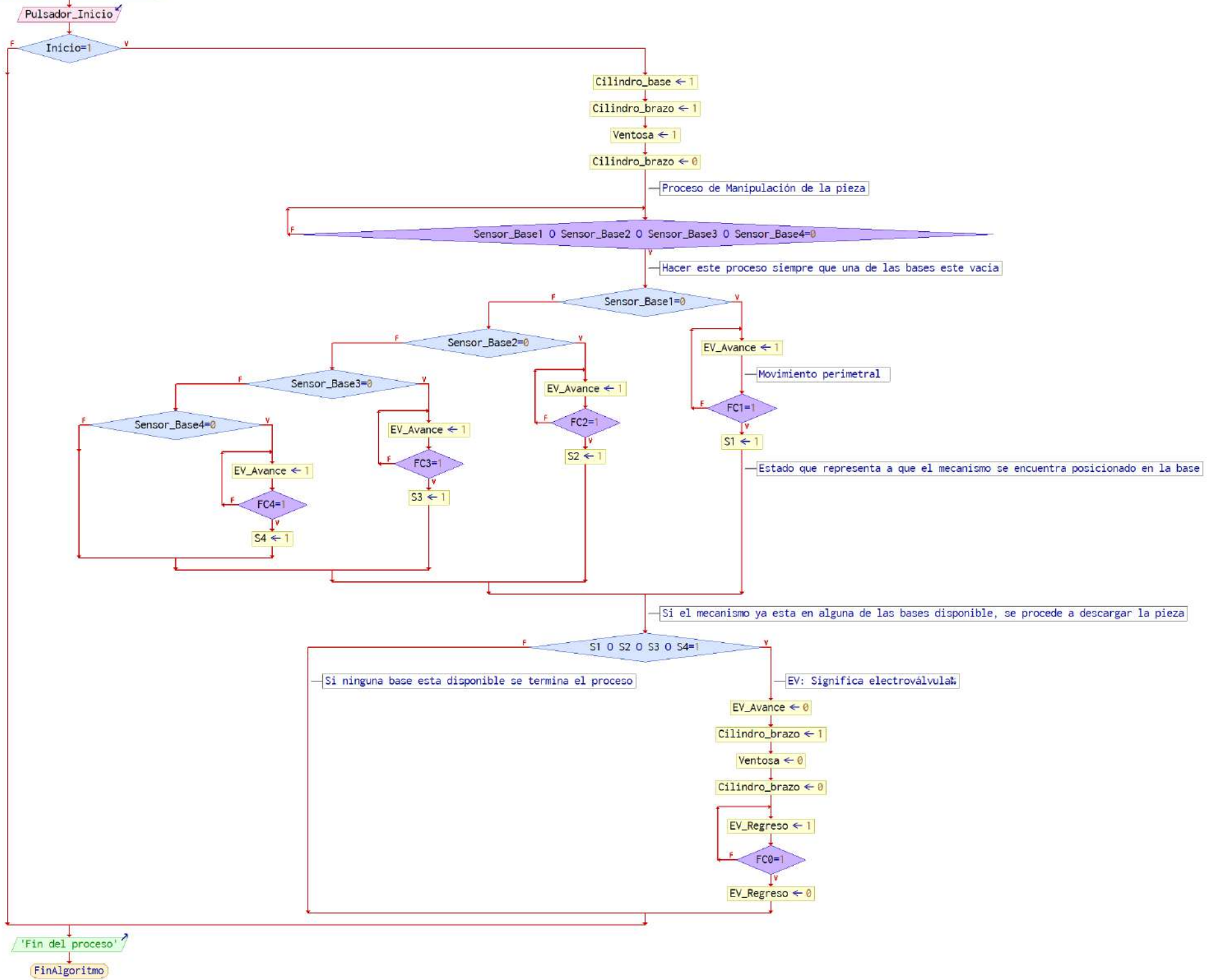
[Retorno diseño circuito electro-neumático](#)

i

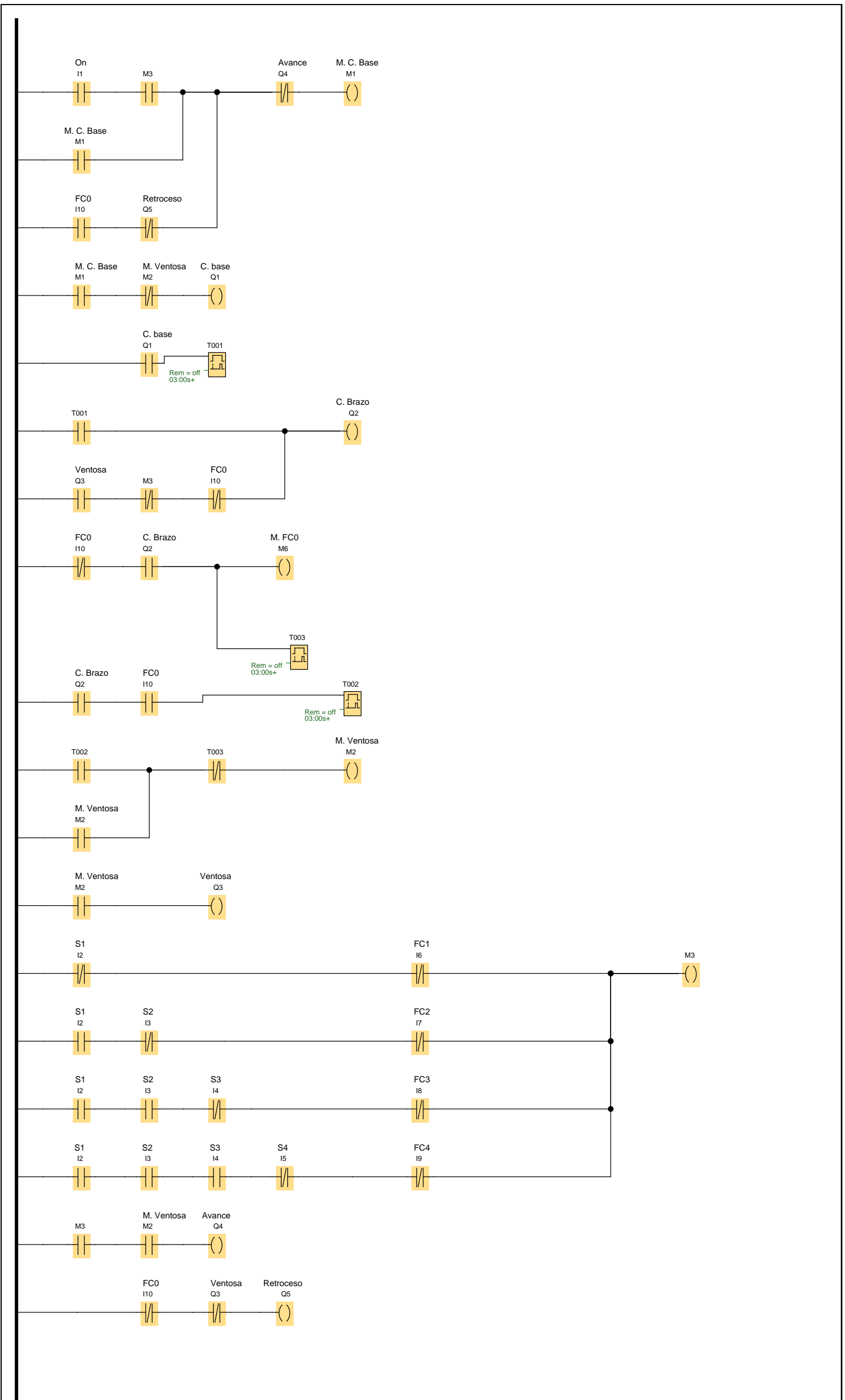
---



Algoritmo Grúa\_Electroneumática







Autor:	Diana Cuchimba	UAN	Proyecto:	Banco didactico electroneumatico	Cliente:	Programación PLC
Comprobado:			Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	20/09/20 16:29/30/10/20 23:33		archivo:	Grua UAN.Ild	Página:	1 / 6

# PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

```
// SECUENCIA BANCO DIDACTICO ELECTRONEUMATICO
// |Q1+|Q2+|Q3+| (Q1Q2)- |Q4+|Q4-|Q2+|Q3-|Q2-|Q7+|Q7-|

int FC1= 4; //FINAL DE CARRERA BASE 1
int FC2= 3; // FINAL DE CARRERA BASE 2
int FC3= 2; // FINAL DE CARRERA BASE 3
int FC4= 1; // FINAL DE CARRERA BASE 4
int FC5=0; // FINAL DE CARRERA BASE PRINCIPAL
int S1= 8; // SENSOR IR BASE 1
int S2= 7; // SENSOR IR BASE 2
int S3= 6; // SENSOR IR BASE 3
int S4= 5; // SENSOR IR BASE 4
int C_BASE= 9; // CILINDRO BASE
int C_BRAZO= 10; //CILINDRO BRAZO
int VENTOSA= 11; // VENTOSA
int AVANCE= 12; // AVANCE
int RETORNO=13; // RETROCESO
int mision_cumplida = 0; //Esto lo puedes borrar despues
//Estados

int s0 = 0; //Estado que representa home
int s1 = 0; //Estado que representa el motor moviendose hacia la tapita
int s2 = 0; //Estado cuando el motor encontro la tapita
int s3 = 0; //Estado que representa volviendo a home
int subS0 = 1;

void setup() {
for (int pin = 0; pin <= 8; pin++) // SE DECLARA DEL PIN 2 AL 10 COMO
ENTRADA
{
pinMode(pin, INPUT);
}
for (int pin = 9; pin <= 13; pin++) // SE DECLARA DEL PIN 11 AL 15 COMO
SALIDA
{
pinMode(pin, OUTPUT);
}
}

void loop() {

if(subS0 == 1 ){
mision_cumplida = 0;
delay(1000);
digitalWrite(C_BASE,HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(C_BRAZO,HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(VENTOSA,HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(C_BASE,LOW);
delay(3000);
digitalWrite(C_BRAZO,LOW);
delay(3000);
}
```

```

    subS0 = 0;
    s0 = 1;

}

//Suponiendo que el home es la cosa azul con blanco el codigo queda:

//Condiciones o estados

if((digitalRead(S1)== LOW || digitalRead(S2)== LOW || digitalRead(S3)==
LOW || digitalRead(S4)== LOW)  && s0 == 1 ){ //Hay un hueco esperando a
serr llenado!!
    s0 = 0;
    s1 = 1;

}

if(s1 == 1 && digitalRead(FC1)== HIGH && digitalRead(S1)== LOW){
//Encontramos un hueco en s1!!!
    s1 = 0;
    s2 = 1;
}

if(s1 == 1 && digitalRead(FC2)== HIGH && digitalRead(S2)== LOW){
//Encontramos un hueco en s2!!!
    s1 = 0;
    s2 = 1;
}

if(s1 == 1 && digitalRead(FC3)== HIGH && digitalRead(S3)== LOW){
//Encontramos un hueco en s3!!!
    s1 = 0;
    s2 = 1;
}

if(s1 == 1 && digitalRead(FC4)== HIGH && digitalRead(S4)== LOW){
//Encontramos un hueco en s4!!!
    s1 = 0;
    s2 = 1;
}

//Salto de s2 a s3
if(s2 == 1 && mision_cumplida == 1){
    s2 = 0;
    s3 = 1;
}

if(s3 == 1 && digitalRead(FC5) == 1){
    s3 = 0;
    subS0 = 1;
}

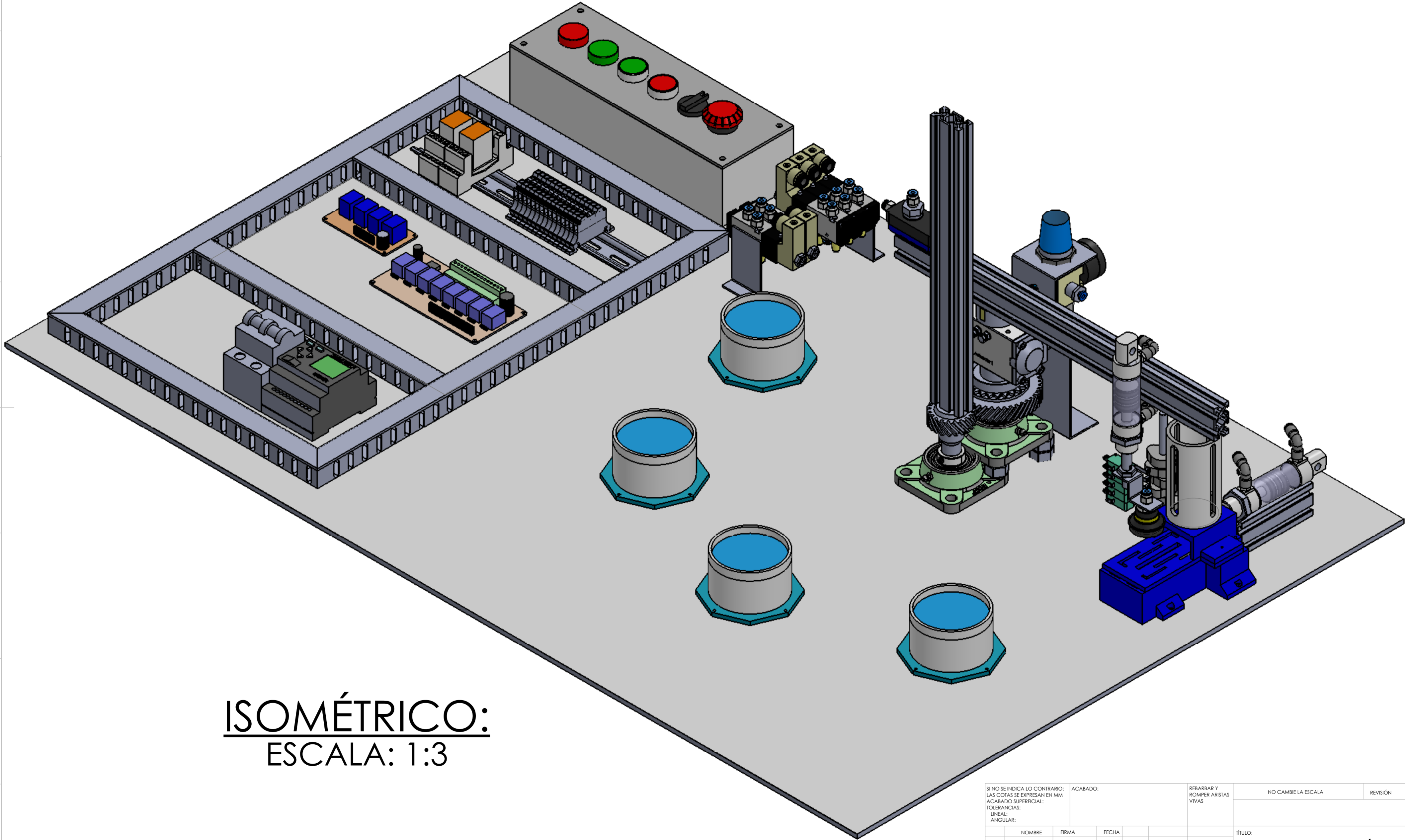
//Salidas

if(subS0 == 1){
    digitalWrite(RETORNO, LOW);
}

```

```
}  
  
if(s0 == 1){  
    digitalWrite(AVANCE,LOW);  
    digitalWrite(RETORNO,LOW);  
  
}  
  
if(s1 == 1){  
    digitalWrite(AVANCE,HIGH);  
}  
  
if(s2 == 1){  
    digitalWrite(AVANCE,LOW);  
    delay(2000);  
    digitalWrite(C_BRAZO,HIGH);  
    delay(3000);  
    digitalWrite(VENTOSA,LOW);  
    delay(3000);  
    digitalWrite(C_BRAZO,LOW);  
    delay(3000);  
    mision_cumplida = 1;  
}  
  
if(s3 == 1){  
    digitalWrite(RETORNO,HIGH);  
}  
  
}
```

