

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de una celda robótica para el empaquetamiento de conos de  
helados

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Luis Alexis Moyón Sani

Valeria Pamela Solano Zevallos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

# DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios quién me ha guiado a lo largo de mi vida.

A mi familia que siempre me ha apoyado. En especial a mis padres, Blanca Sani y Luis E. Moyón, por estar conmigo para ayudarme incondicionalmente en cada paso que he dado, y por el esfuerzo que han hecho por darme una educación de calidad desde niño. A mi hermano, Johann Moyón, por darme su ayuda incondicional cuando la he necesitado. A todos mis gatos que me han acompañado en mi vida. En especial a Manchitas que me acompañó las largas noches que trabajaba en la tesis y a Niña Moza, que me acompañó mis primeros años de universidad cuando madrugaba estudiando y que seguramente, de haber seguido viva, me hubiera acompañado hasta el final.

**Luis Moyón**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a Dios, en quien he confiado plenamente desde el inicio de mis estudios.

A mis padres, Manuel y Pamela, quienes me han guiado, me han apoyado para no darme por vencida y me han enseñado a ser perseverante en mis metas.

A mis abuelos, Patricia y Manuel, y a mis tías Patricia y Silvia, quienes me han alentado a ser una mujer valiente, líder y empoderada.

Y a la memoria de mis abuelos, Bolívar y Georgina, a quienes recuerdo con amor y admiración.

**Valeria Solano**

# **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por darme fuerzas para este último reto de mi vida universitaria de pregrado.

A mis padres y hermano, por estar siempre para mi en lo que he necesitado.

Al M.Sc. Efraín Terán, por su guía y ayuda en la elaboración del proyecto.

Al M.Sc. Eloy Moncayo, por su ayuda en los temas neumáticos del proyecto.

A mi compañera de tesis, Valeria Solano, porque sin ayuda, energía, esfuerzo y amistad no hubiera sido posible este proyecto.

**Luis Moyón**

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen María, por siempre guiarme hacia el camino correcto y darme fuerzas en los momentos más difíciles.

A mis padres y hermanos, por apoyarme en mis proyectos y durante toda mi carrera.

A la ESPOL, por todos los recursos que me brindó.

Al M.Sc. Efraín Terán, por su guía en el desarrollo de este proyecto y por el apoyo que nos ha dado desde el inicio de la carrera.

Al M.Sc. Bryan Puruncajas, por su soporte en este proyecto.

A mi compañero de tesis Luis Moyón, por acompañarme en este último proyecto y dar lo mejor de sí, como siempre lo ha hecho.

**Valeria Solano**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Alexis Moyón Sani* y *Valeria Pamela Solano Zevallos* damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual."



---

Luis Alexis  
Moyón Sani



---

Valeria Pamela  
Solano Zevallos

# EVALUADORES

---

**M.Sc. Bryan Puruncajas**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**M.Sc. Efraín Terán**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La industria de helados está liderada por dos principales plantas de producción, una de ellas con el 84% de participación en el mercado. Entre los múltiples helados que produce, el proceso de empaquetamiento de helados tipo cono relleno es el más demorado. El proceso actual implica la disponibilidad de 6 operadores por día, una velocidad no constante del proceso y la existencia de error humano, logrando aproximadamente 216 cajas/h. El presente proyecto plantea diseñar una celda robótica para la estación de empaquetamiento compuesta por dos sistemas neumáticos principales: un subsistema de *grippers* para tomar los conos y voltearlos, y un subsistema de ventosas para ingresar el producto a sus cajas. Esta celda puede empaquetar paralelamente cuatro cajas y con una capacidad estimada de 222.5 cajas/h.

El mecanismo se desarrolló con software de modelado 3D, donde se diseñó y ensambló cada una de las piezas del sistema. Así mismo, se realizó la selección de los actuadores neumáticos requeridos para cumplir con los requisitos del sistema y adaptarse a la infraestructura existente en la fábrica. La selección de materiales se realizó tomando en cuenta que el sistema funcionará en una planta de alimentos. El sistema es controlado por un PLC, que recibe la señal de diferentes sensores y activa cada uno de los actuadores neumáticos.

Con el diseño final del sistema se espera llegar a una velocidad de 222.5 cajas/h, mejorando así mismo la eficiencia de la línea en un 5% y obteniendo 1.6 veces más de productividad en la línea de conos de helado.

**Palabras Clave:** Robot empaquetador, helados, producción, conos, neumática.

## **ABSTRACT**

*The ice cream industry is led by two main production plants, one of them with 84% market share. Among the multiple ice creams it produces, the cone-filled ice cream packaging process takes the longest. The current process implies the availability of 6 operators per day, a non-constant speed of the process and the existence of human error. That is why this project proposes to design a robotic cell for the packaging station composed of two main pneumatic systems: a gripper subsystem to take the cones and turn them over; and a subsystem of suction cups to transport the product to its boxes. This cell will pack four boxes in parallel and will work at a minimum speed of 222.5 boxes/h.*

*The mechanism was developed with 3D modeling software, where each of the system's pieces was designed and assembled. Likewise, the selection of the pneumatic actuators required to meet the system requirements and adapt to the existing infrastructure in the factory was made. The selection of materials was made considering that the system will work in a food plant. The system is controlled by a PLC, which receives the signal from different sensors and activates each of the pneumatic actuators.*

*With the final design of the system, it is expected to reach a speed of 222.5 boxes/h, also improving the efficiency of the line with an increase of 5% and obtaining 1.6 times more productivity in the production of ice cream cones.*

*Keywords: Packing robot, ice cream, production, cones, pneumatics.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1.    Introducción.....	1
1.1    Descripción del problema.....	2
1.2    Justificación del problema .....	3
1.3    Objetivos .....	4
1.3.1    Objetivo general.....	4
1.3.2    Objetivos específicos.....	4
1.4    Marco teórico .....	4
1.4.1    La tecnología de conos.....	4
1.4.2    Presentaciones de los conos de helado .....	5
1.4.3    Estado del arte.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2.    Metodología.....	8
2.1    Selección de la alternativa de solución.....	8
2.2    Proceso de diseño.....	9
2.3    Requerimientos del sistema.....	11
2.4    Diseño conceptual .....	11

2.5	Parámetros de diseño mecánico.....	13
2.5.1	Selección de ventosas.....	15
2.5.2	Diseño de la pinza (gripper) .....	17
2.5.3	Diseño de mecanismos .....	18
2.5.4	Selección de actuadores .....	22
2.6	Definición de parámetros de monitoreo y control.....	27
2.7	Selección de componentes para el control.....	27
2.7.1	Selección de sensores.....	27
2.7.2	Selección de controlador .....	28
2.8	Diseño de la arquitectura de comunicación.....	29
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados y análisis .....	31
3.1	Diseño mecánico .....	31
3.2	Estructura de la celda robótica.....	32
3.2.1	Subsistema de <i>grippers</i> .....	33
3.2.2	Mecanismo de posicionamiento de bandejas.....	34
3.2.3	Subsistema de ventosas.....	36
3.3	Proceso de la celda robótica .....	37
3.4	Diseño del flujo de proceso .....	41
3.5	Diseño del tablero eléctrico .....	43
3.6	Esquema de fuerza y control.....	44
3.7	Análisis de costos .....	51
CAPÍTULO 4.....		54
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	54
4.1	Conclusiones .....	54
4.2	Recomendaciones.....	55

Bibliografía.....	56
Apéndices.....	59

## **ABREVIATURAS**

AISI	American Iron and Steel Institute
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ISO	International Organization for Standardization
PLC	Programador Lógico Controlable

## SIMBOLOGÍA

g	gramo
H	Hora
kg	Kilogramo
m	Metro
mg	Miligramo
mil	Milésima de pulgada
mm	Milímetro
n	Número de dedos
N	Newton
NH <sub>3</sub>	Amoníaco
So	Factor de seguridad
$\mu$	Coefficiente de fricción entre superficies

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Bandeja de conos de entrada. ....	2
Figura 1.2. Línea de producción de conos del cliente. ....	5
Figura 1.3 Dimensiones del helado de cono.....	6
Figura 1.4. Big Drum Engineering – final de línea con Sistema de moldes.....	7
Figura 1.5. Big Drum Engineering – final de línea con ventosas.....	7
Figura 2.1 Metodología del diseño. ....	10
Figura 2.2 Diseño conceptual del sistema. ....	12
Figura 2.3 Caja de helados empacada. ....	12
Figura 2.4 Ventosa de sujeción por vacío.....	17
Figura 2.5 Diseño conceptual de la pinza neumática. ....	17
Figura 2.6 Esquema de funcionamiento de una pinza neumática. ....	18
Figura 2.7 Mecanismo de giro en posición 1. ....	19
Figura 2.8 Mecanismo de giro en posición 2. ....	19
Figura 2.9 Trayectoria vertical del subsistema de ventosas.....	20
Figura 2.10 Trayectoria horizontal del subsistema de ventosas. ....	20
Figura 2.11 Sublimadora neumática AJ6000 de riel.....	21
Figura 2.12 Mecanismo del subsistema de las ventosas. ....	22
Figura 2.13 Cilindro DSBC-32-200-PPVA-N3.....	25
Figura 2.14 Cilindro DSBC-32-20-D3-PPVA-N3.....	25
Figura 2.15 Cilindro DSBC-32-500-PPVA-N3.....	26
Figura 2.16 Cilindro DSBC-32-40-PPVA-N3.....	26
Figura 2.17 Cilindro DGC-K-32-80-PPV-A-GV.....	26
Figura 2.18 PLC ControlLogix1756 de Allen Bradley.....	29
Figura 2.19 Arquitectura de comunicación.....	30
Figura 3.1 Celda robótica en software de diseño 3D.....	31
Figura 3.2 Estructura de la celda robótica.....	32
Figura 3.3 Subsistema de <i>grippers</i> .....	33
Figura 3.4 Mecanismo de posicionamiento de bandejas.....	35
Figura 3.5 Proceso de elección de helados de trabajo.....	35
Figura 3.6 Subsistema de ventosas. ....	36