# Banco Didáctico Electroneumático

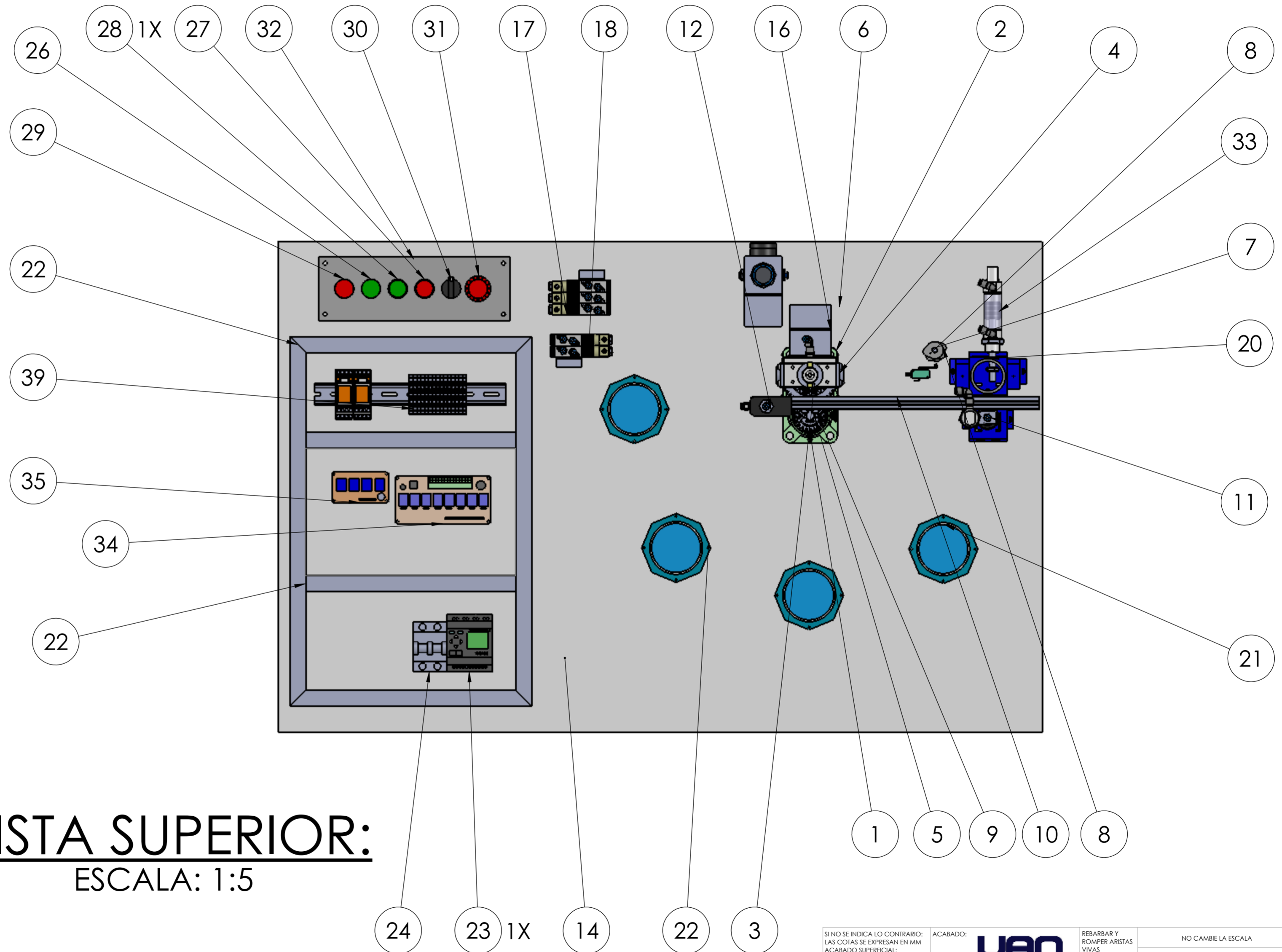


**ISOMÉTRICO:**  
**ESCALA: 1:3**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:		FECHA		MATERIAL:		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO	
TOLERANCIAS:		FIRMA		PESO:		VISTA ISOMÉTRICA		BANCO DIDACTICO	
LINEAL:		DIBUJ.				ESCALA: 1:3		A2	
ANGULAR:		VERIF.				HOJA 1 DE 10			
		APROB.							
		FABR.							
		CALID.							

# Banco Didáctico Electroneumático

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	SOPORTE FY_3_4_TF	2
2	Tuerca de soporte	6
3	Eje principal	1
4	Engranaje conductor 180°	1
5	Engranaje conducido 180°	1
6	Actuador rotativo	1
7	Eje de levas	1
8	Leva	5
9	Perfil vertical	1
10	Perfil horizontal	1
11	Ensamble cilindro	1
12	Bamba y racores	1
13	Final de carrera	5
14	Base	1
15	Manómetro	1
16	Soporte actuador r.	1
17	Grupo de válvulas 1	1
18	Grupo de válvulas 2	1
19	Base principal	1
20	Tubo colector	1
21	Estacion de llegada	4
22	Canaleta 25x 25	1
23	PLC LOGO	1
24	Protector termomagnético	1
25	BASE 1	1
26	Piloto On	1
27	Pulsador Off	1
28	Pulsador On	1
29	Piloto Off	1
30	piloto - copia (2)	1
31	pulsador - copia (2)	1
32	Tablero de control	1
33	Cilindro base	1
34	Modulo de 8 reles	1
35	Modulos de 4 reles	1

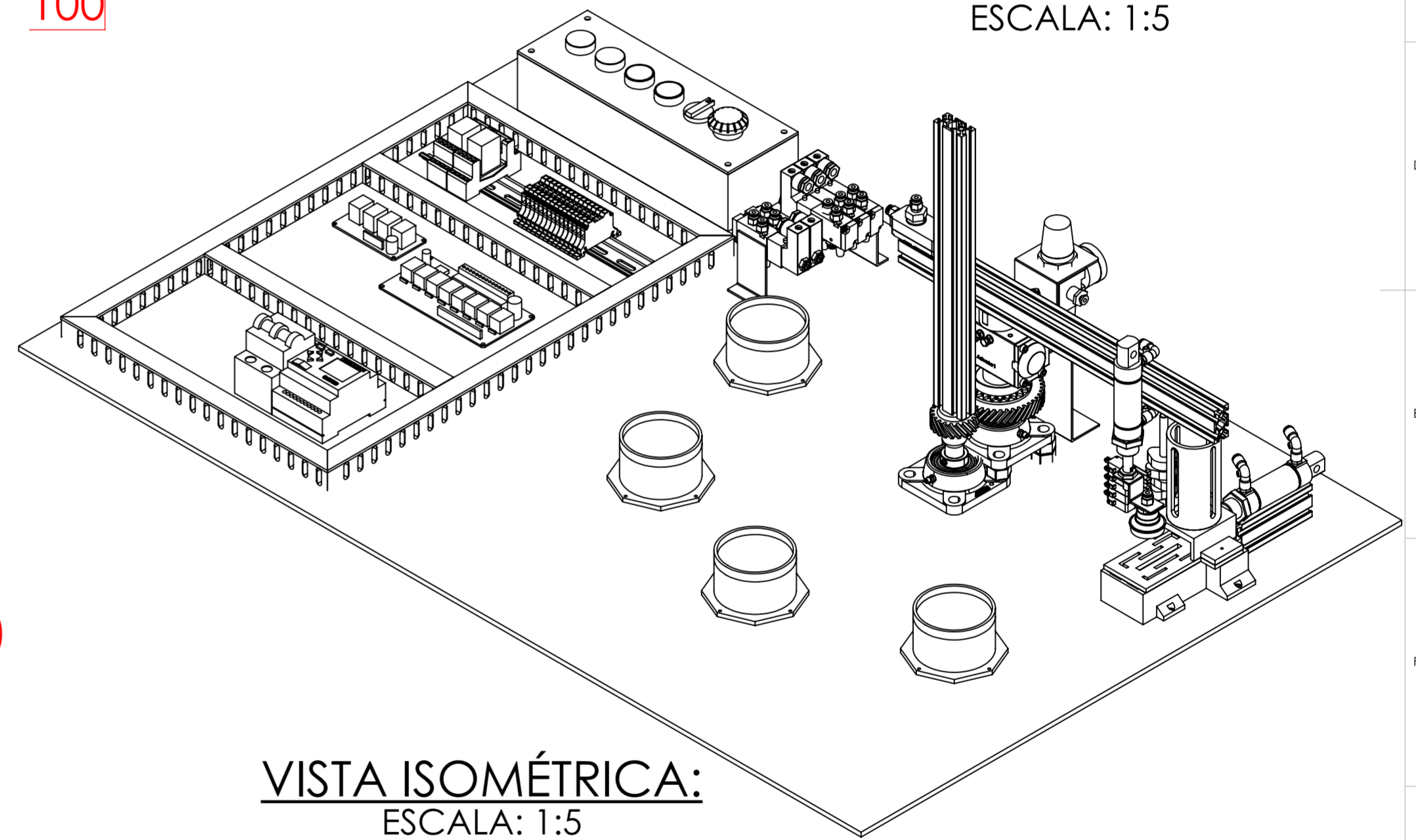
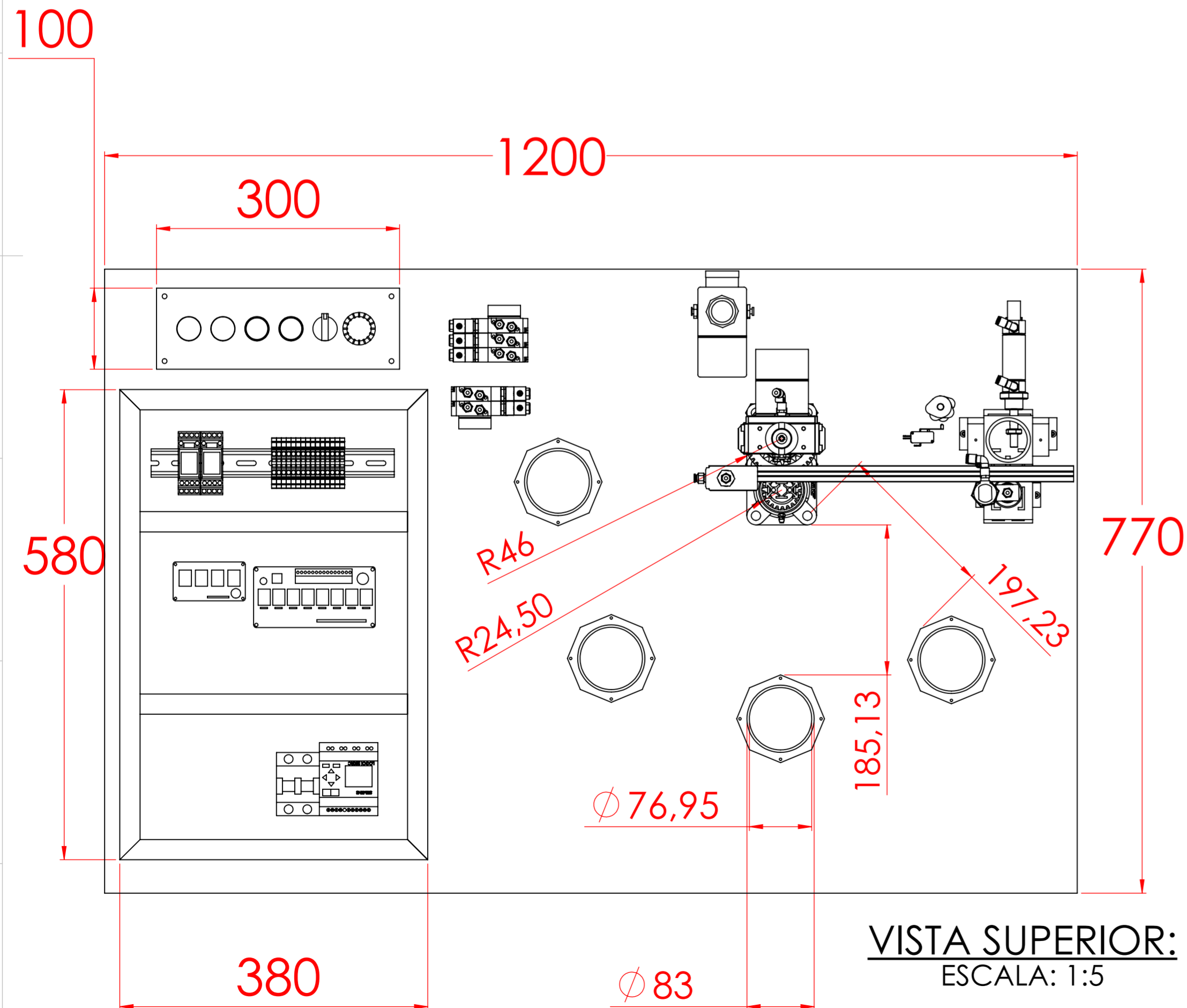
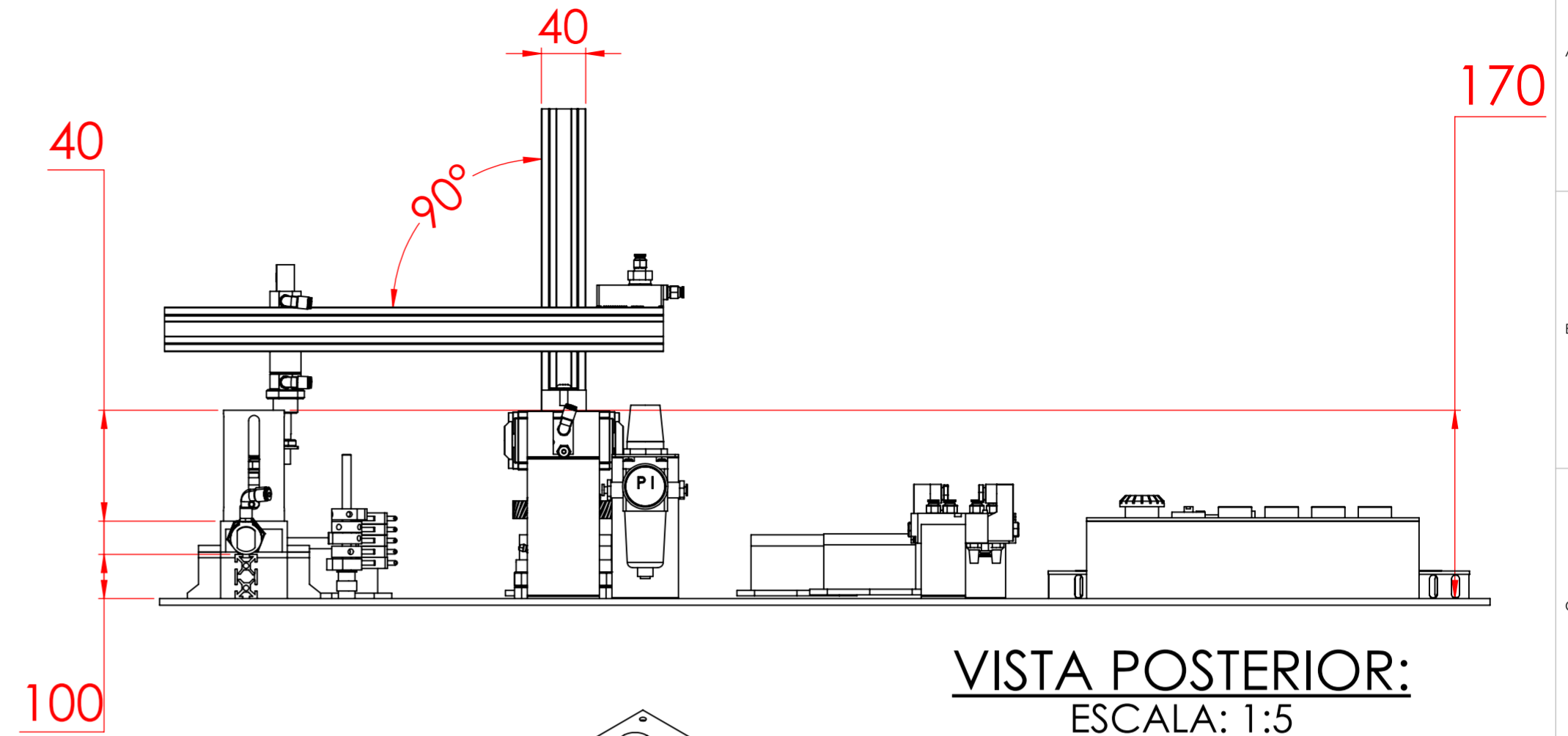
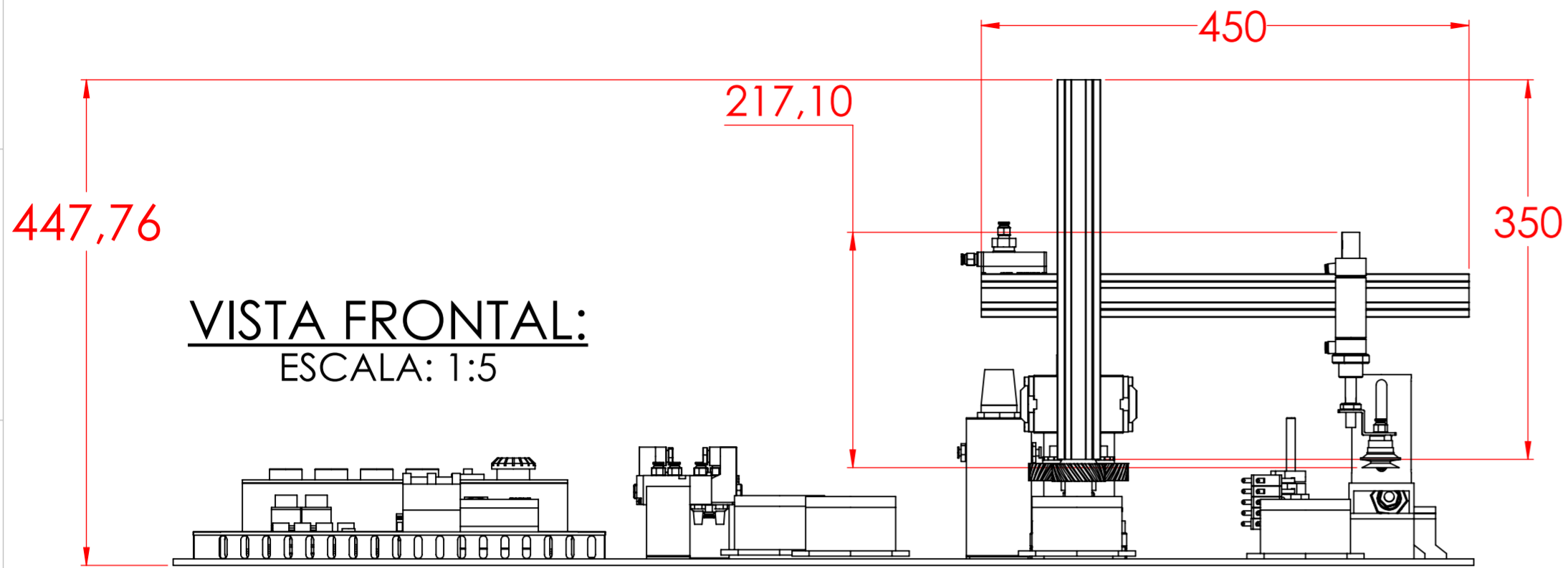


**VISTA SUPERIOR:**  
ESCALA: 1:5

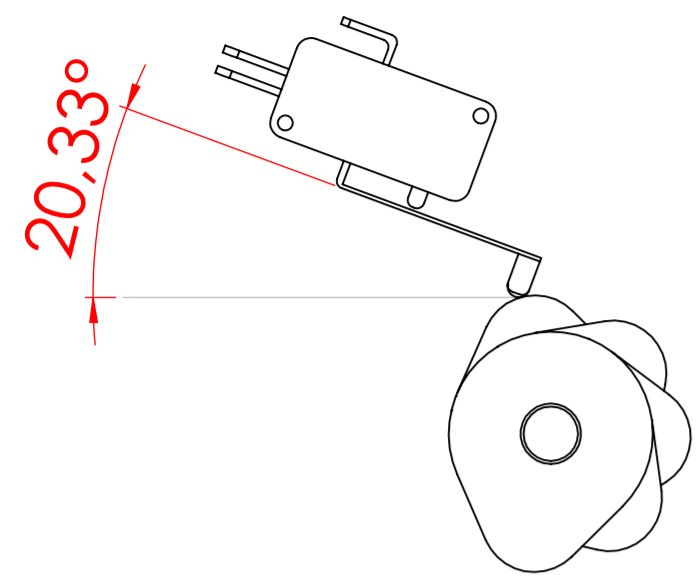
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE				FIRMA	FECHA	
DIBUJ.				TÍTULO: <b>PARTES DEL BANCO</b>		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:		
				N.º DE DIBUJO <b>Banco Didactico</b>		
				Unidades: milímetros mm		
				ESCALA: 1:5		
				HOJA 2 DE 10		



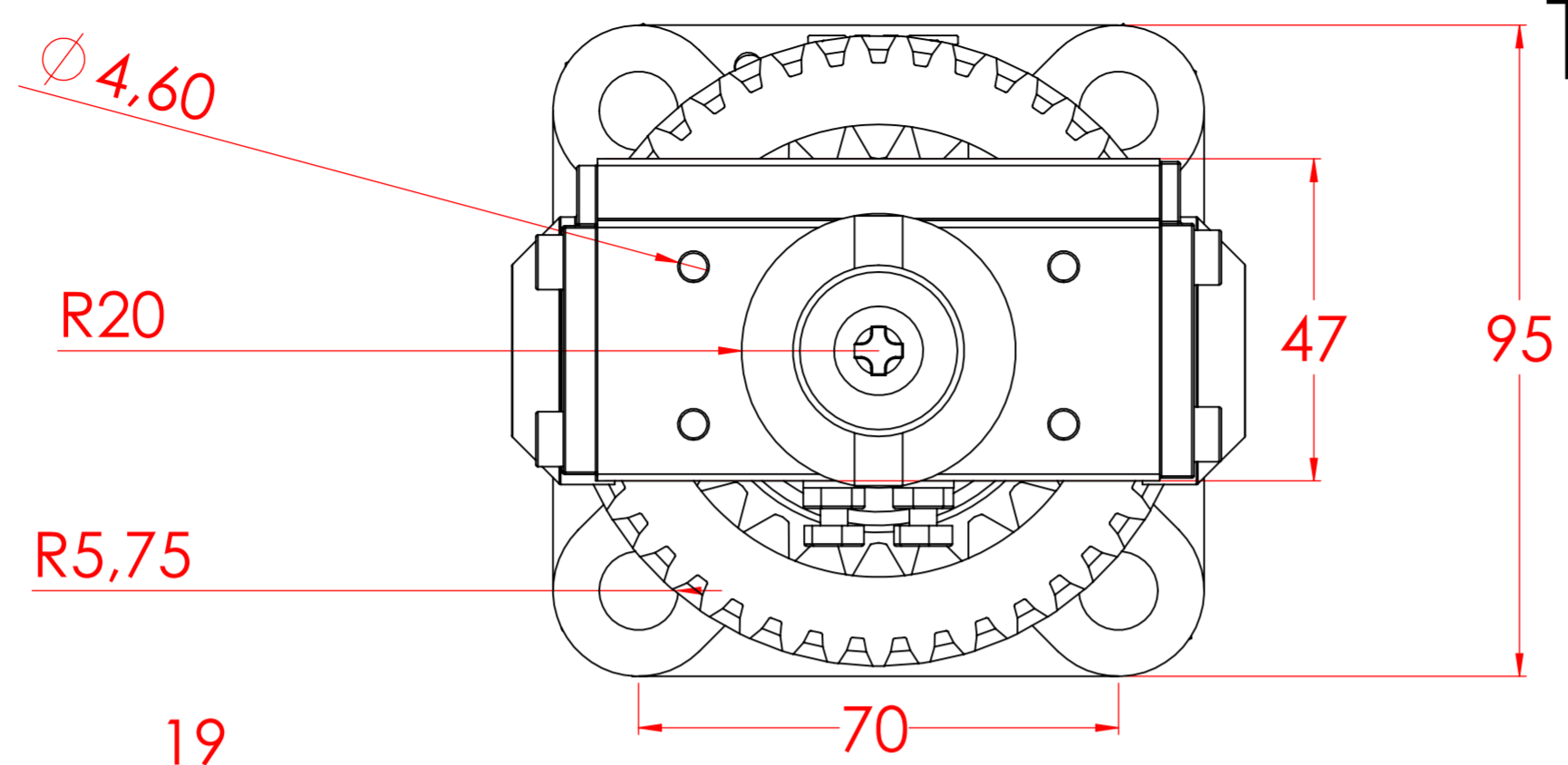
# Banco Didáctico Electro neumático



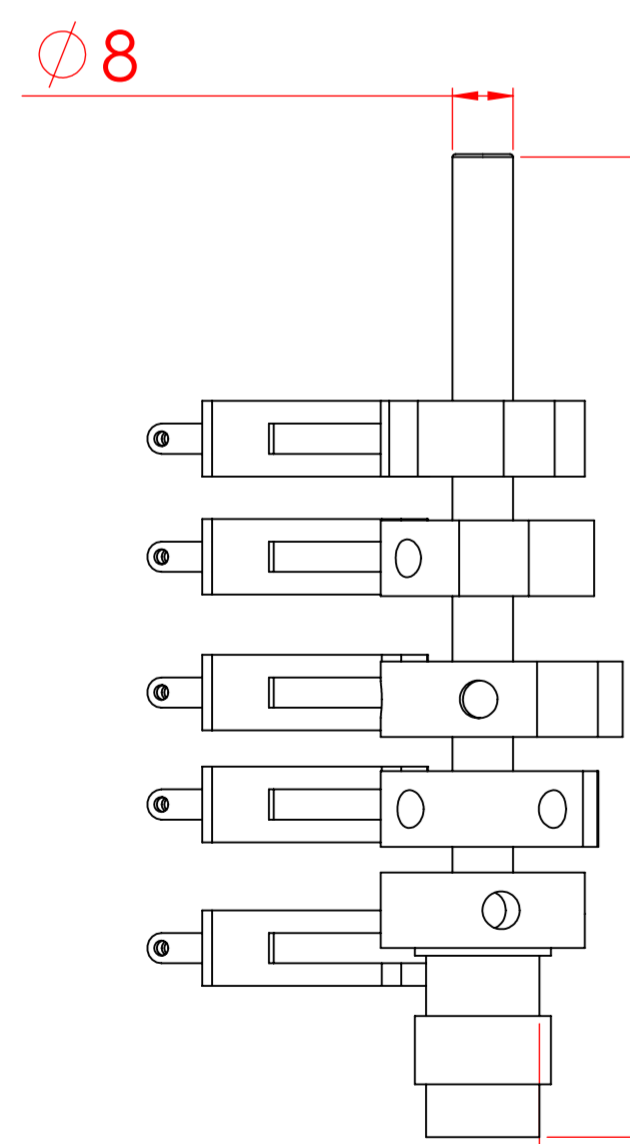
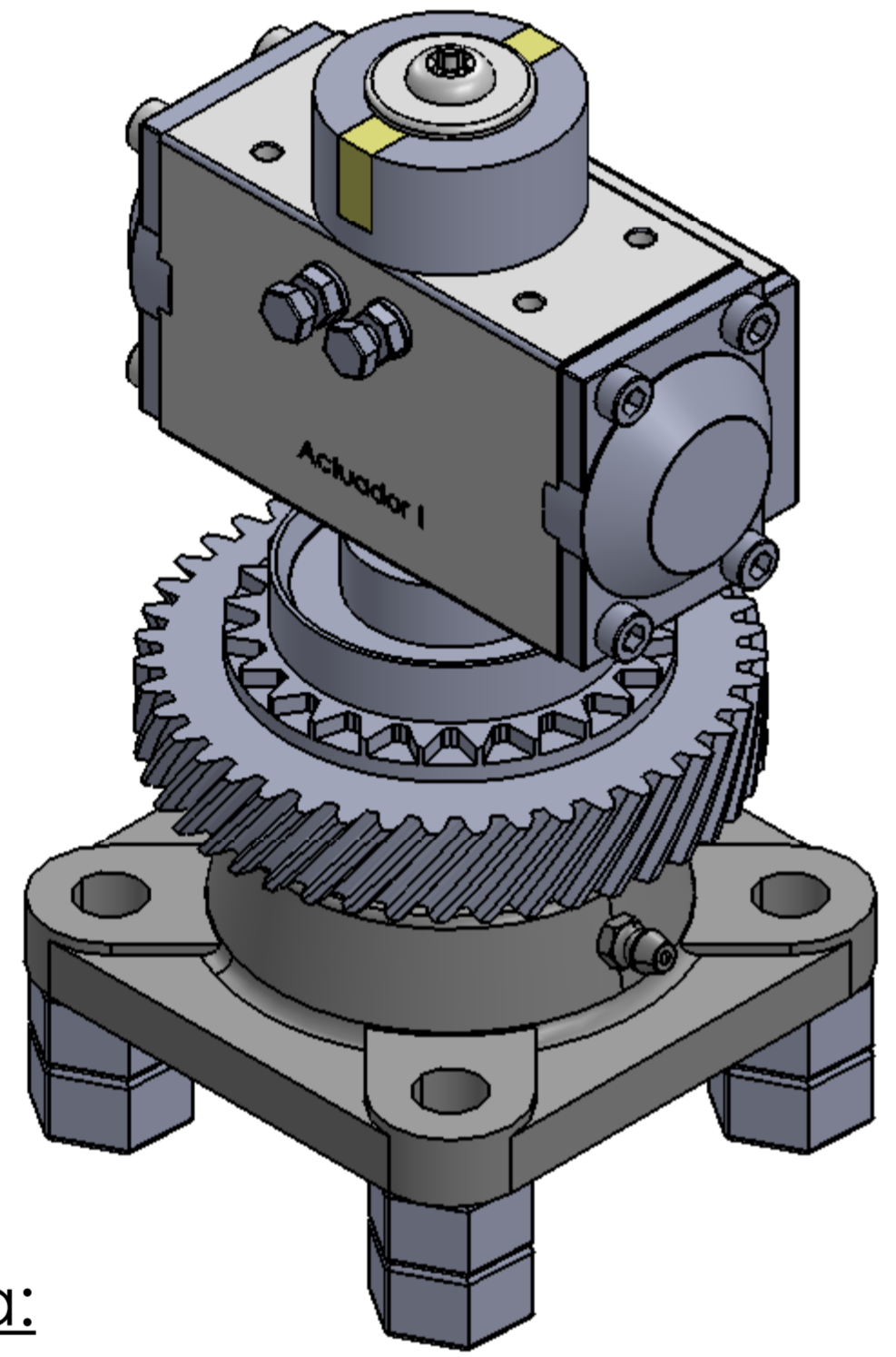
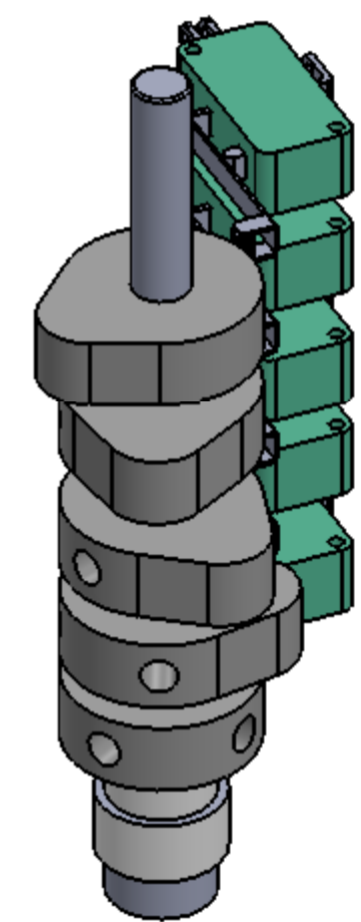
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>UAN</b> UNIVERSIDAD DE ANTONIO NARIÑO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.					<b>DIMENSIONES</b>	
APROB.						
FABR.					N.º DE DIBUJO	A2
CALID.				MATERIAL:	<b>Banco Didáctico</b>	
				Unidades: milímetros mm	ESCALA: 1:5	HOJA 3 DE 10