Figura 3.7 Flujo del proceso en Flexsim. ....	42
Figura 3.8 Resultado de la simulación por 8 horas.....	43
Figura 3.9 Tablero de control.....	43
Figura 3.10 Diagrama de flujo del sistema neumático.....	46
Figura 3.11 Circuito electroneumático del sistema .....	47
Figura 3.12 Simulación del sistema neumático.....	48
Figura 3.13 Listado de entradas y salidas del PLC. ....	49
Figura 3.14 Inicio del sistema. ....	50
Figura 3.15 Conteo para validar la cantidad de bandejas que ingresa.....	50
Figura 3.16 Secuencia que activa cada actuador en orden. ....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios de selección .....	9
Tabla 2.2 Matriz de decisión.....	9
Tabla 2.3 Requerimientos del sistema.....	11
Tabla 2.4 Dimensiones y peso de un cono.....	13
Tabla 2.5 Alternativas de soporte de ventosa ESG Ø 6/8 mm.....	16
Tabla 2.6 Comparación de finales de carrera y sensores electromagnéticos.....	28
Tabla 3.1 Componentes generales de la celda robótica.....	33
Tabla 3.2 Componentes del subsistema de <i>grippers</i> .....	34
Tabla 3.3 Componentes del subsistema de ventosas.....	37
Tabla 3.4 Secuencia de la operación de la celda robótica.....	37
Tabla 3.5 Actuadores neumáticos del sistema.....	45
Tabla 3.6 Costos del proyecto.....	52
Tabla 3.7 Beneficios de implementación.....	53

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Celda robótica
- PLANO 2 Estructura de la celda
- PLANO 3 Fila del subsistema de pinzas
- PLANO 4 Base lateral del subsistema de pinzas
- PLANO 5 Base lateral conectora del subsistema de pinzas
- PLANO 6 Herramienta para ascenso y descenso
- PLANO 7 Sistema de traslación vertical del sistema de pinzas neumáticas
- PLANO 8 Deslizador y base de los dedos de la pinza
- PLANO 9 Rótula
- PLANO 10 Cabeza y deslizador de la pinza
- PLANO 11 Soporte y dedo de la pinza
- PLANO 12 Pinza neumática
- PLANO 13 Sistema de pinzas neumáticas
- PLANO 14 Transporte de ventosas
- PLANO 15 Base para las ventosas
- PLANO 16 Sistema de ventosas
- PLANO 17 Componentes del tablero eléctrico
- PLANO 18 Dimensiones del tablero eléctrico

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el consumo de helados se divide en dos principales canales: las heladerías artesanales y sitios con helados empaquetados. Las heladerías artesanales realizan la preparación de sus helados de forma casera y mantienen sus cremas en tachos para ser envasados de forma manual en los vasos, conos o potes. Por otro lado, el consumo de los helados empaquetados se da en sitios que no necesariamente forman parte de la empresa heladera como pueden ser tiendas o restaurantes. En este caso, la empresa heladera se encarga de vender y distribuir sus productos a estos sitios para que sean almacenados en un congelador (estático o móvil) previo a su venta al consumidor final.

Para el segundo tipo de manufactura de helados, se requiere de una producción masiva. Bajo esta necesidad nacen las plantas de producción de helados que incluyen cada uno de los procesos, desde la preparación de las cremas hasta la entrega de los productos empacados. Actualmente, en el país solo existen dos plantas de producción masiva de helados, ambas ubicadas en la ciudad de Guayaquil. Al mercado ecuatoriano no han ingresado más marcas nacionales o internacionales debido a la complejidad y altos costos que genera una planta de helados [1]. Estas plantas operan a bajas temperaturas por lo cual desde sus máquinas hasta sus bodegas de almacenamiento deben ser diseñadas para trabajar bajo estas condiciones. Otro factor por considerar es la seguridad ya que las plantas usan amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en sus procesos. Este químico se aplica como refrigerante para que las cremas adquieran la textura y viscosidad adecuadas para un helado en cuestión de segundos. En una planta de helados es común encontrar una gran concentración de amoníaco que, en caso de fuga, puede causar quemaduras en la piel y pulmones [2]. Por esto es necesario tener un equipo experto de frigoristas y la instrumentación adecuada para prevenir estos tipos de peligros.

Las plantas de producción masiva de helados han automatizado sus procesos aplicando las tecnologías actuales a lo largo de los años; sin embargo, existen procesos que aún se realizan de forma manual. Estos procesos requieren de una alta precisión y flexibilidad por lo cual su automatización resulta compleja

[3]. Por este motivo el presente proyecto busca dar una solución a uno de estos procesos manuales que es el empaquetado de helados tipo cono en cajas. Con esta automatización se busca mejorar la eficiencia de la línea y potenciar el incremento de volumen para este tipo de producto.

## 1.1 Descripción del problema

La planta de helados perteneciente al cliente produce diferentes tipos de helado para el mercado ecuatoriano e internacional. El proyecto se centra en la automatización del empaquetamiento de una de sus líneas de producción que es la encargada de la manufactura de helados de cono. Esta línea se encuentra automatizada con la excepción de su final de línea, donde se realiza el empaquetamiento del producto. A la estación de empaquetamiento llegan bandejas con 22 helados para su almacenamiento en cajas como la de la Figura 1.1. Actualmente esta labor es realizada manualmente por operadores quienes ensamblan las cajas y colocan los helados en dos niveles con dos hileras de cinco conos y dos conos extra en la parte superior de la caja [4].



**Figura 1.1 Bandeja de conos de entrada.**

Existen limitaciones en cuanto al área disponible para la estación de empaquetamiento que es de aproximadamente cuatro metros de largo y dos metros de ancho. Para el diseño de la celda robótica se debe considerar que exista espacio disponible para que un operador pueda caminar dentro de la celda para temas de monitoreo o mantenimiento. Otra consideración importante del proceso es que las bandejas blancas deben ser devueltas a la línea de producción debido a que cumplen un ciclo cerrado dentro del mismo. Para este

fin, se tiene una banda transportadora encima de la estación de empaquetamiento que conecta con el inicio de la línea de producción. Finalmente, todas las líneas de producción de la planta continúan operando a pesar de los posibles errores que surjan en la línea (producto atrapado entre bandas transportadoras, productos que se caen) por lo que el proyecto debe cumplir con esta característica [4].

## **1.2 Justificación del problema**

La empresa donde se implementará el proyecto es una multinacional con sede en Ecuador que se encarga de la manufactura de productos pertenecientes a varias categorías como limpieza del hogar, aseo personal y productos alimenticios. Para la producción de los productos se posee plantas especializadas en la manufactura de cada categoría. Una de éstas es la planta de helados que se encarga de la producción de una marca cuya participación es del 84% en el mercado nacional [5]. La planta posee una línea de producción con estaciones automatizadas por cada tipo de helado. En el caso de la línea de conos no cuenta con una estación de empaquetado automático como otras líneas de producción; a pesar de que el último año produjo 804,567 cajas de helados de cono de tres tipos de sabor [1].

Esta falta de automatización ocasiona que exista un cuello de botella en la sección final de la línea. Cabe recalcar que la línea manufactura el mismo producto, pero en diferentes sabores. Para cambiar entre sabores, la línea requiere de un tiempo de limpieza aproximado de dos horas [6]. Este tiempo de limpieza no puede reducirse para cumplir con los estándares de calidad; entonces, resulta importante reducir los tiempos de producción para cumplir con la cantidad de cajas requeridas de cada sabor. Además, por los grandes volúmenes de producción, la empresa busca optimizar sus procesos para tener mayores índices de desempeño. Por consiguiente, el presente proyecto busca automatizar la estación de empaquetado de la línea de producción de conos de helado.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una celda robótica para el empaquetamiento de helados de cono en el final de la línea de producción.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar un mecanismo que permita el empaquetamiento automático simultáneo de hasta cuatro cajas de helado.
- Diseñar un sistema de control electroneumático para automatizar el accionamiento de los actuadores a través de sensores.
- Implementar un tablero eléctrico para el monitoreo y control de la estación de empaquetamiento.

## **1.4 Marco teórico**

Durante el 2019, en Ecuador se alcanzó el mayor volumen de producción de helados llegando a los 300 millones de paletas sin contar los helados que vienen en presentaciones de potes y tortas heladas; esto es un aproximado de 18 paletas por habitante [1]. En el 2020, por la pandemia las ventas se redujeron en un 15 %, sin embargo, en lo que va del 2021 se ha logrado recuperar el volumen de producción esperado llegando a tener una producción de 2.2 millones de unidades mensuales, de las cuales el 7% son helados de conos [5]. De la venta total de helados en el país, nuestro cliente ocupa el 70% de las ventas [7], contando con seis tipos de tecnologías de helados que son: paletas, conos, extruidos con palillo, extruidos sin palillo, potes y tortas. Actualmente hay 54 productos se fabrican de estas tecnologías [1].