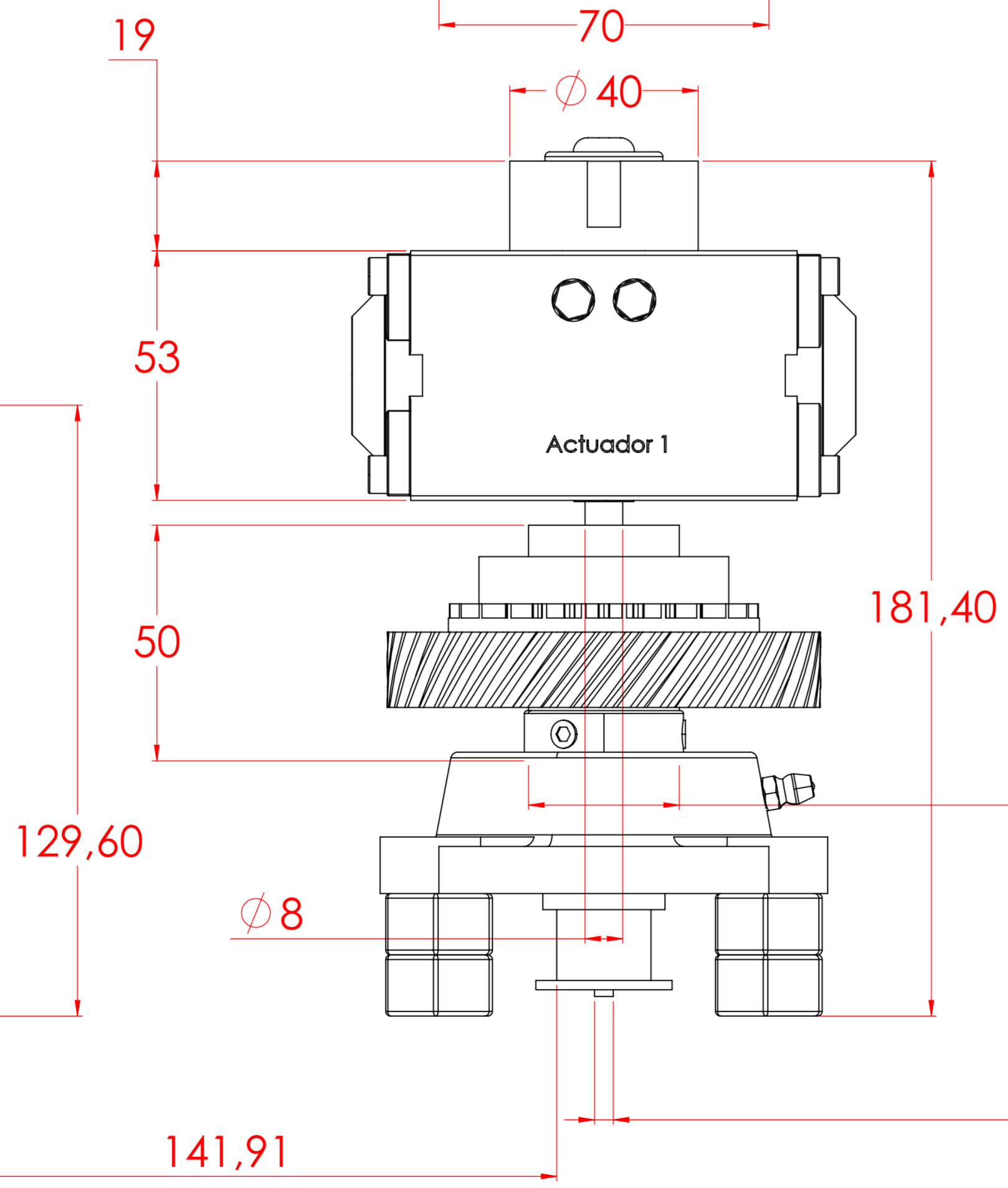
Vista Superior:  
Escala: 1:1



# Transmisión 1 y eje de levas



Vista Frontal:  
Escala: 1:1

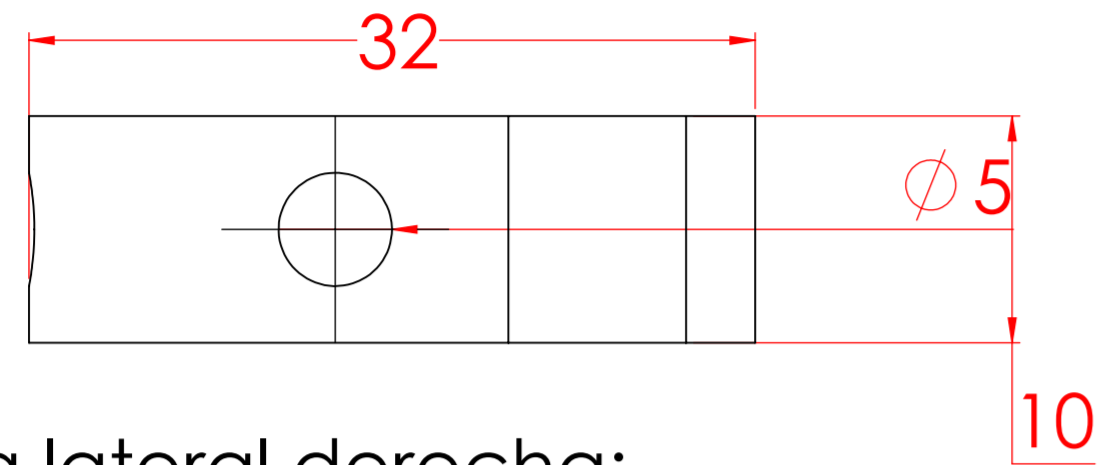


Vista Isométrica:  
Escala: 1:1

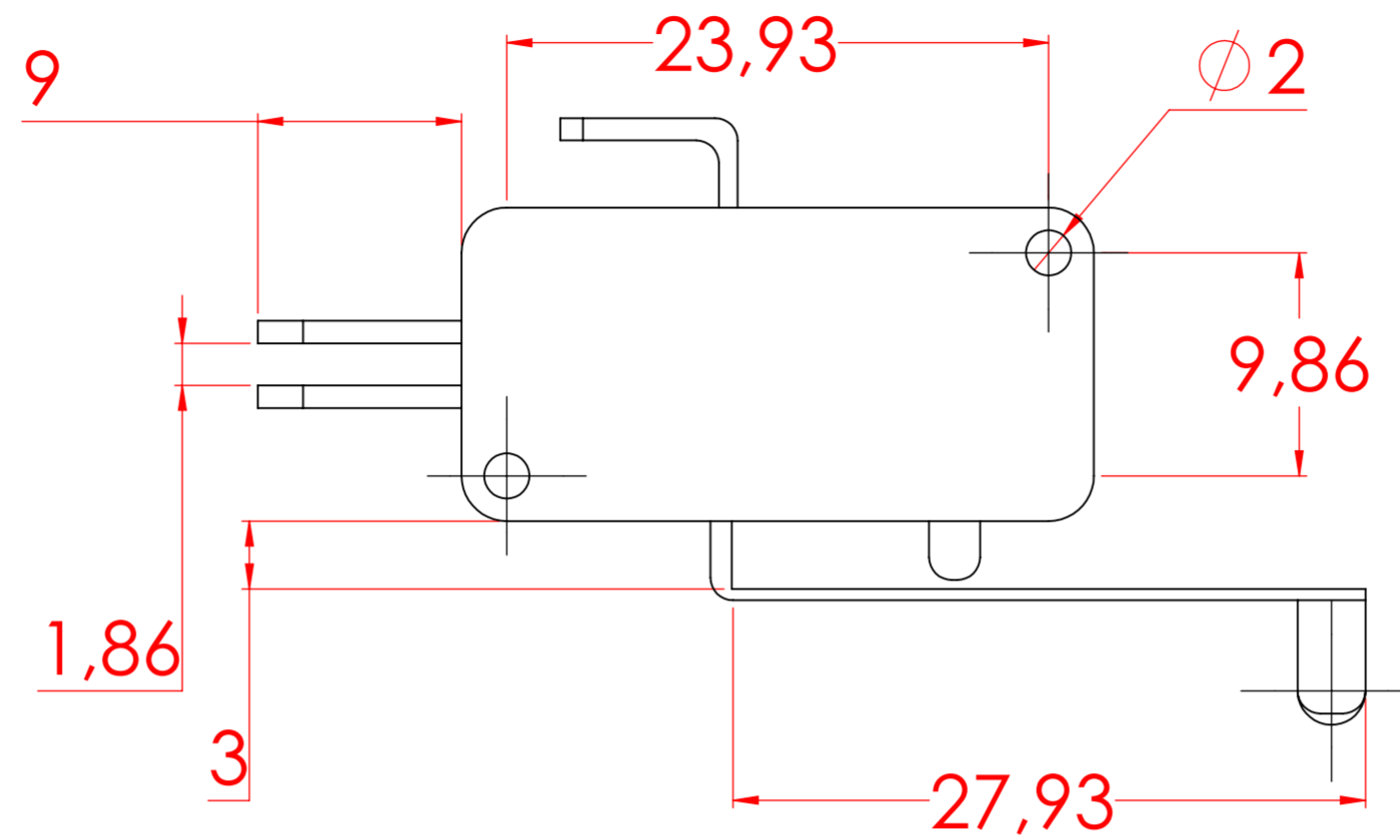
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: <b>UAN</b> ANTONIO URBANO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Transmisión 1 levas</b>	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	A2
APROB.				ESCALA:1:2	HOJA 4 DE 10
FABR.				PESO:	
CALID.					