### **1.4.1 La tecnología de conos**

La producción masiva de conos de helados se hace actualmente en dos empresas dentro del país. Dentro de la planta de helados del cliente se producen tres sabores de conos: Vainilla, Chocmix y Snickers. Todos se producen en una misma línea de producción que está conformada por una máquina envasadora que llena dos filas de conos y envía el producto terminado

a un túnel de congelamiento por 2 horas para luego ser empacado de forma manual en cajas de 22 unidades cada una [4], [8].

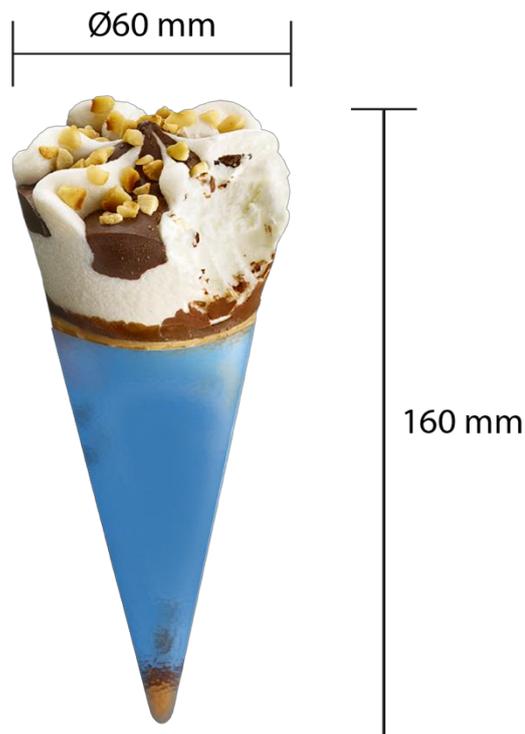


**Figura 1.2. Línea de producción de conos del cliente.**

Para enviar los conos por el túnel de congelamiento se los coloca en bandejas donde se ubican de forma vertical. Para lograr esto se implementó una celda robótica con un robot tipo delta que toma los conos envasados y los posiciona en las bandejas para ser enviados directo al túnel [9].

#### **1.4.2 Presentaciones de los conos de helado**

Como se menciona, actualmente se tiene tres productos en la línea de conos; ésta es una línea que al año lanza entre una y dos innovaciones de sabores. Hasta hace unos meses atrás se dejó de producir el cono Hershey y se lanzó el de Snicker [10]. Un detalle importante es que todos los sabores de conos mantienen su mismo tamaño, dimensión y peso, solo cambian de forma interna por lo que la cantidad de unidades por caja se mantiene en 22 unidades para cada una de las presentaciones. Las dimensiones de un cono son las siguientes [4]:



**Figura 1.3 Dimensiones del helado de cono [11].**

### **1.4.3 Estado del arte**

Dentro del país no hay otra empresa que tenga automatizado el final de línea de una máquina de envasado de conos, por lo que se ha buscado posibles soluciones implementadas en otras plantas de helados a nivel mundial dentro y fuera de la empresa del cliente ya que es una de las principales multinacionales que producen helados en el mundo, teniendo más de 49 marcas de helados en 40 países [7].

Entre las soluciones propuestas encontradas para la automatización del empaclado de conos de helados en cajas se encontró una máquina ofertada por la empresa alemana Big Drum Engineering. Esta empresa, manufacturera de líneas de envasado y empaque para bebidas y alimentos, presenta una línea de producción de conos de helados con el armado automático de cajas. Por medio de *grippers* logra tomar 100 conos a la vez y los gira de forma que puedan estar horizontales sobre las cajas. Utilizan moldes por los cuales se deslizan los conos sobre las cajas. Esta propuesta tiene una capacidad máxima de 600 conos por minuto y debido al uso de moldes tiene la flexibilidad de trabajar con piezas de diferentes tamaños y pesos [12].



**Figura 1.4. Big Drum Engineering – final de línea con Sistema de moldes [12]**

La segunda propuesta hallada fue diseñada por Big Drum Engineering también; sin embargo, el final de línea toma dos filas de conos en lados opuestos y los posiciona de forma horizontal. Una vez acostados, un sistema de ventosas dobles en fila toma los dos conos en posiciones opuestas y los ingresa en las cajas [13].



**Figura 1.5. Big Drum Engineering – final de línea con ventosas [13]**

Por lo tanto, se procede a tomar ambos diseños como referencia para las alternativas de solución.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Selección de la alternativa de solución

En base a la problemática y requerimientos indicados en el capítulo anterior, se procedió a formular dos alternativas:

- **Alternativa 1:**

Diseño de una empaquetadora con un sistema neumático giratorio para posicionar horizontalmente los conos de helados y con ventosas neumáticas para colocarlos en la caja. Esta alternativa se presenta en la Figura 1.5.

- **Alternativa 2:**

Diseño de una empaquetadora con *grippers* para colocar los conos en la caja y moldes para girar horizontalmente los conos de helado. Esta alternativa se presenta en la Figura 1.4.

Para la selección de la solución se definieron criterios con los cuáles se analizó cada alternativa propuesta en este trabajo. Estos criterios con su respectivo peso y rango de importancia se definen en la Tabla 2.1. A continuación, se presenta una descripción breve de cada criterio de selección:

- **Tamaño:** Las dimensiones de la máquina deben ser acorde al espacio disponible para la estación de empaquetamiento.
- **Capacidad:** Cantidad de conos y/o cajas simultáneas que la máquina puede empaquetar.
- **Autonomía:** Capacidad de la máquina para operar automáticamente sin importar los posibles problemas durante la producción de conos.
- **Mantenibilidad:** Facilidad de mantenimiento y limpieza de la máquina.

**Tabla 2.1 Criterios de selección**

<b>Criterios de selección</b>			
<b>Criterio</b>	<b>Peso</b>	<b>Rango de importancia</b>	<b>Porcentaje de decisión</b>
Tamaño	3.0	1	33.33 %
Capacidad	2.5	2	27.78 %
Autonomía	2.5	3	27.78 %
Mantenibilidad	1.0	4	11.11 %

Cada alternativa fue evaluada en la matriz de decisión presentada en la Tabla 2.2. Se obtuvo como resultado que la alternativa 1 es la más factible y óptima para solucionar la problemática de este trabajo. Se llegó a esta conclusión considerando que el sistema permite el empaquetamiento simultáneo de varias cajas, el sistema de giro de conos aprovecha la altura del espacio físico por lo cual es más viable para las limitaciones espaciales de la celda y su mantenimiento no es complicado.

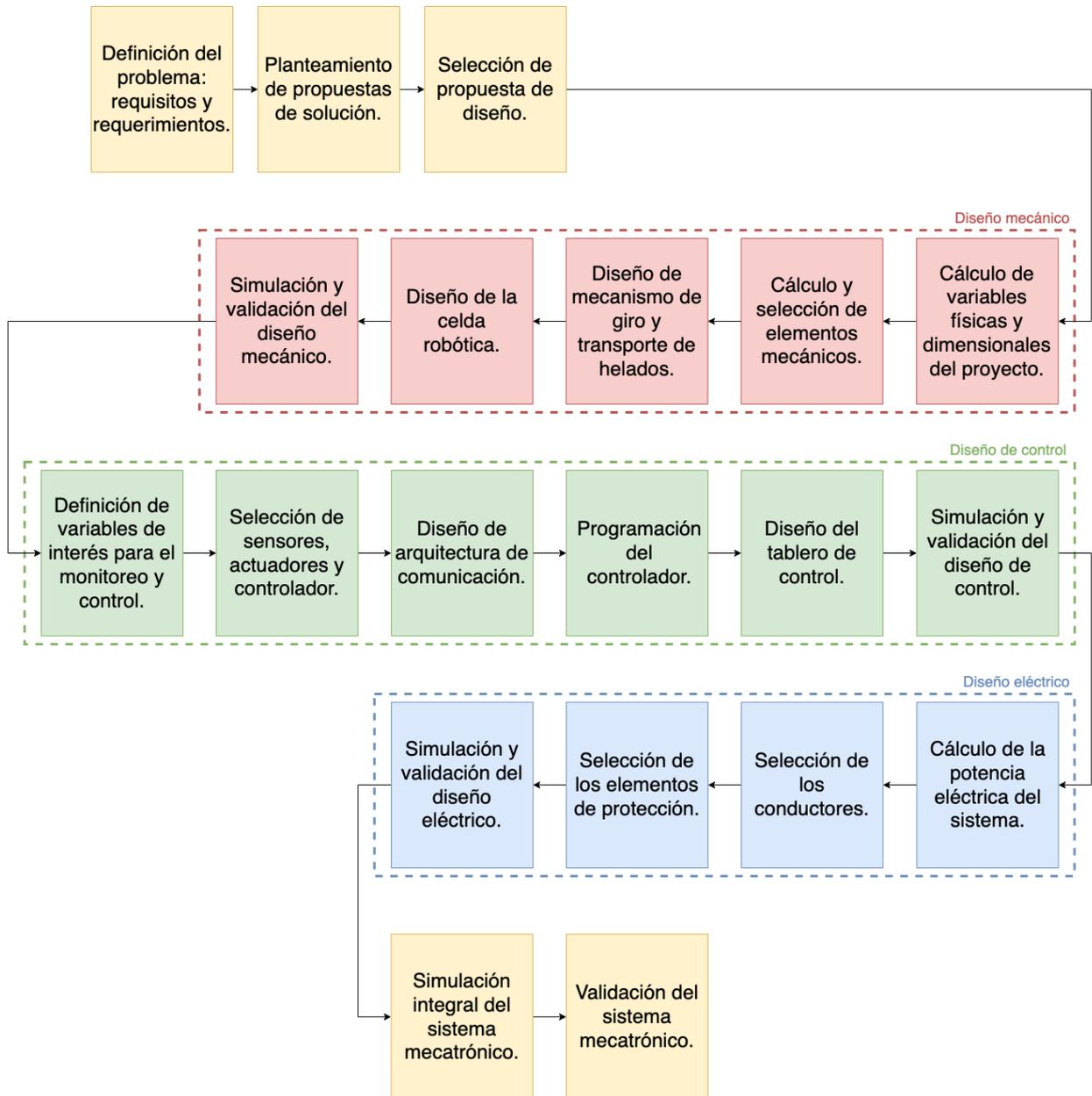
**Tabla 2.2 Matriz de decisión**

	<b>Criterios</b>				<b>Resultados</b>	
<b>Pesos</b>	3.0	2.5	2.5	1	<b>Puntaje</b>	<b>Prioridad</b>
<b>Alternativas</b>	<b>Viabilidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Autonomía</b>	<b>Mantenibilidad</b>		
Alternativa 1	3.0	3.0	2.5	2.5	25.25	1
Alternativa 2	1.0	3.0	2.5	1.5	18.25	2