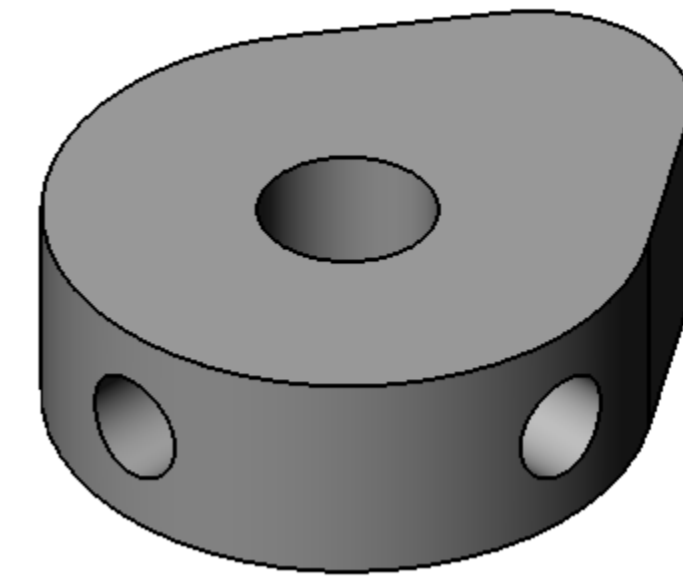
# Elementos del mecanismo leva seguidor



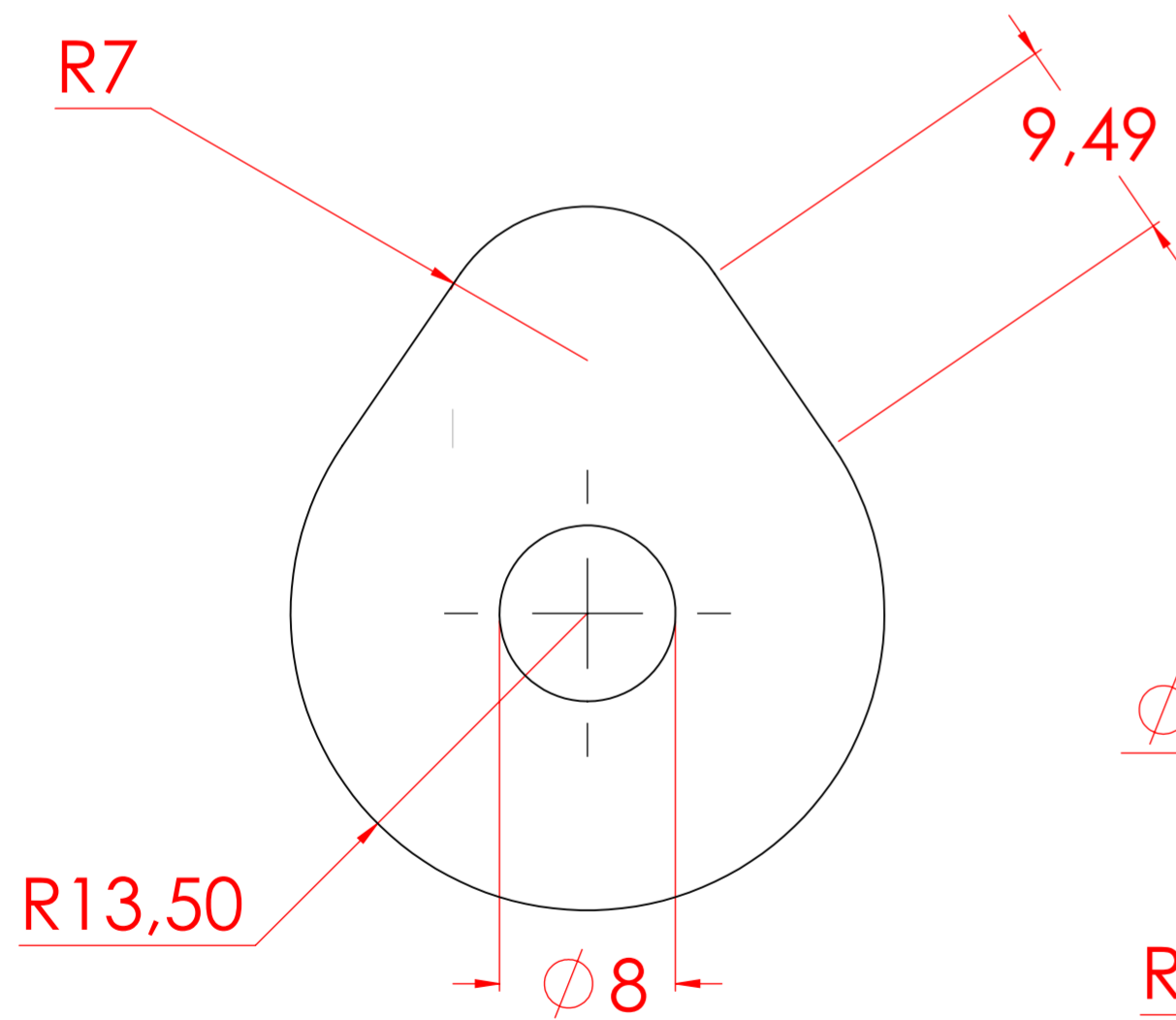
Vista lateral derecha:  
Escala: 3:1



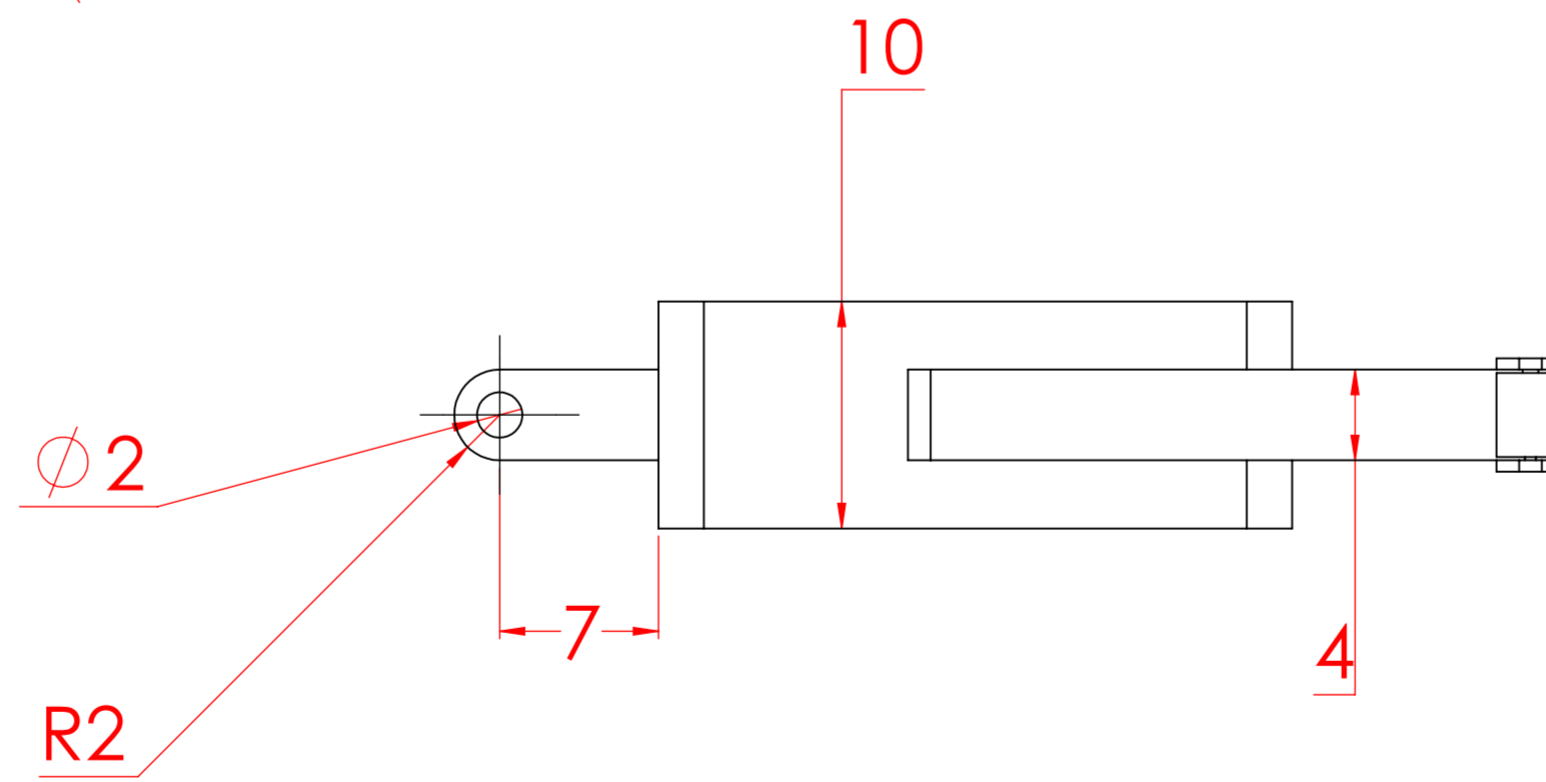
Vista Superior:  
Escala: 3:1



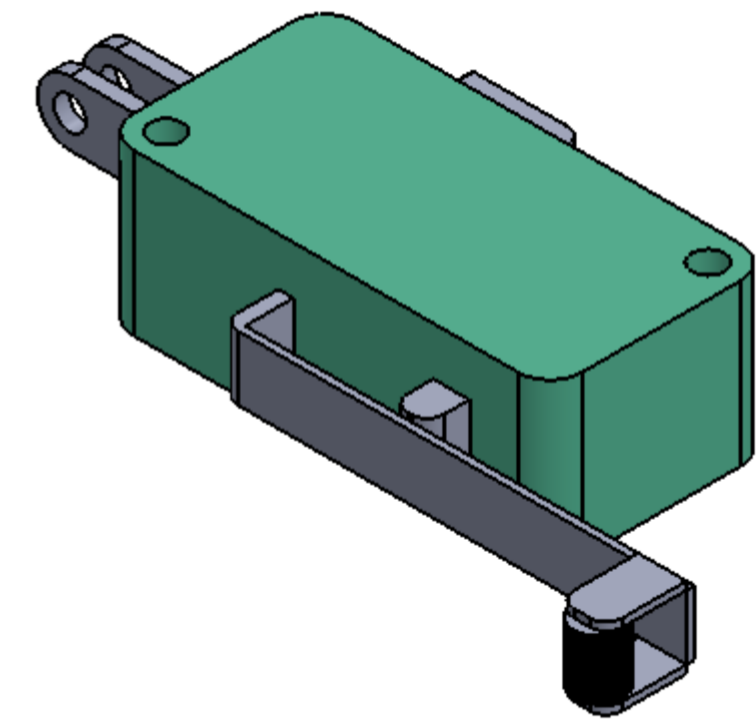
Vista Isométrica:  
Escala: 3:1



Vista Superior:  
Escala: 3:1



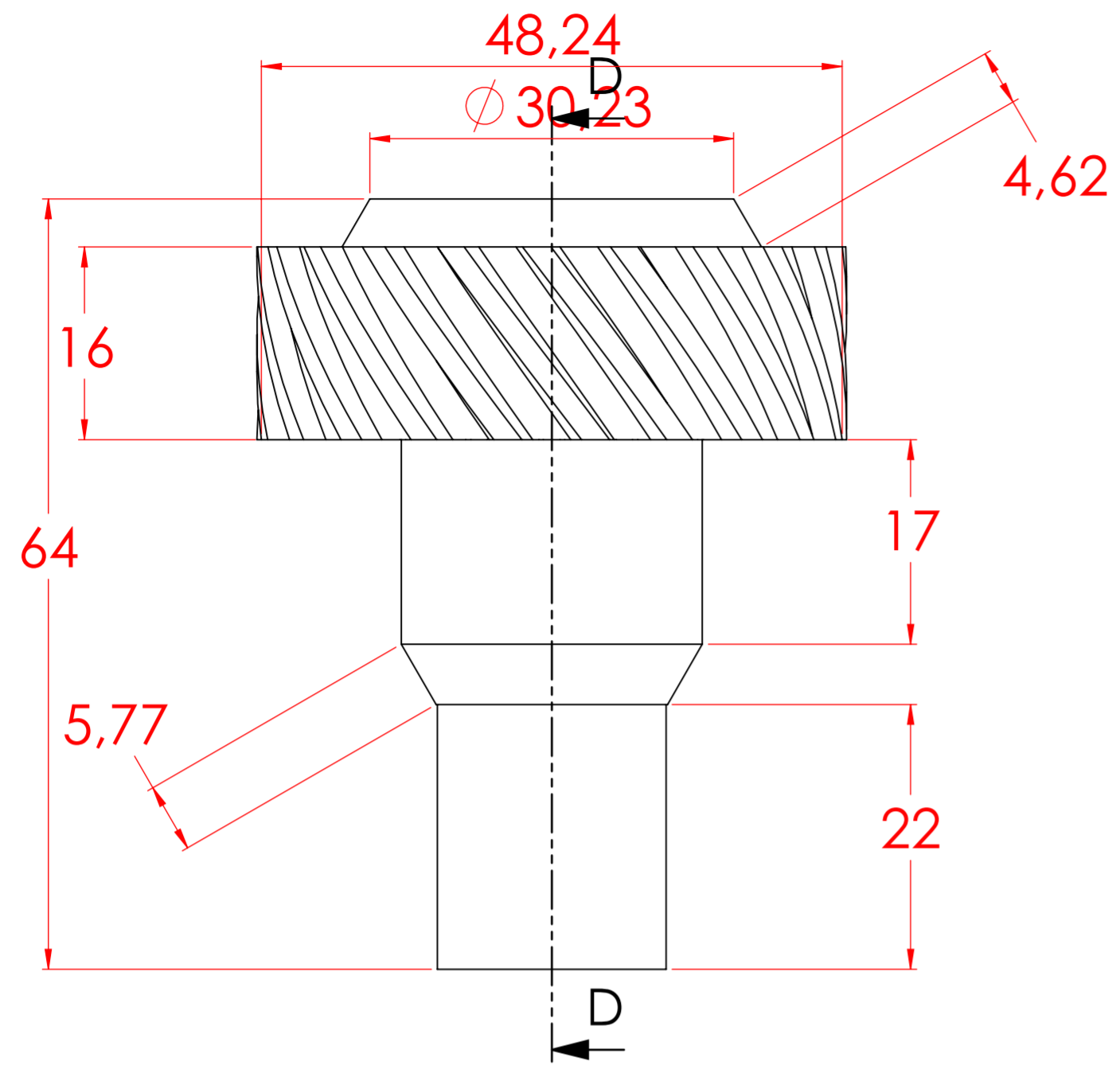
Vista Frontal:  
Escala: 3:1



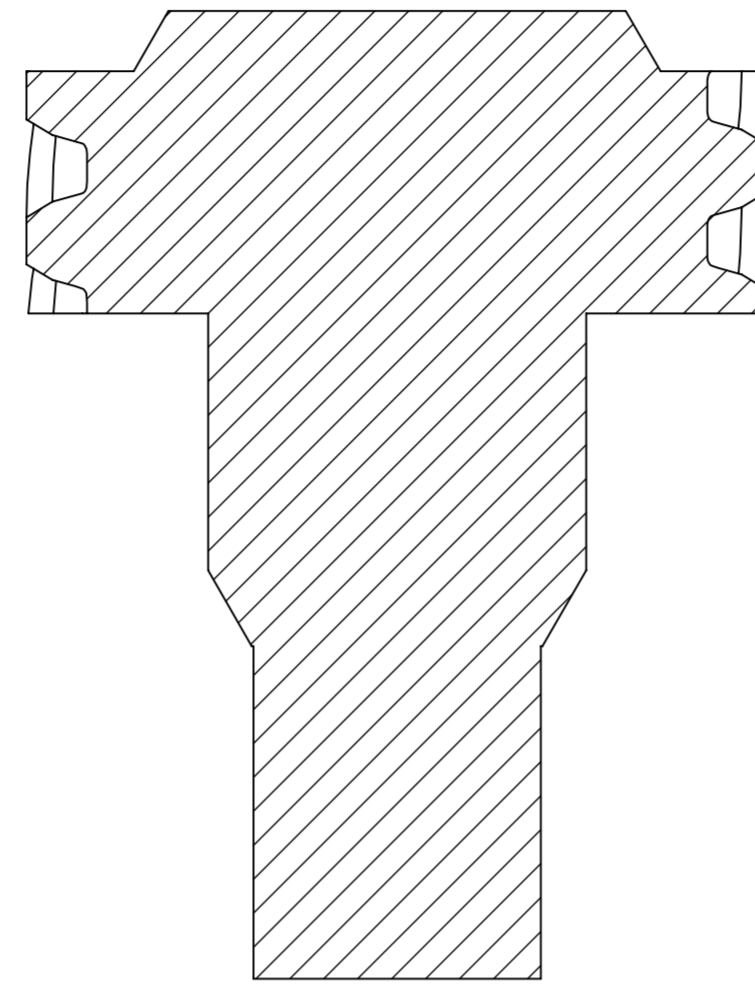
Vista Isométrica:  
Escala: 3:1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: <b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Leva seguidor</b>	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.	MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	A2
PESO:			ESCALA:1:2	HOJA 5 DE 10	