## **2.2 Proceso de diseño**

Una vez seleccionada la alternativa de solución, en la sección anterior, se procedió a definir el proceso a seguir para diseñarla. Este proceso tomó en cuenta conceptos del “Diseño Concurrente” y consistió en varias etapas agrupadas

acorde al área que pertenecen. En la Figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo que se utilizó, en este trabajo, para el diseño del sistema mecatrónico propuesto.



**Figura 2.1 Metodología del diseño.**

### 2.3 Requerimientos del sistema

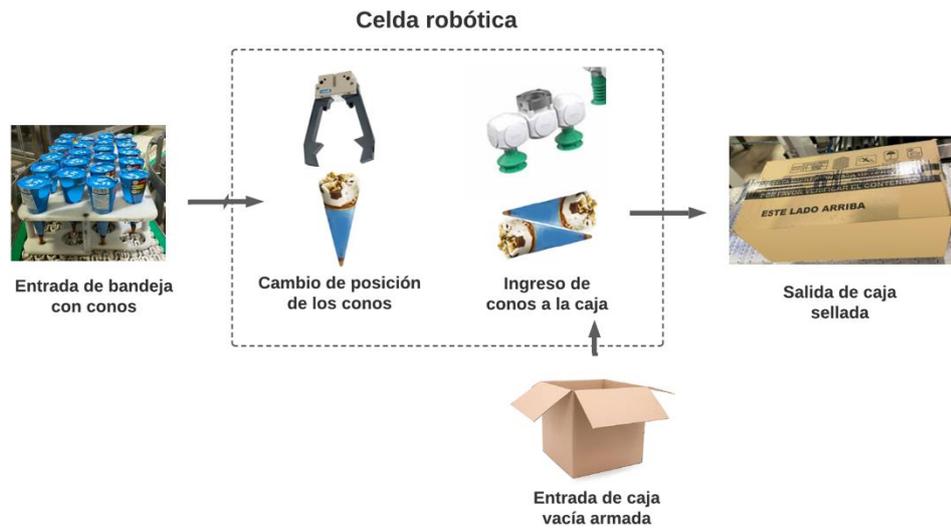
De acuerdo a lo especificado por el cliente, se detallan los requerimientos del sistema en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Requerimientos del sistema.**

<b>Funcionalidad</b>	Girar los conos de vertical a horizontal y empacarlos en cajas.
<b>Capacidad</b>	Empacar hasta cuatro cajas de 22 conos de manera paralela.
<b>Tiempo de operación</b>	La máquina debe operar hasta 48 horas de manera continua.
<b>Costos</b>	La inversión en la máquina debe recuperarse hasta en 2 años.
<b>Tamaño</b>	El sistema debe caber en un espacio físico de 4.7 m de ancho y 3.8 m de largo.

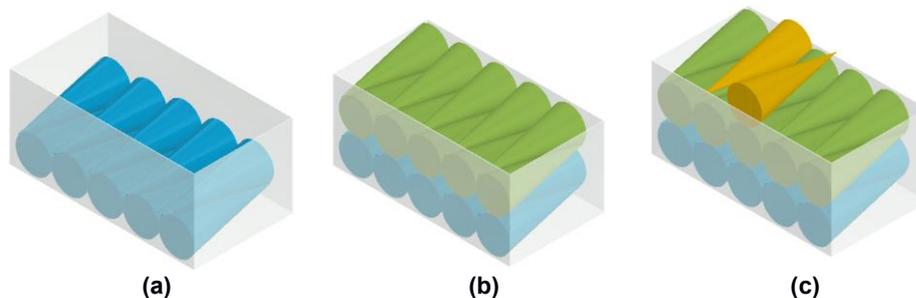
### 2.4 Diseño conceptual

En la Figura 2.2 se presenta un boceto inicial de la celda robótica. Se tiene como entrada al sistema las bandejas blancas con los 22 conos y, como salida, las cajas empacadas con los helados y las bandejas vacías que vuelven al inicio de la línea de producción. Además, se observa como el mecanismo se divide en dos partes: mecanismo con pinzas para girar los conos horizontalmente y mecanismo con ventosas para empacar los helados en las cajas.



**Figura 2.2 Diseño conceptual del sistema.**

La entrada al sistema son las bandejas blancas con la configuración de conos de helados presentada en la Figura 1.1. Para lograr empaquetarlos adecuadamente se ha considerado una operación en tres etapas. En las dos primeras etapas, se toman 10 helados por bandeja y se los empaca de manera entrecruzada en dos niveles dentro de las cajas, como se presenta en las Figuras 2.3 (a) y (b). En la última etapa se empaca los dos helados adicionales en un tercer nivel, obteniendo una caja empacada con 22 helados según el estándar de la línea de producción, como se presenta en la Figura 2.3 (c). Considerando la orientación de los helados dentro de la caja, es necesario que el mecanismo recoja helados en ambos lados de la bandeja y los gire de manera opuesta. Si el propósito es empaquetar hasta cuatro cajas simultáneamente, entonces el mecanismo de giro debe ser capaz de tomar hasta 40 helados para girarlas y entrecruzarlas.



**Figura 2.3 Caja de helados empacada. (a) Etapa 1. (b) Etapa 2. (c) Etapa 3.**

Asimismo, el mecanismo de empaquetamiento deberá tener 40 ventosas distribuidas en 2 filas para poder sujetar los conos y empacarlos en su respectiva caja. Este mecanismo debe ser diseñado para poder tomar cada cono con sus dimensiones, peso y considerando la fragilidad del producto. En la Tabla 2.4 se presenta las dimensiones y peso de un cono.

**Tabla 2.4 Dimensiones y peso de un cono.**

Diámetro [mm]	60
Altura [mm]	160
Peso [g]	74.3

## 2.5 Parámetros de diseño mecánico

El mecanismo que se seleccionó para diseñar incluye un amplio sistema neumático donde se tienen dos herramientas: las ventosas y las pinzas. Las ventosas tendrán contacto directo con el producto y deben ser capaces de tomar y posicionar los helados en un lugar distinto. Se debe seleccionar de forma adecuada el tipo de ventosa a ser utilizada, tomando en cuenta su tipo de material y forma. A continuación, se presenta un cálculo para la estimación de propiedades de la ventosa a emplear en el proyecto.

Para tomar objetos con superficies cilíndricas o esféricas, similares al cono, se debe seleccionar un tipo de ventosa de fuelle y es necesario conocer la fuerza de la ventosa, la que debe ser proporcional a la superficie en vacío. El coeficiente de seguridad para bascular una pieza es de 2.5 o mayor acorde al catálogo de diseño de la empresa Schmalz [14]. La ecuación para obtener el diámetro en succión horizontal acorde al catálogo de diseño de la empresa Schmalz es la siguiente [14]:

$$d = 1.2 \times \sqrt{\frac{(m \times S)}{(P_V \times n)}} \quad (2.1)$$

Donde:

d = diámetro de la ventosa [cm]

m = masa del objeto [kg]

$P_u$  = depresión [bar]

$n$  = número de ventosas

$S$  = factor de seguridad

Por lo tanto, el diámetro de la ventosa es de:

$$d = 1.2 \times \sqrt{\frac{(0.0743 \times 2.5)}{(0.6 \times 1)}}$$
$$d = 0.668 \text{ cm}$$

Otra parte importante del sistema son las pinzas neumáticas que serán las encargadas de tomar los conos para girarlos desde una posición vertical a una horizontal. Para conocer la fuerza  $F_G$  que debe tener una pinza para sujetar un Cornetto se usó la siguiente ecuación planteada por Poornesh para el diseño de pinzas neumáticas [15]:

$$F_G = \frac{m(g + a)S_o}{\mu \times n} \quad (2.2)$$

Donde:

$m$  = masa del objeto a sujetar [kg]

$g$  = gravedad [ $m/s^2$ ]

$a$  = aceleración del *gripper*

$S_o$  = factor de seguridad

$\mu$  = coeficiente de fricción entre superficies

$n$  = número de dedos

Se considera que el coeficiente de fricción entre la pinza de acero y el helado con cubierta de papel es 0.6 [16] (se toma coeficiente entre el acero y la madera por ser los materiales más cercanos al caso de trabajo). Para el factor de seguridad se considera un valor de 3 por el tipo de movimiento de giro que va a realizar la pinza. Por lo tanto, la fuerza de agarre que debe poseer la pinza es:

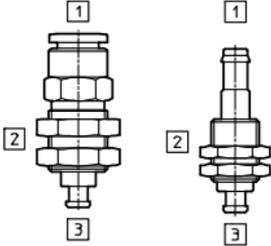
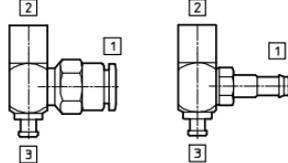
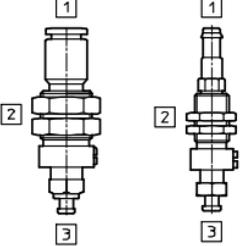
$$F_G = \frac{0.72814(9.8 + 0.1)3}{0.6 \times 2}$$
$$F_G = 18.02 \text{ [N]}$$

### **2.5.1 Selección de ventosas**

Una vez definido el diámetro de las ventosas y, conociendo que la superficie de contacto es cónica, se deben seleccionar ventosas de sujeción por vacío, un actuador neumático compuesto por cuatro componentes. El primero es el soporte para ventosa con rosca de fijación, en este caso se debe elegir el racor de conexión tipo PK debido a que soporta menores temperaturas. Luego viene la compensación angular y el filtro de vacío que son requeridos para ventosas de menores diámetros. Finalmente, la ventosa con rosca de fijación acorde al tipo de carga a levantar. En este caso, el tipo de producto con el que se tiene contacto es un cono de helado a baja temperatura y con humedad, por lo que se seleccionó una ventosa redonda y plana (tipo S) elaborado con el material caucho fluorado (FPM).

Para este tipo de ventosas se tienen tres posibles alternativas que cumplen con el rango de diámetro calculado, solo varía el tipo de soporte. A continuación, se describe las características de cada una de ellas en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Alternativas de soporte de ventosa ESG Ø 6/8 mm.**

Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de soporte	HA – conexión vacía arriba sin compensación de altura	HB – conexión vacío lateral	HC – Conexión vacío arriba con compensación de altura
Referencia			
Diámetro de ingreso [mm]	2	2	1.2
Peso [g]	7	11	8
Temperatura de ambiente [°C]	-10 a 60	-10 a 60	-10 a 60

El tercer soporte tiene menor peso y su ancho es menor con respecto al resto de alternativas por lo que el subsistema de ventosas requerirá menos espacio, evitando choques entre los helados. Por lo tanto, el tipo de soporte HC (conexión vacío arriba con compensación de altura) es el adecuado y el diámetro de la ventosa de 8 mm cumple con los cálculos previamente realizados.

Revisando el manual de FESTO, para ventosas de sujeción por vacío ESG, se selecciona el producto con código ESG-8-SF-HC-PK porque cumple con todas las especificaciones previamente descritas.

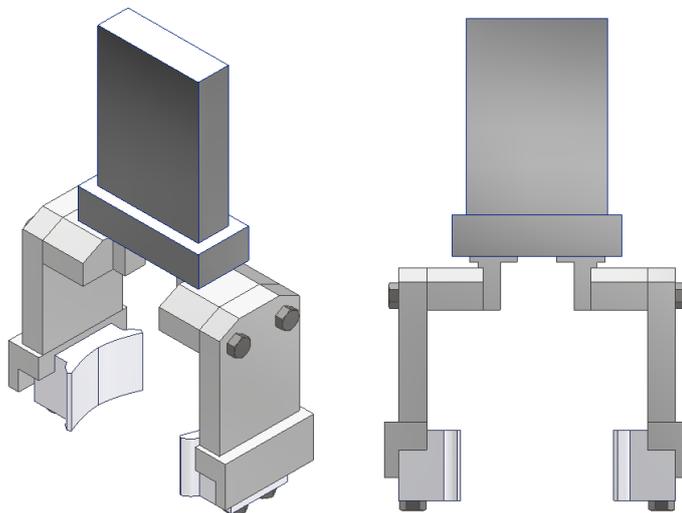


**Figura 2.4 Ventosa de sujeción por vacío [17].**

### **2.5.2 Diseño de la pinza (gripper)**

Las pinzas neumáticas pertenecientes al sistema de giro de los conos de helado deben tener dedos que se adapten a la forma cónica y evitar caídas o daños del producto durante su manipulación. En el mercado, no se encuentran pinzas para estos objetos de diámetro variable por lo cual se procedió a su diseño.

Para el diseño se consideraron las dimensiones del cono y que los dedos de la pinza deben adaptarse a la curvatura del mismo.



**Figura 2.5 Diseño conceptual de la pinza neumática.**

En la Figura 2.5 se muestra la pinza neumática diseñada. Para su accionamiento se utiliza el mecanismo de pinza neumática en paralelo que se presenta en la Figura 2.6. Esta pinza está compuesta por dos dedos, los cuales son accionados por cilindros individuales. Estos cilindros se extienden de forma opuesta y mantienen a los dedos de manera paralela entre sí. La distancia

entre dedos es de 70 mm en su máxima extensión y de 60 mm cuando la pinza se cierra.

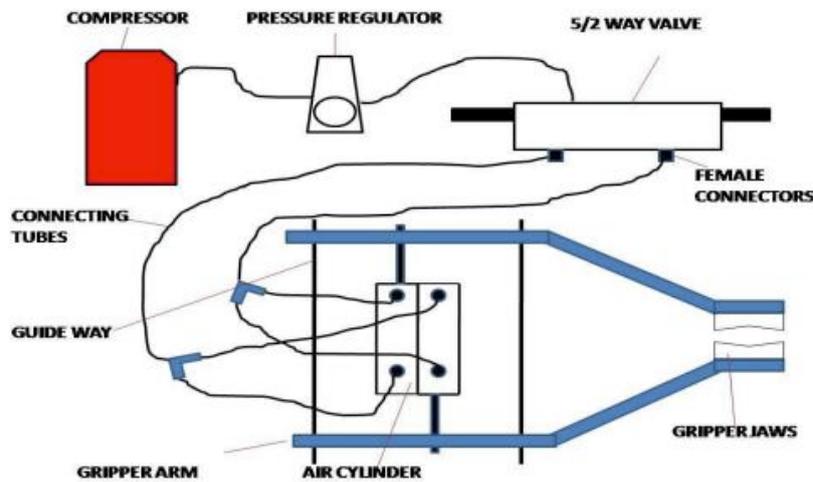
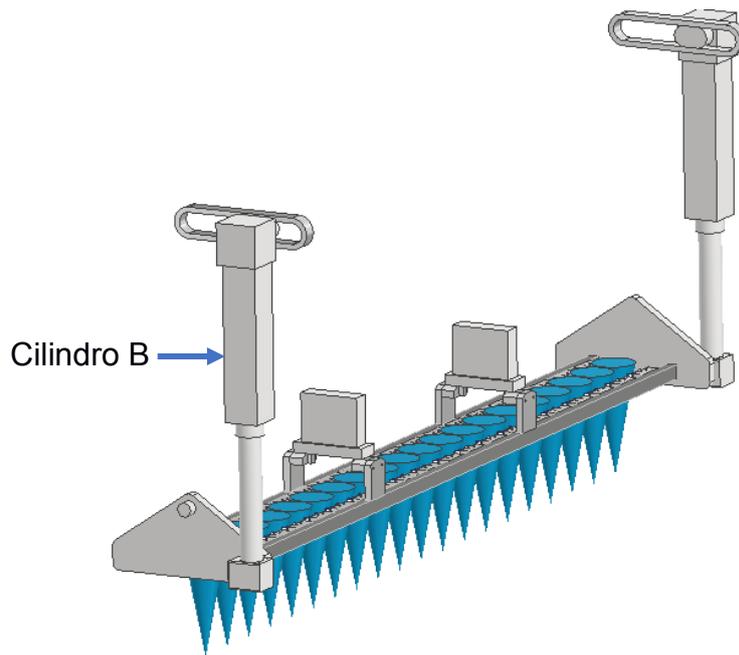


Figura 2.6 Esquema de funcionamiento de una pinza neumática [18].

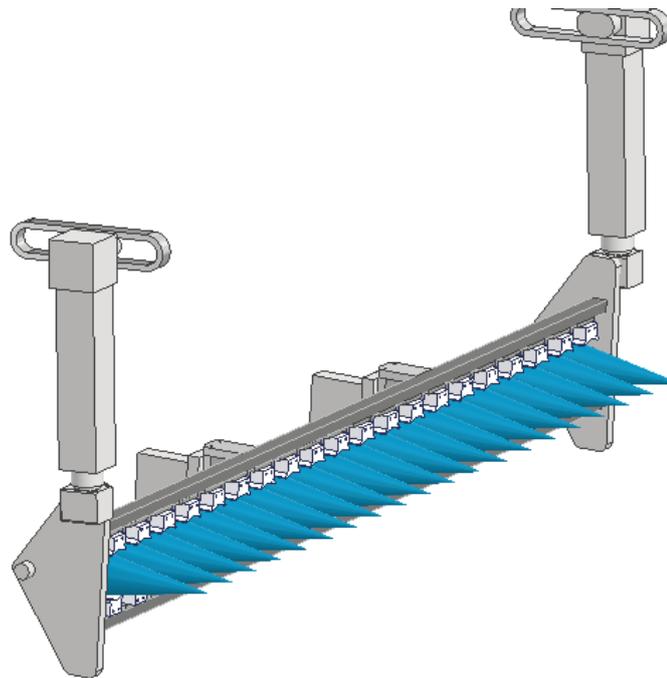
La pinza se encuentra operativa en otra sección de la línea de producción por lo tanto su concepto ya se encuentra validado.