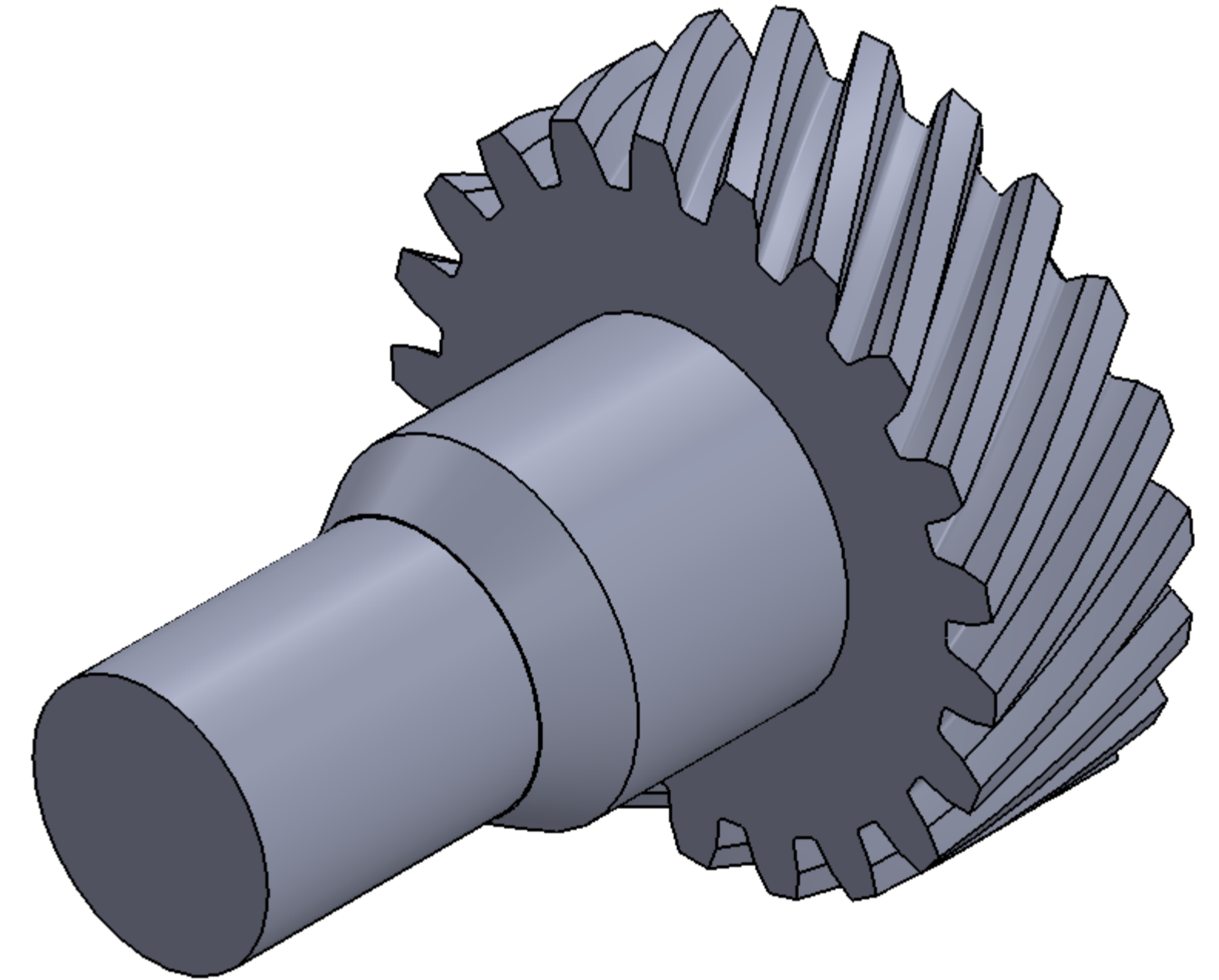
# Engranaje conducido



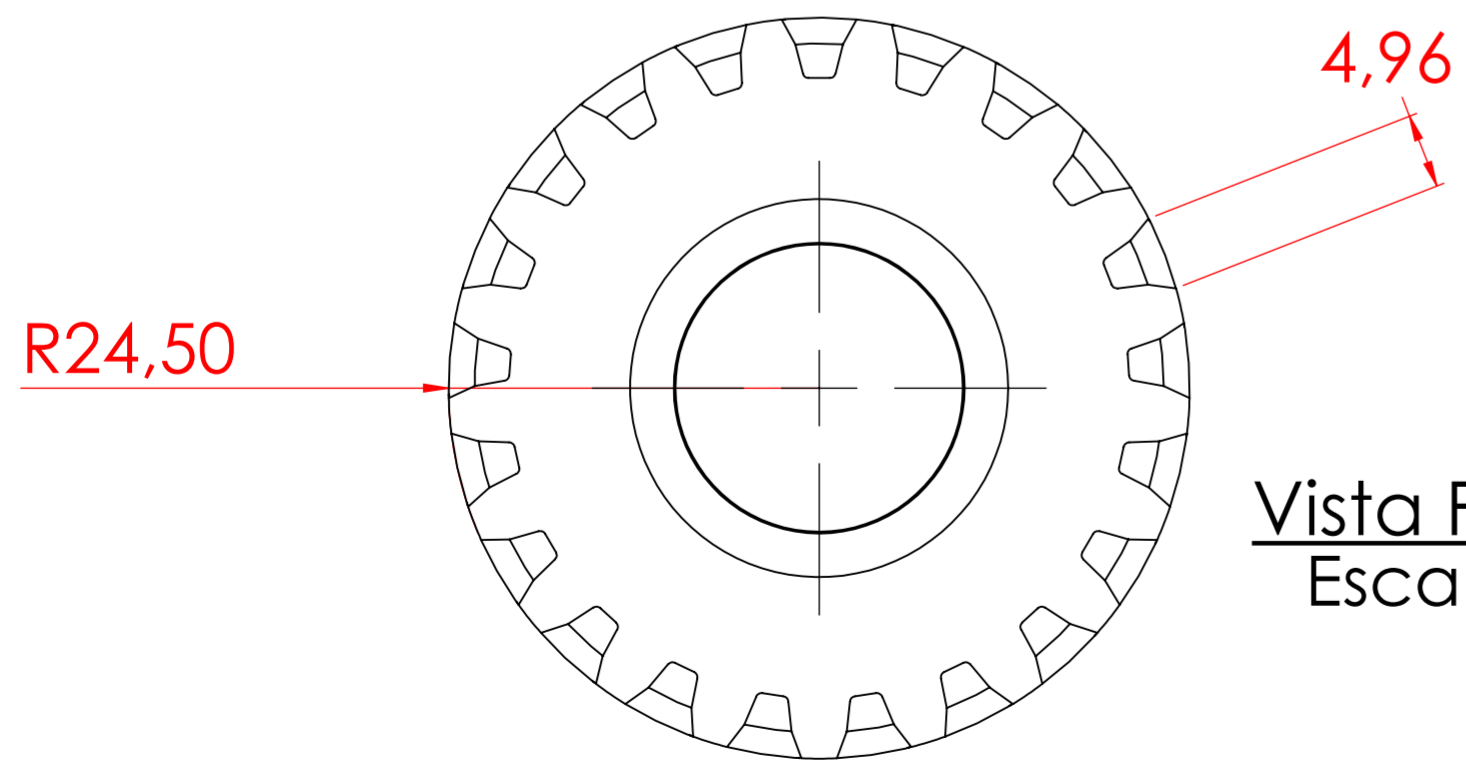
Vista Superior:  
Escala: 3:1



SECCIÓN D-D



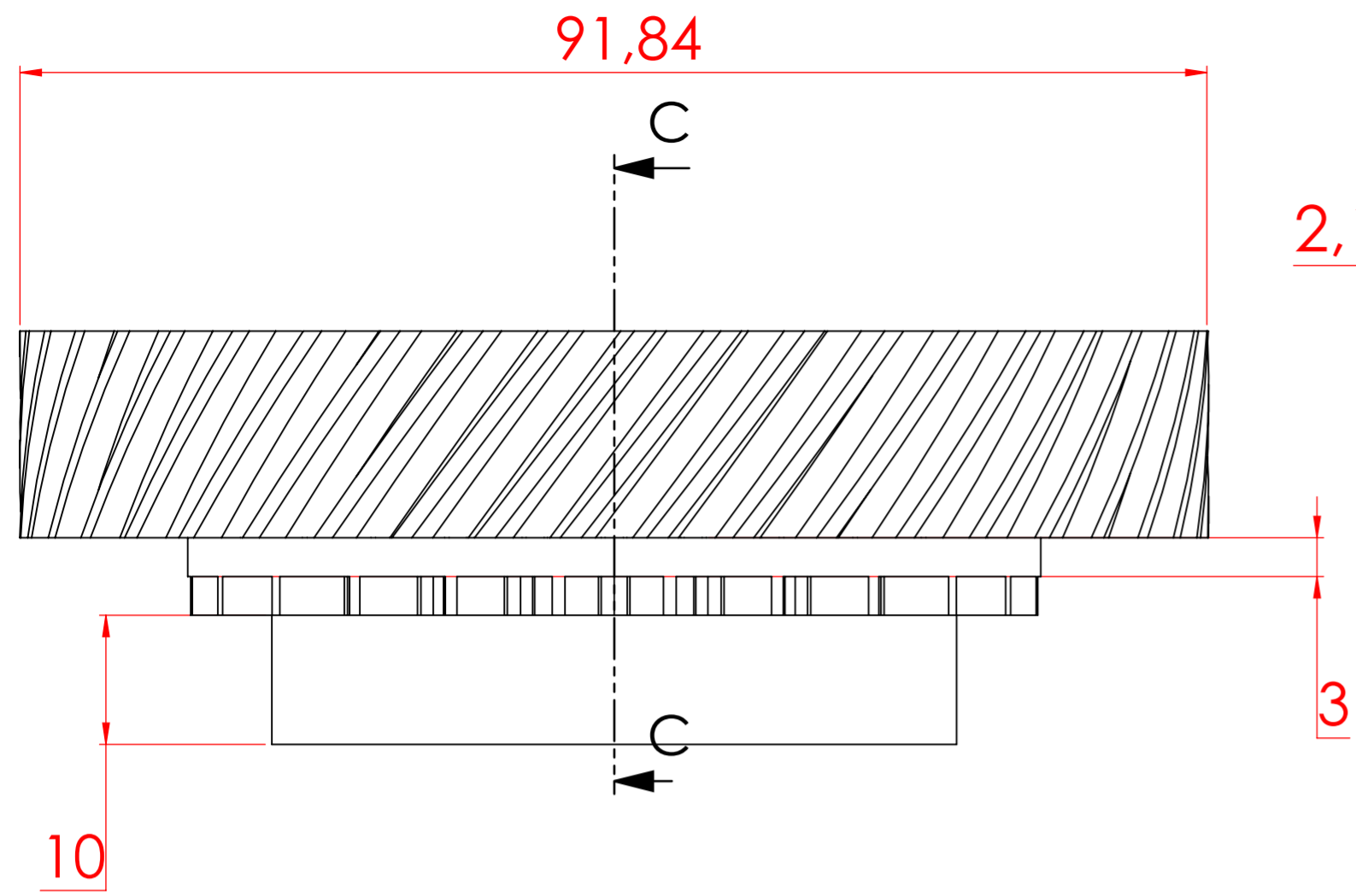
Vista Isométrica:  
Escala: 3:1



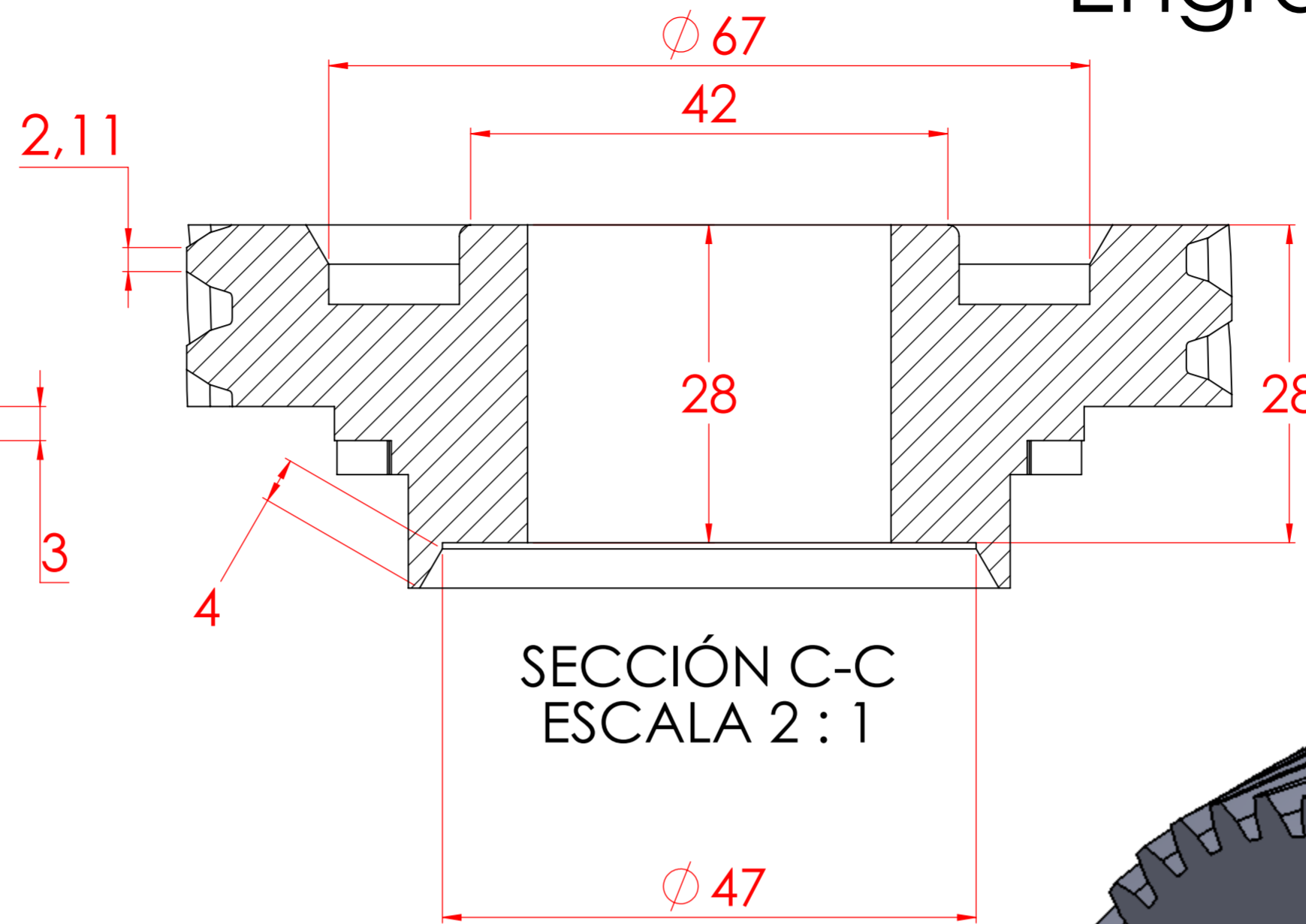
Vista Frontal:  
Escala: 3:1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: <b>UAN</b> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Engranaje conducido	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				A2	
FABR.				ESCALA: 2:1	
CALID.				HOJA 6 DE 10	
			PESO:		

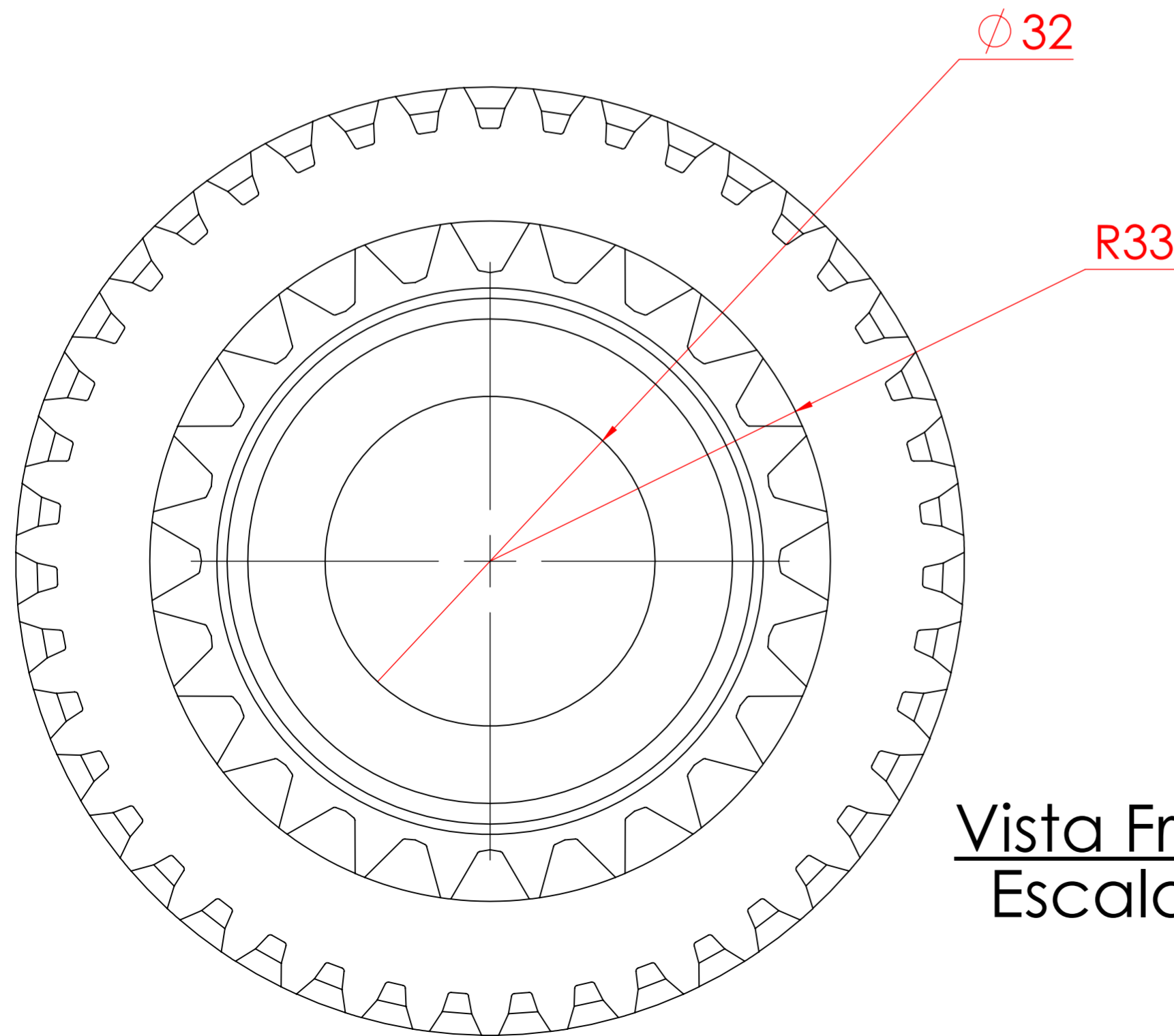
# Engranaje conductor



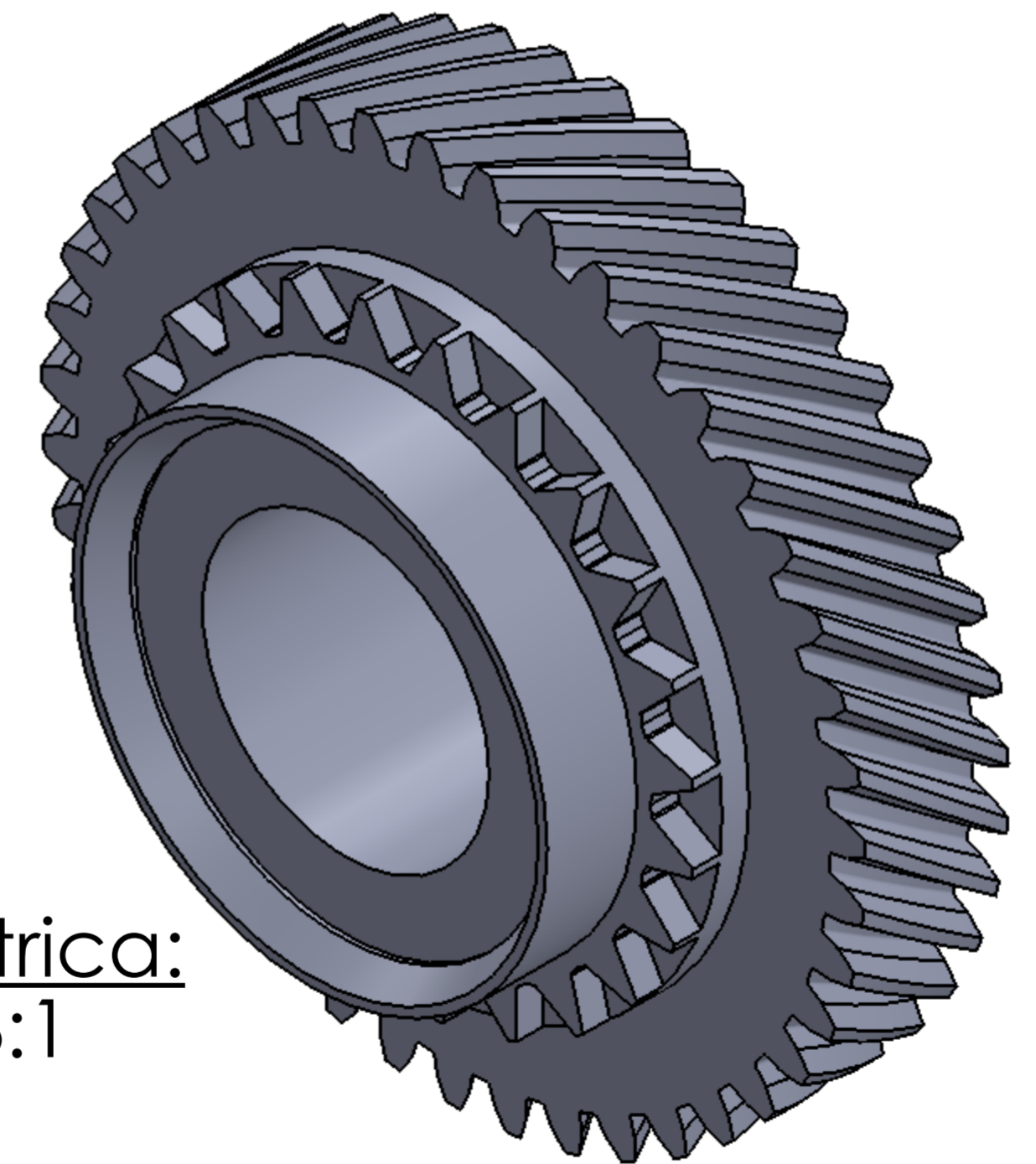
Vista Superior:  
Escala: 2:1



SECCIÓN C-C  
ESCALA 2:1



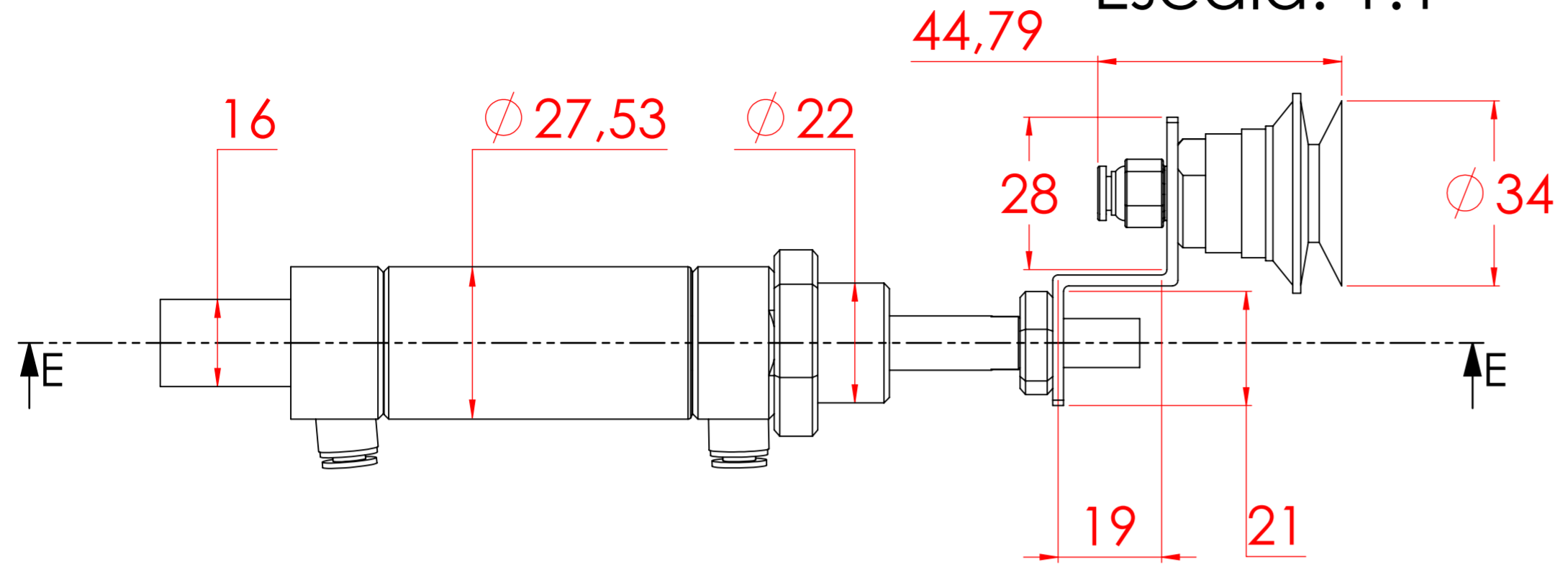
Vista Frontal:  
Escala: 2:1



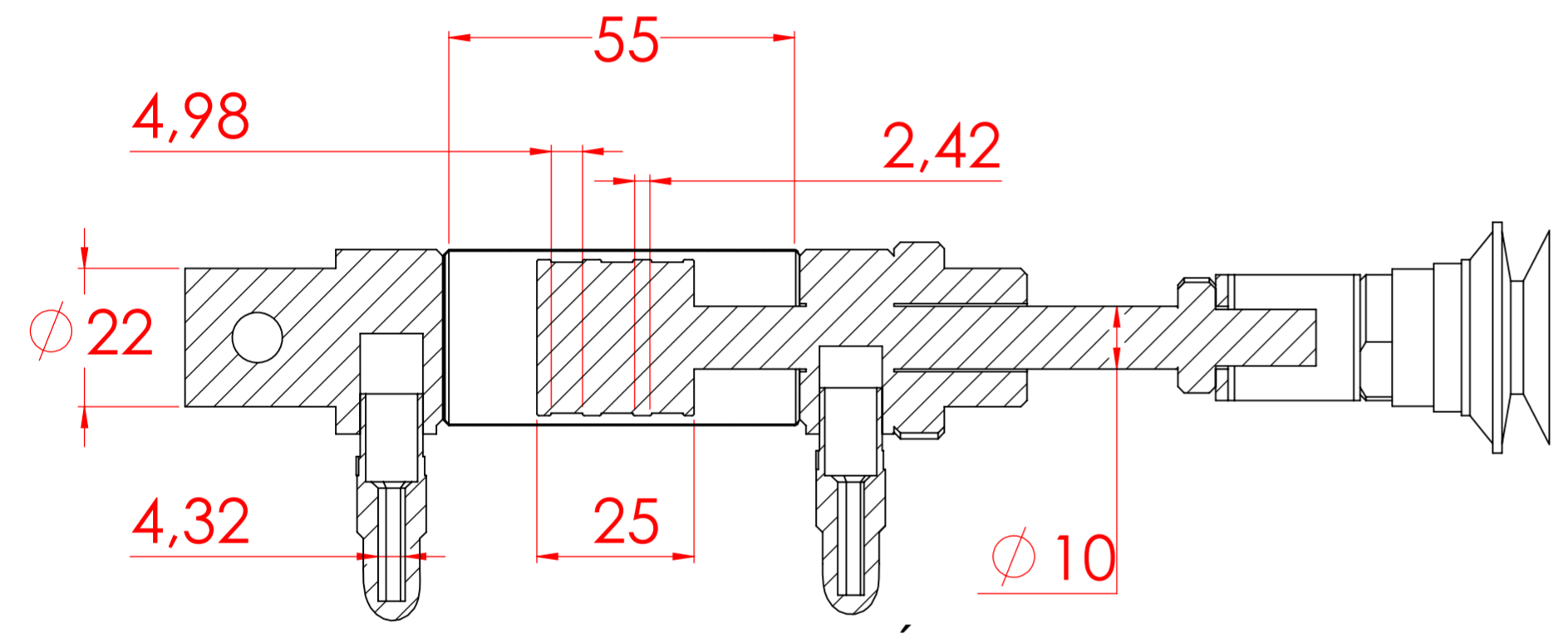
Vista Isométrica:  
Escala: 3:1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>UAN</b> ANTONIO NARINO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Engranaje conductor		
VERIF.				N.º DE DIBUJO		
APROB.				ESCALA:1:1		
FABR.				HOJA 7 DE 10		
CALID.				A2		
PESO:						

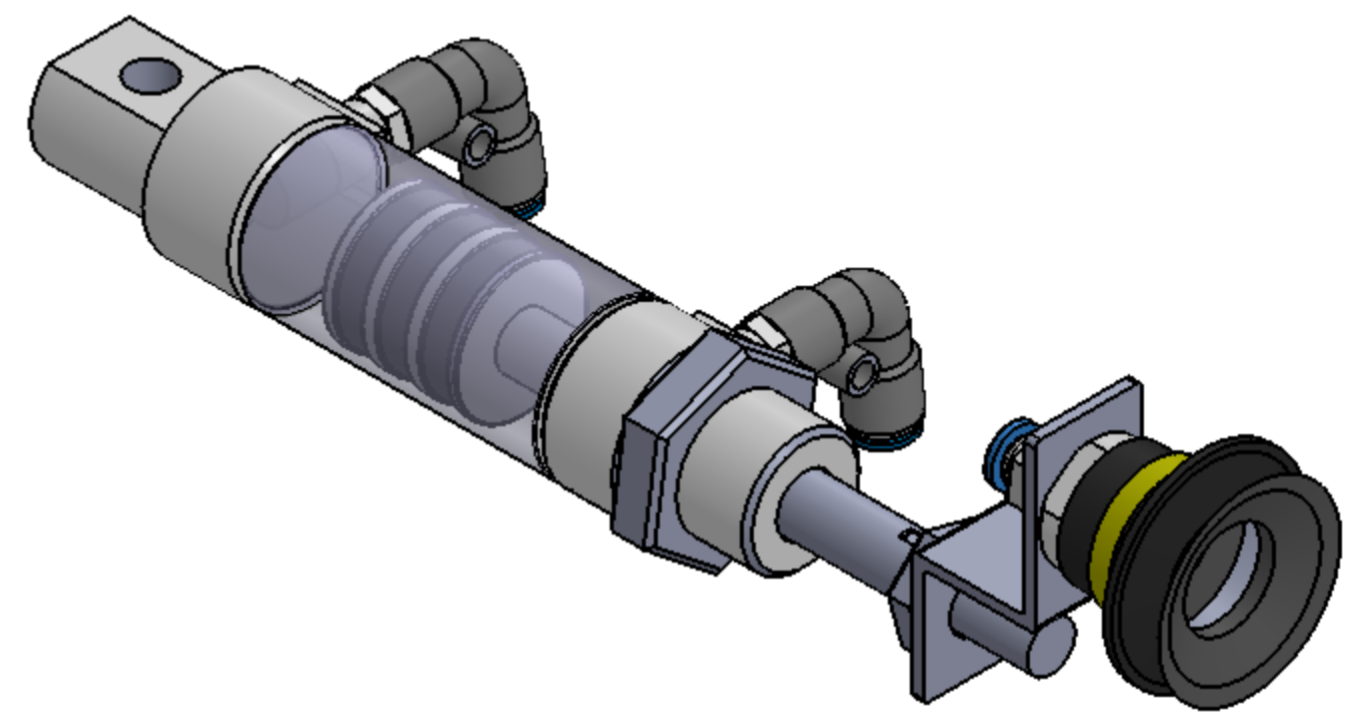
Vista Frontal:  
Escala: 1:1



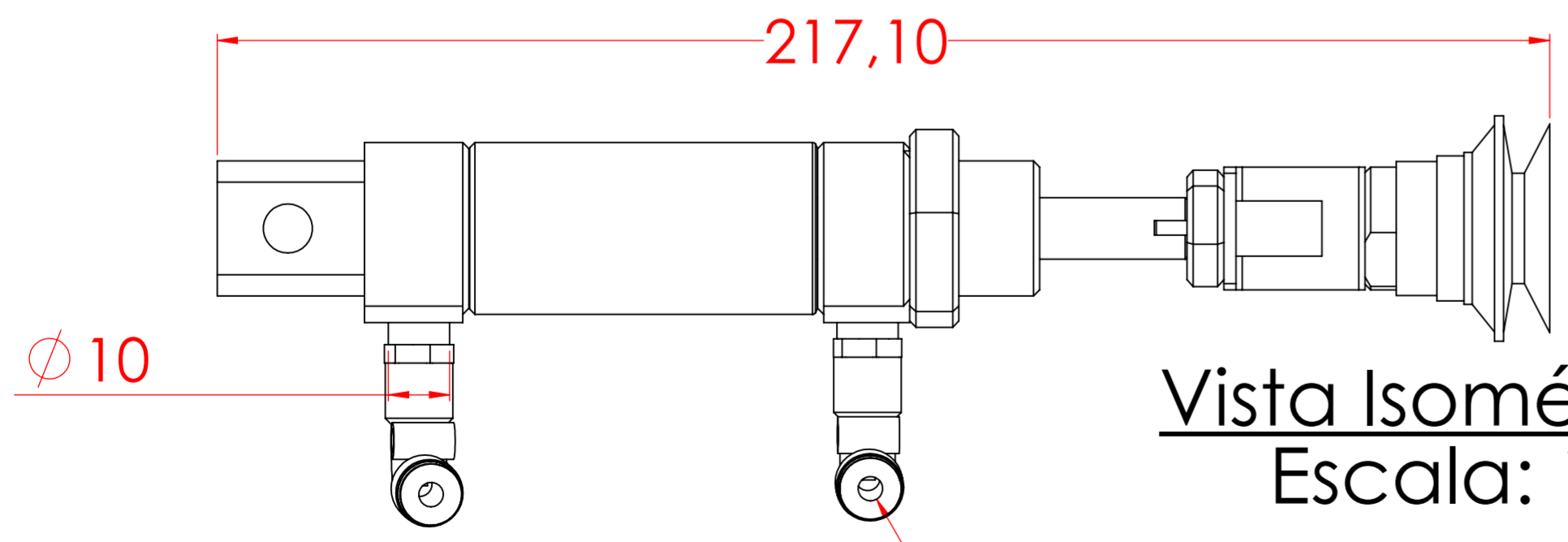
# Cilindro manipulador



SECCIÓN E-E  
Escala: 1:1



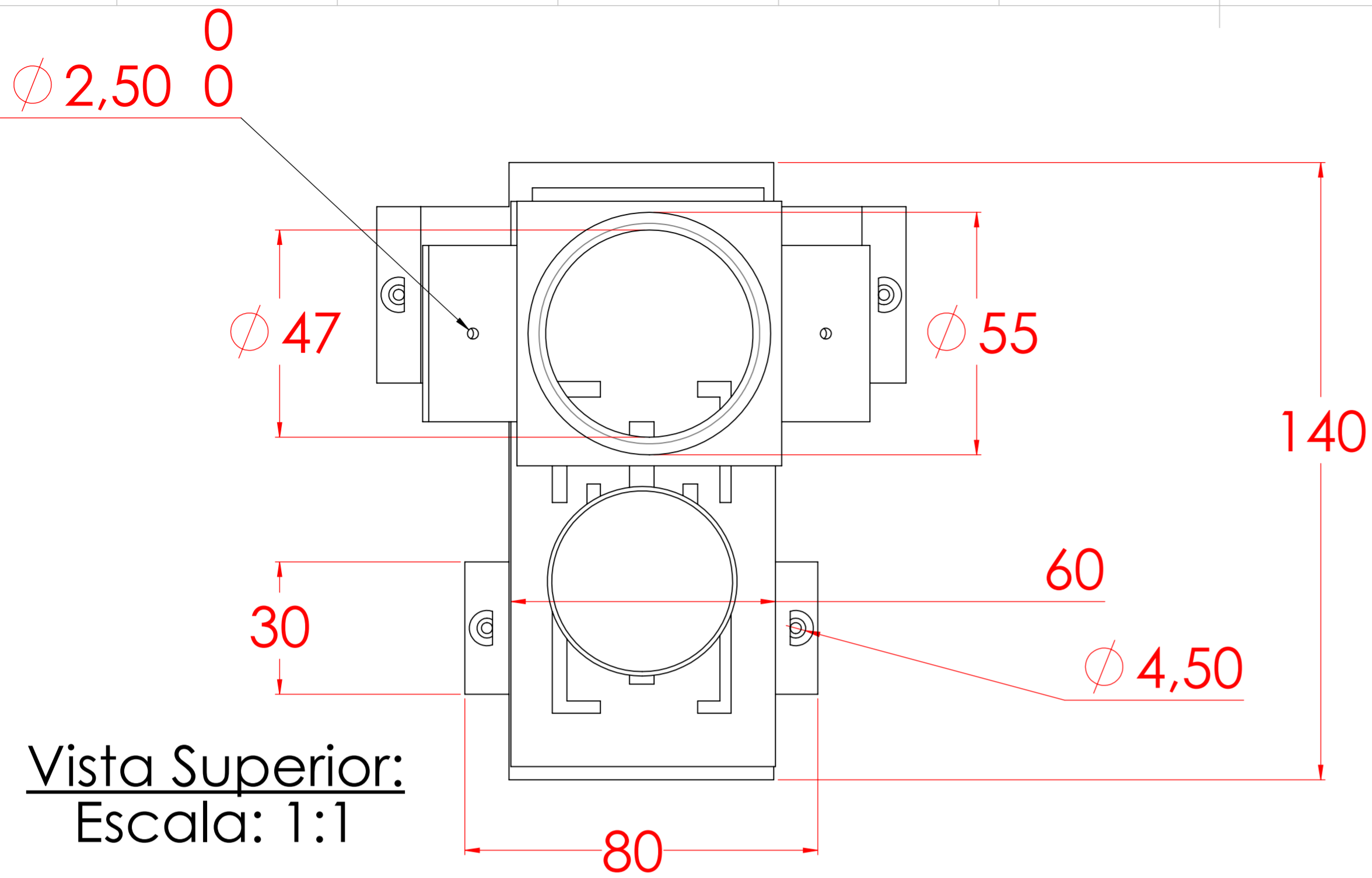
Vista Isométrica:  
Escala: 1:1



Vista Isométrica:  
Escala: 1:1

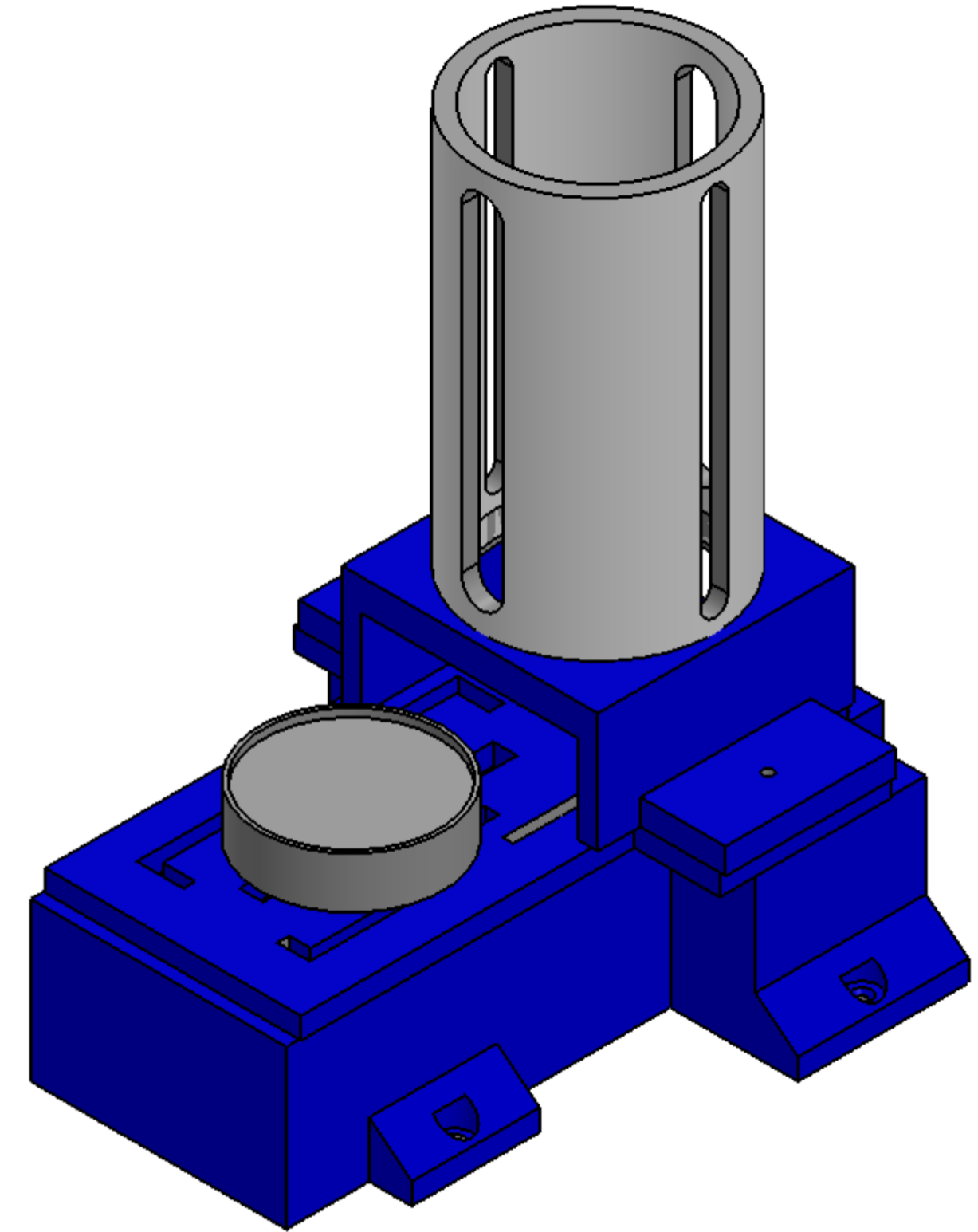
R VERDADERO2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: <b>UAN</b> INGENIERIA ANTONIO NARINO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Cilindro manipulador</b>	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				A2	
FABR.				ESCALA:1:1	
CALID.				HOJA 8 DE 10	
		MATERIAL:			
		PESO:			