### 2.5.3 Diseño de mecanismos

Una vez definido el diseño del *gripper* para tomar los conos y seleccionado los cilindros neumáticos a usarse en cada sección del sistema, se procede a diseñar el sistema de giro de los conos. Este diseño está compuesto por el cilindro neumático ADN-25-50-I-P-A cuya base puede moverse en el eje horizontal (como una corredera) y cuyo vástago se encuentra acoplado al extremo de cara lateral de las pinzas neumáticas. En la Figuras 2.7 y 2.8, se puede observar el mecanismo descrito:



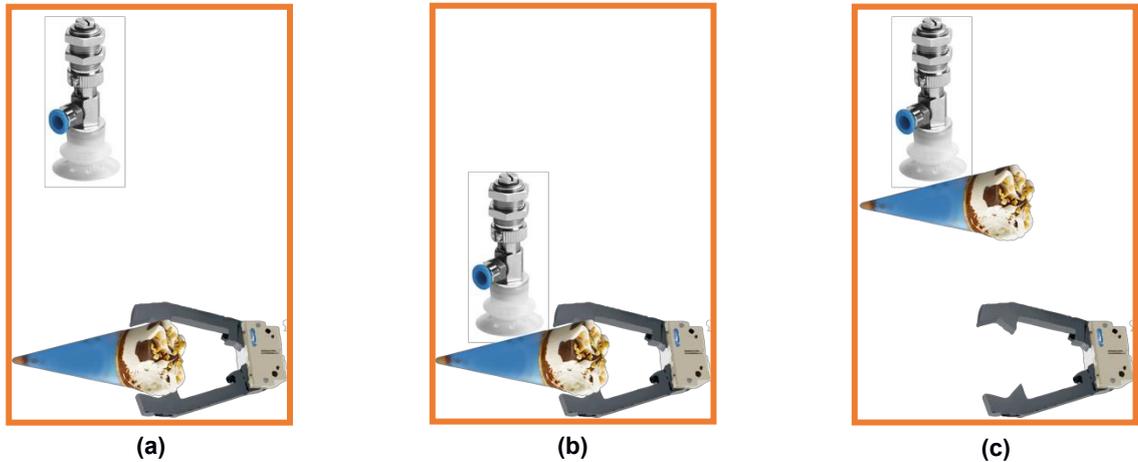
**Figura 2.7 Mecanismo de giro en posición 1.**



**Figura 2.8 Mecanismo de giro en posición 2.**

En la posición 1 el cilindro neumático tiene su vástago extendido y mantiene a los conos en forma vertical. Es en esta posición con la cual el subsistema toma a los conos de las bandejas de entrada. Una vez que el sistema sujete los conos de helado, el vástago del cilindro se retrae llevando el

mecanismo a su posición 2 y se logra el objetivo de colocar los conos en posición horizontal.



**Figura 2.9 Trayectoria vertical del subsistema de ventosas. (a) Estado inicial. (b) Descenso para tomar el helado. (c) Ascenso con el helado.**

Para el movimiento del subsistema de ventosas se considera que este debe realizar dos movimientos en la celda. El primer movimiento, Figura 2.9, debe ser arriba-abajo para mover el subsistema de su posición inicial, Figura 2.9 (a), hacia el subsistema de *grippers* de dónde toman helados, Figura 2.9 (b), y finalmente ascender con el helado como en la Figura 2.9 (c). Este procedimiento será similar para empacar los helados en la caja: la ventosa desciende con el cono, luego se suelta el helado dentro de la caja y la ventosa asciende sin carga.



**Figura 2.10 Trayectoria horizontal del subsistema de ventosas. (a) Posición inicial o atrás. (b) Posición fina o adelante.**

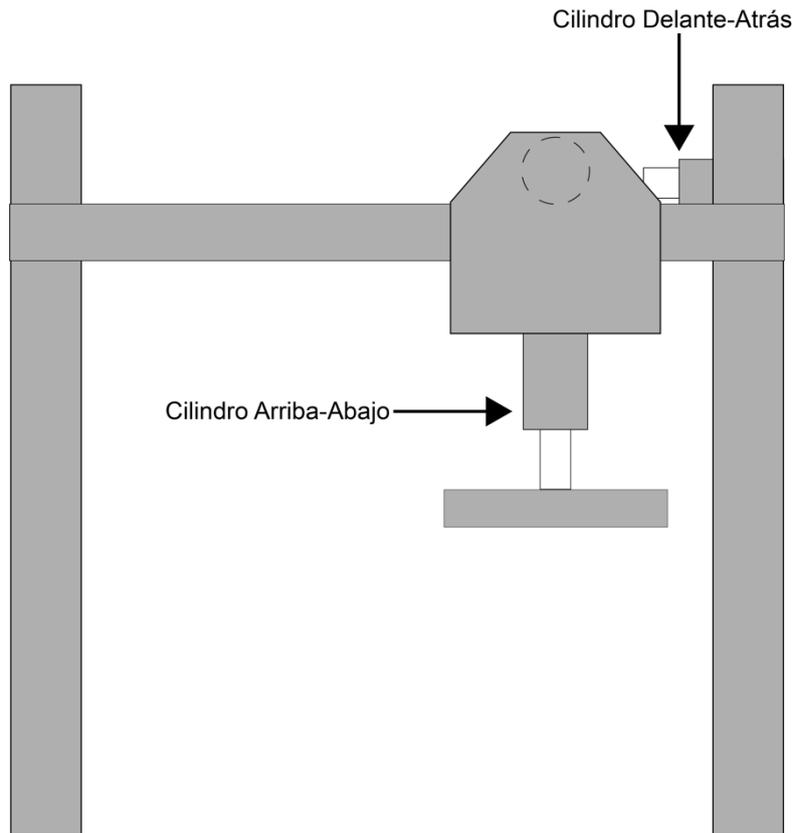
El segundo movimiento es adelante-atrás (Figura 2.10) para mover al subsistema desde el subsistema de *grippers*, Figura 2.10 (a), hasta la estación de cajas como en la Figura 2.10 (b). Para la construcción de los mecanismos de este subsistema se tomará como referencia una sublimadora neumática industrial automática con rieles de la Figura 2.11.



**Figura 2.11 Sublimadora neumática AJ6000 de riel [19].**

El primer movimiento se lo realizará con un cilindro neumático conectado al subsistema de ventosas. Este cilindro debe tener su vástago acoplado al subsistema y su cuerpo adherido a la sección superior de la celda. De esta forma, en la posición inicial del cilindro el subsistema se encontrará arriba y en la posición final se encontrará abajo.

El segundo movimiento requiere de un sistema de rieles que permita el desplazamiento horizontal del subsistema de ventosas. Para esto, se debe contar con una base que se desplazará a lo largo de los rieles debido a las ruedas incorporadas y a dos cilindros que impulsen el subsistema. En la Figura 2.12 se puede observar un esquema de este mecanismo.



**Figura 2.12 Mecanismo del subsistema de las ventosas.**

#### **2.5.4 Selección de actuadores**

Dentro de la celda robótica se dan cuatro movimientos principales que permiten hacer la rotación y traslado de los conos hacia las cajas. El primer subsistema, de pinzas, requiere un cilindro neumático (A) para realizar un movimiento vertical de arriba hacia abajo para tomar los helados que vienen de las bandejas. Después, con un segundo cilindro (B) se acciona el giro de las pinzas con los conos sujetos.

El segundo subsistema interviene cuando los helados se encuentran en posición horizontal para empacarlos en su respectiva caja. Para esto se requiere un cilindro neumático (C) que al igual que el primero (A) baje de forma vertical las ventosas y las ubique en la posición en que puedan succionar los conos. Una vez tomados los conos, interviene el sistema de rieles accionado por cilindros neumáticos (D) que genera una trayectoria horizontal y traslada los conos hasta estar en la misma ubicación sobre la caja. Finalmente, para

bajar los conos interviene nuevamente el cilindro (C) y las ventosas sueltan los conos una vez se haya bajado a la altura de la caja.

Para la selección de los cilindros se determina la fuerza que requieren accionar y a qué presión trabajaran para así poder obtener el diámetro del vástago [20].

$$F = A \times P \quad (2.3)$$

Donde:

F= Fuerza requerida por el émbolo [N].

A = Área del cilindro [m<sup>2</sup>].

P = Presión requerida del sistema [bar].

Tomando en cuenta que cada cono tiene una masa final de 0.0743 kg y que el sistema se diseñó para poder tomar 40 conos simultáneamente, se tiene una masa total de helados igual a 2.972 kg. A esto se le debe agregar el peso de las pinzas o ventosas y las estructuras que los sostenga. Tomando en cuenta esto se aproxima que el peso de la estructura que deben accionar los cilindros (A) y (B) es de 22.78 kg. Para el cilindro (C), el peso de la estructura que cuenta con las 40 ventosas es de 19.97 kg. Finalmente, para el cilindro (D), el peso a mover es de 27.24 kg. La presión por utilizar es de 6 bar debido a que es la utilizada en la mayoría de los procesos dentro del entorno donde se instalará la celda.

En el caso de los cilindros (A) y (B) sumando la masa de los helados, la estructura y añadiendo un factor de seguridad de 30% se tiene un peso total de la estructura de 33.48 kg. Para el cilindro (C), se tiene un peso total de 29.822 kg y para el cilindro (D) un peso total de 35.41 kg incluyendo el factor de seguridad y el peso de los helados. Con estos datos se puede estimar los diámetros de los vástagos.

Cilindros A y B:

$$F = 328.44 [N]$$

$$328.44 [N] = A \times 6 \times 10^5 [Pa]$$

$$A = \frac{328.44}{6 \times 10^5} = 5.47 \times 10^{-4} [m^2]$$

Ahora teniendo en cuenta que:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$5.47 \times 10^{-4} [m^2] = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D_A = 0.026 \text{ m}$$

Cilindro C:

$$F = 292.55 [N]$$

$$292.55 [N] = A \times 6 \times 10^5 [Pa]$$

$$A = \frac{292.55}{6 \times 10^5} = 4.88 \times 10^{-4} [m^2]$$

Ahora, teniendo en cuenta que:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$4.88 \times 10^{-4} [m^2] = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D_C = 0.025 \text{ m}$$

Cilindro D:

$$F = 347.02 [N]$$

$$347.02 [N] = A \times 6 \times 10^5 [Pa]$$

$$A = \frac{347.02}{6 \times 10^5} = 5.78 \times 10^{-4} [m^2]$$

Ahora teniendo en cuenta que:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$5.78 \times 10^{-4} [m^2] = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D_D = 0.027 \text{ m}$$

Se tiene entonces que el diámetro del émbolo del cilindro (A) y (B) debe ser de 26 mm, el cilindro (C) debe tener un diámetro de 25 mm y el cilindro (D), 27 mm. Se consideró trabajar con cilindros de doble efecto para controlar su carrera en ambos sentidos. Respecto a la carrera de los cilindros debe ser de hasta 2 m considerando el espacio físico con el que se cuenta.

Con las características ya definidas, se eligió trabajar con cilindros normalizado DSBC marca Festo bajo la norma ISO 15552. La carrera de cada cilindro dependió de su utilidad dentro de la operación de la celda.



**Figura 2.13 Cilindro DSBC-32-200-PPVA-N3 [21].**

Como cilindros (A) y (C) se eligió al modelo DSBC-32-200-PPVA-N3 que cuenta con un diámetro de émbolo de 32 mm, una carrera de 200 mm, de doble efecto y amortiguación por tope elástico. Estos cilindros servirán para subir y bajar los subsistemas de *grippers* y ventosas.



**Figura 2.14 Cilindro DSBC-32-20-D3-PPVA-N3 [22].**

Para el cilindro (B) se seleccionó el modelo DSBC-32-20-D3-PPVA-N3 que posee las mismas características del cilindro anterior pero con una carrera de 20 mm. Esta carrera fue elegida ya que el sistema de giro no depende de la carrera del cilindro; sin embargo, incide en la anchura que el sistema de *grippers* debe poseer.



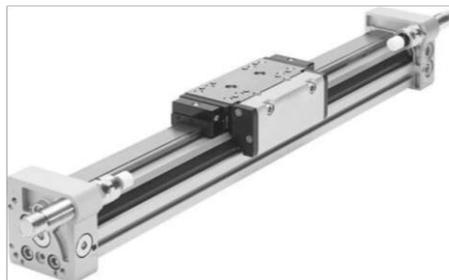
**Figura 2.15 Cilindro DSBC-32-500-PPVA-N3 [23].**

Para el cilindro (D) se seleccionó el modelo DSBC-32-500-D3-PPVA-N3 que posee las mismas características de los cilindros anteriores, pero con una carrera de 500 mm. En este caso, era necesario una carrera extensa ya que mueve los helados hacia las cajas que puede considerarse como otra subestación en la celda.



**Figura 2.16 Cilindro DSBC-32-40-PPVA-N3 [24].**

Existen dos operaciones más a tomar en cuenta dentro de la celda robótica. El primero es el desplazamiento de una de las filas de grippers para que los helados puedan adquirir una posición en la cuál no se choquen al momento de girarlas. Para esto, debe ocurrir un desplazamiento de 35.9 mm y, al ser una carga menos pesada a las anteriores, se puede tener el mismo diámetro de émbolo de 32 mm. Para este acción que se efectuará por el cilindro (E) se seleccionó el modelo DSBC-32-40-D3-PPVA-N3.



**Figura 2.17 Cilindro DGC-K-32-80-PPV-A-GV [25].**

La otra operación a tomar en cuenta es el desplazamiento de la bandeja de manera horizontal en ambas direcciones. Para esto se planteó un sistema de plataformas móviles que requieren moverse máximo 80 mm. Por lo tanto, para los cilindros (F) y (G), uno por cada dirección de movimiento, se seleccionó un cilindro sin vástago del modelo DGC-K-32-80-PPV-A-GV. Este modelo cuenta con una carrera de 80 mm y un diámetro de émbolo de 32 mm. Como la carga no es superior a la de los cilindros anteriores, el diámetro seleccionado ejerce la fuerza suficiente para la operación.

## **2.6 Definición de parámetros de monitoreo y control**

El sistema presentado no requiere de un control de lazo cerrado de variables físicas como velocidad, trayectoria, entre otros. Sin embargo, al tratarse de un sistema neumático que debe seguir una secuencia es necesario el uso de sensores para el inicio y fin de carrera de cada cilindro.

En este caso, la velocidad del sistema va a depender de la velocidad de la banda transportadora de entrada para entregar cuatro bandejas a la celda robótica. Por otro lado, la velocidad de cada componente neumático depende de la presión de entrada que es configurada durante la instalación y puesta en marcha de la celda. Esta presión, por ende velocidad, puede ser modificada en cualquier momento.

## **2.7 Selección de componentes para el control**

### **2.7.1 Selección de sensores**

Para detectar la posición del vástago de un cilindro se pueden usar dos tipos de elementos: finales de carrera y sensores electromagnéticos. Un final de carrera es un sensor electromecánico que sirve para detectar la posición de un elemento móvil como el vástago de un cilindro neumático. Existen diversos tipos de finales de carrera según el tipo de interruptor que acciona su salida. Por otro lado, los sensores electromagnéticos utilizan el campo magnético del magneto acoplado al vástago para detectar la posición de este mediante el efecto Hall.

En la Tabla 2.6 se compara estos sensores para elegir un sensor electromagnético tipo Reed para los cilindros por su facilidad para detectar el inicio y fin de carrera del vástago sin contacto. Además, los cilindros seleccionados para el sistema cuentan con un imán en su vástago para el uso de sensores de posición sin contacto.

**Tabla 2.6 Comparación de finales de carrera y sensores electromagnéticos.**

	Fin de carrera	Sensor electromagnético
Características		
Tipo de accionamiento	Mecánico	Magnético
Tipo de contacto	Físico	Sin contacto

### 2.7.2 Selección de controlador

En un sistema industrial neumático secuencial se requiere aplicar un sistema para la activación y desactivación de las válvulas de control. Como el sistema de control solo es para la activación/desactivación de válvulas, entonces el lenguaje de programación *ladder* es suficiente para esta tarea.

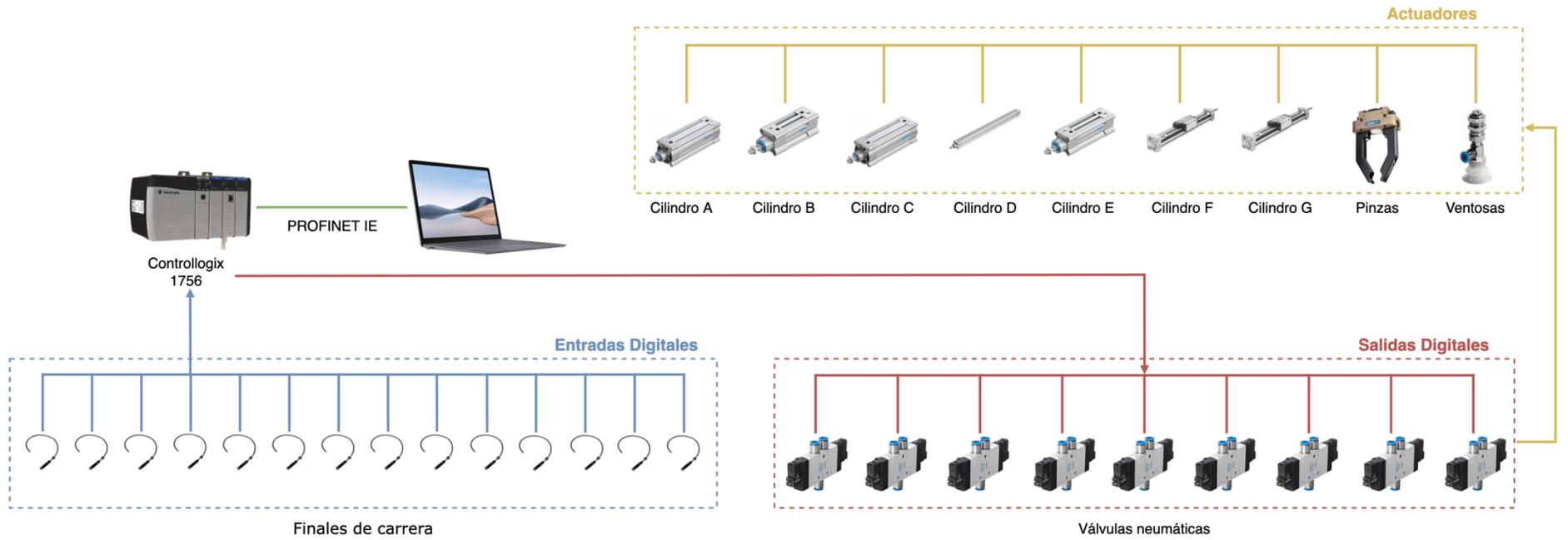
En base al lenguaje de programación seleccionado, se procede a usar un PLC (programador lógico controlable) como el controlador del sistema de monitoreo y control. Tomando en cuenta que el sistema contará con 28 entradas digitales (una por cada inicio y fin de carrera de cada cilindro) y 32 salidas digitales, se selecciona al PLC ControlLogix1756 de Allen Bradley.