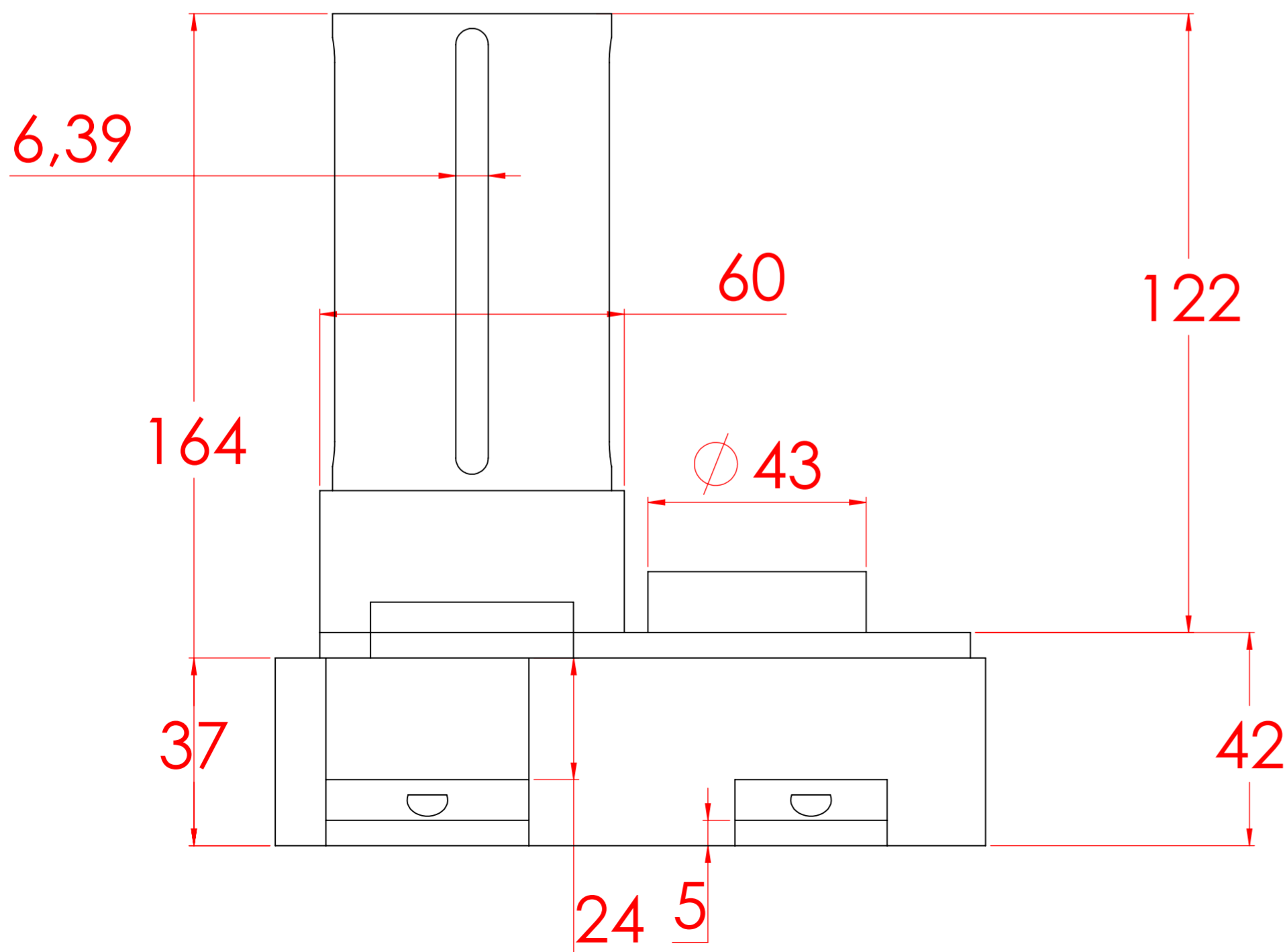


Vista Superior:  
Escala: 1:1

# Base de inicio



Vista Isométrica:  
Escala: 1:1

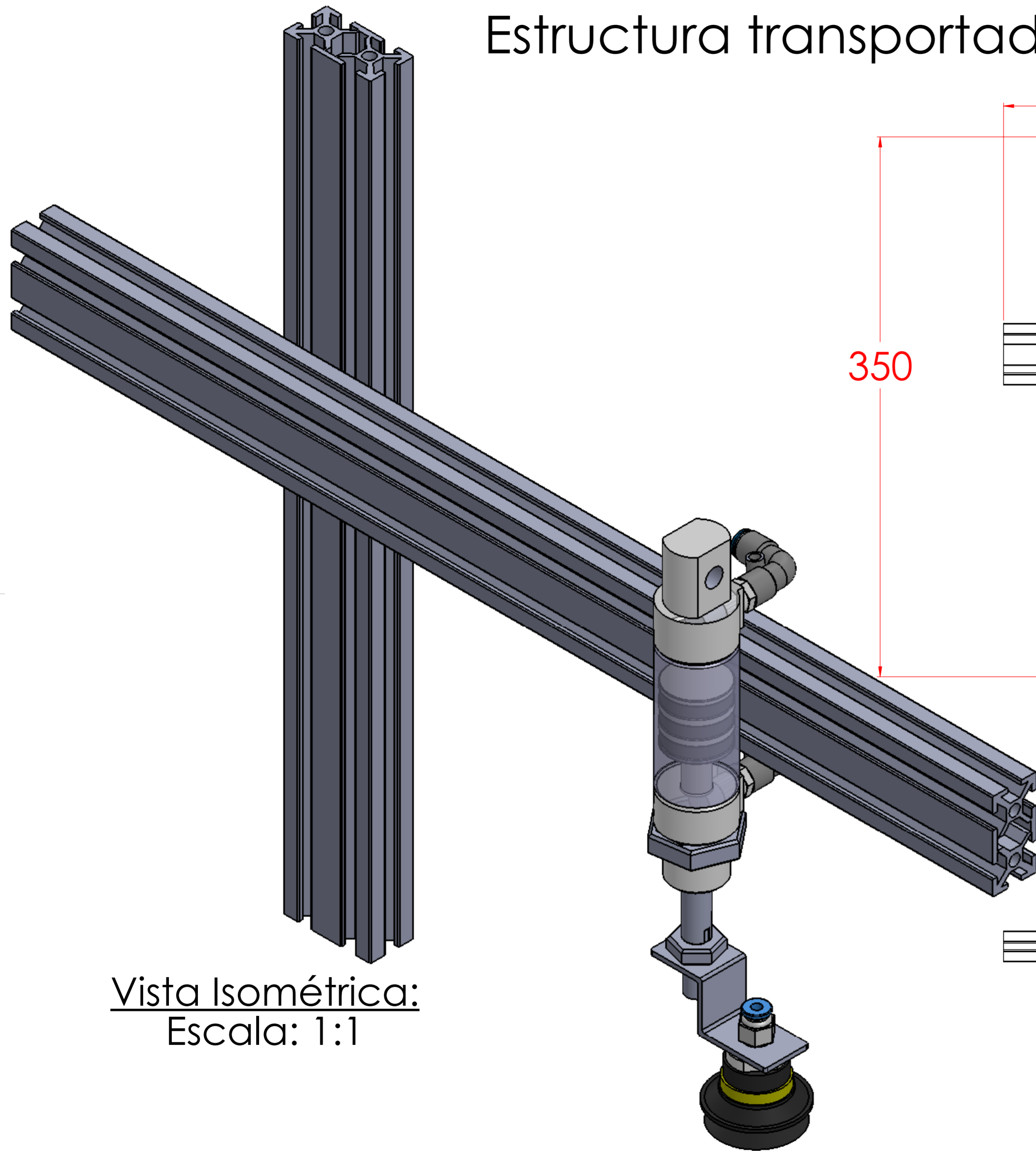


Vista Lateral:  
Escala: 1:1

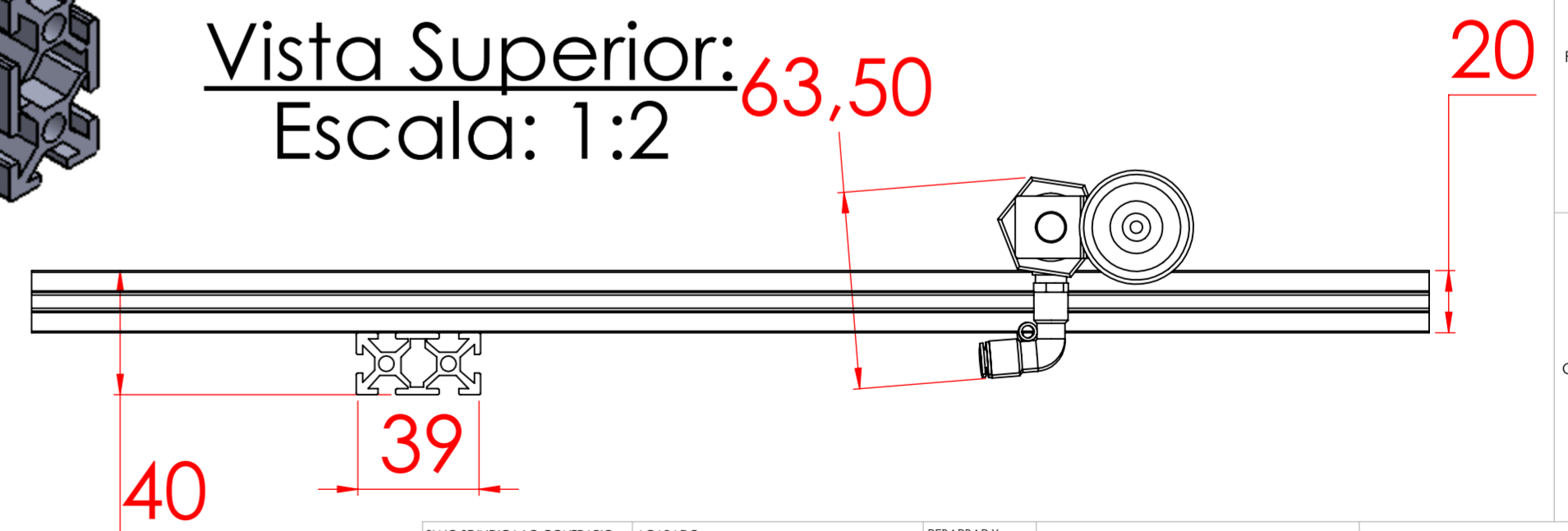
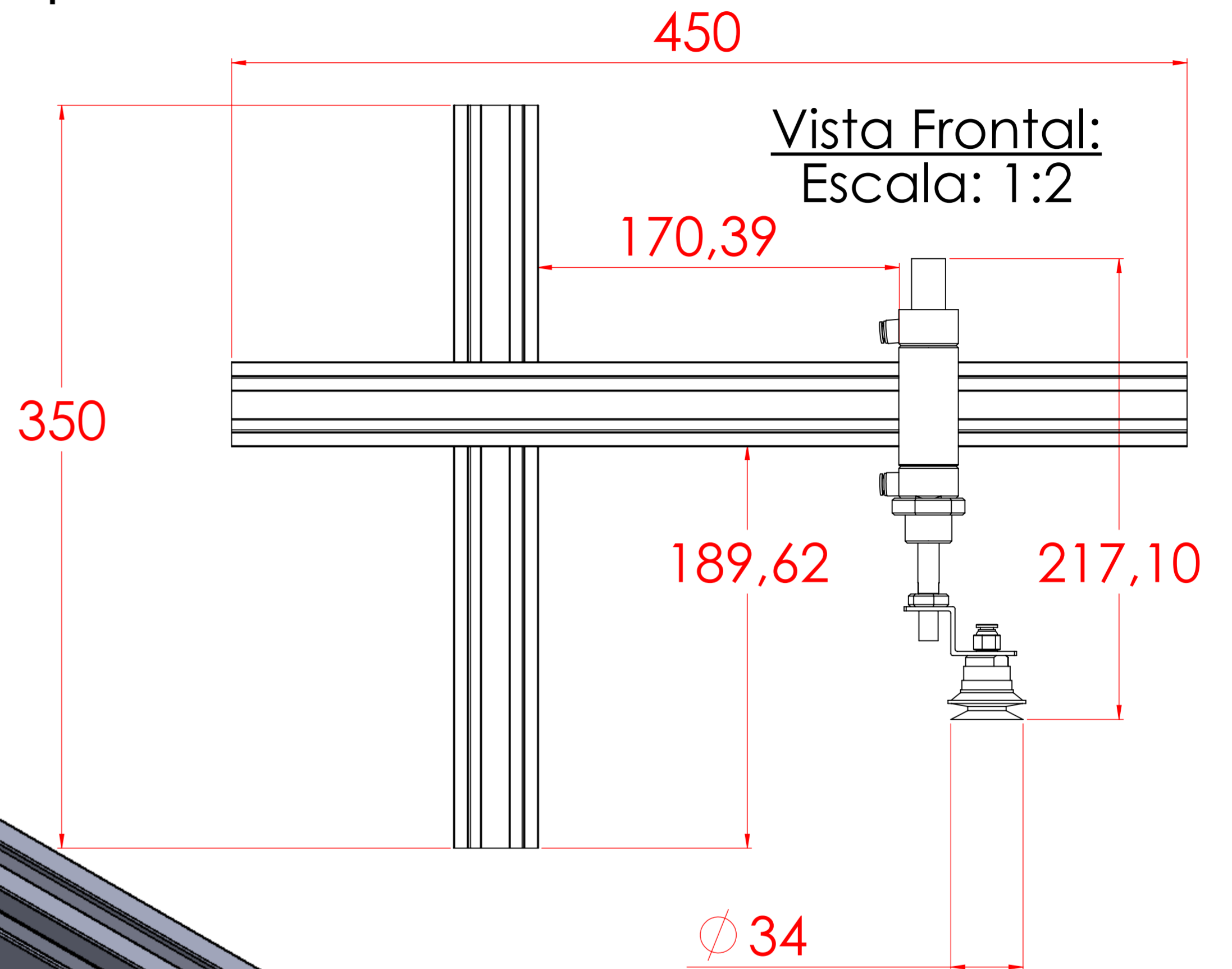
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: <b>UAN</b> ANTONIO NARINO	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>Base de inicio</b>	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				A2	
FABR.				ESCALA: 1:2	
CALID.				HOJA 9 DE 10	
		PESO:			



# Estructura transportadora



Vista Isométrica:  
Escala: 1:1



Las dimensiones dadas al perfil horizontal y al actuador neumático pueden variar si así se desea.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>UAN</b> SANTO DOMINGO ANTONIO TRINIDAD	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>Estructura</b>	
VERIF.					N.º DE DIBUJO	A2
APROB.				MATERIAL:	ESCALA: 1:2	HOJA 10 DE 10
FABR.				PESO:		
CAUID.						