**Figura 2.18 PLC ControlLogix1756 de Allen Bradley**

## **2.8 Diseño de la arquitectura de comunicación**

Para la arquitectura de comunicación se seleccionaron los estándares pertenecientes al a *Communication Profile Family 3*. De esta forma, se utiliza el estándar PROFINET para realizar la programación y revisión del sistema de control desde una computadora mediante un cable de red. En este caso no fue necesario el uso de PROFIBUS debido a que el sistema solo se encarga de activar y desactivar los solenoides de las válvulas. En la Figura 2.19 se presenta la arquitectura de comunicación y control del sistema.

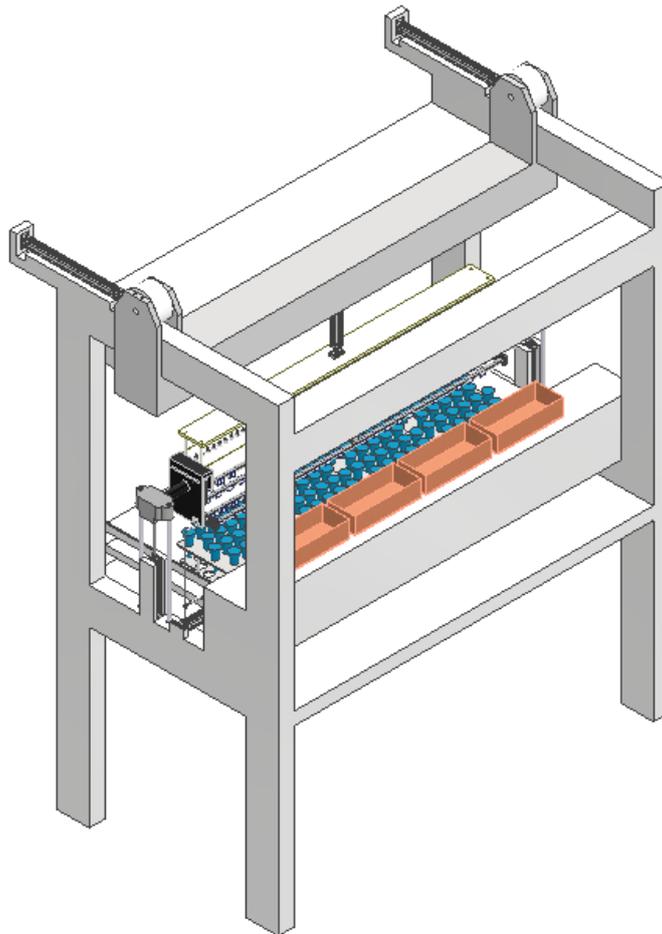


**Figura 2.19 Arquitectura de comunicación**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Diseño mecánico



**Figura 3.1 Celda robótica en software de diseño 3D.**

En la Figura 3.1 se presenta la celda robótica propuesta en este proyecto, misma que fue modelada en el programa Autodesk Inventor. La celda recibe como entrada cuatro bandejas de 22 conos de helados que serán empacados de manera paralela. Primero, el subsistema de pinzas desciende y toma los helados de dos filas, luego asciende con los helados. Después se desplaza la fila de pinzas frontal para que los conos queden cruzados sin chocarse. Una vez que los conos se encuentran en posición horizontal, las ventosas descienden para tomar los conos. Con las ventosas sujetando los conos, los *grippers* abren sus dedos

para que las ventosas puedan ascender. Entonces el subsistema de ventosas transporta a los conos hacia las cajas para su empaquetamiento. El circuito se repite dos veces más para formar los tres pisos de helados en las cajas.

### 3.2 Estructura de la celda robótica

La celda robótica está estructurada por varios subsistemas como: subsistema de giro con pinzas, subsistema de transporte por ventosas, entre otros. En la Tabla 3.1 se identifica cada uno de los subsistemas o componentes generales de la celda.

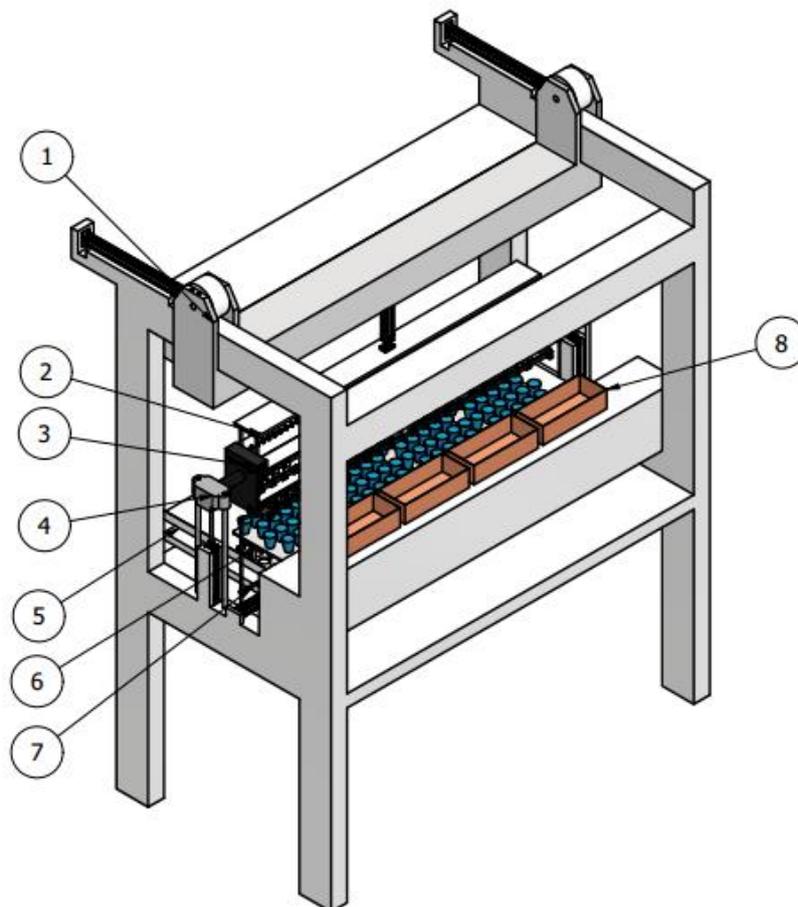


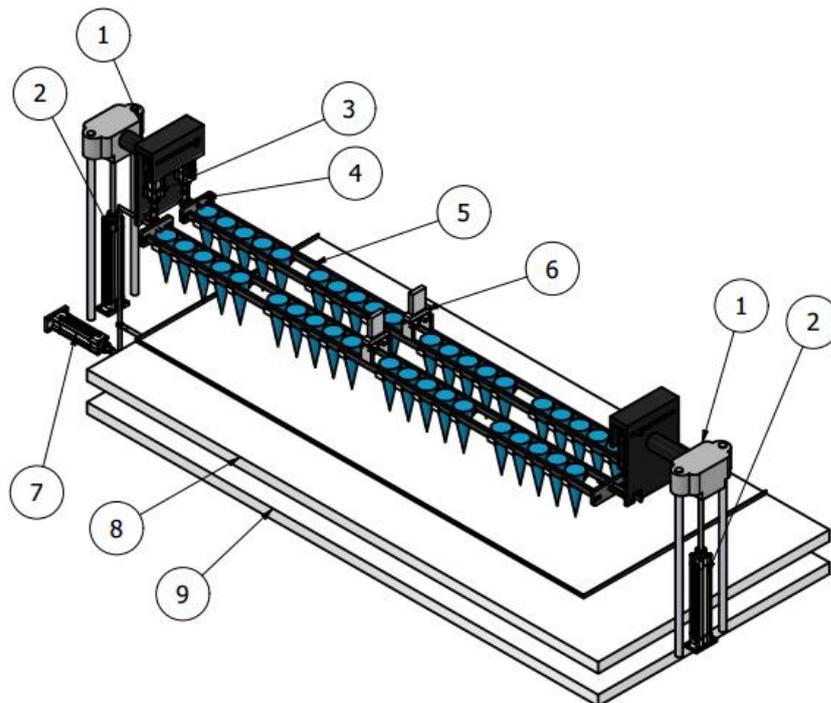
Figura 3.2 Estructura de la celda robótica.

**Tabla 3.1 Componentes generales de la celda robótica.**

Número de ítem	Componente
1	Subsistema de riel
2	Subsistema de ventosas
3	Subsistema de <i>grippers</i>
4	Mecanismo de ascenso-descenso del subsistema de <i>grippers</i>
5	Plataforma móvil para movimiento en dos dimensiones de las bandejas
6	Entrada de bandejas a la celda robótica
7	Mecanismo de alineación de helados
8	Salida de cajas empacadas de la celda

### 3.2.1 Subsistema de *grippers*

El subsistema de *grippers* se forma por componentes que permiten la captura, giro y alineación de los helados. Sus componentes se indican en la Tabla 3.2.



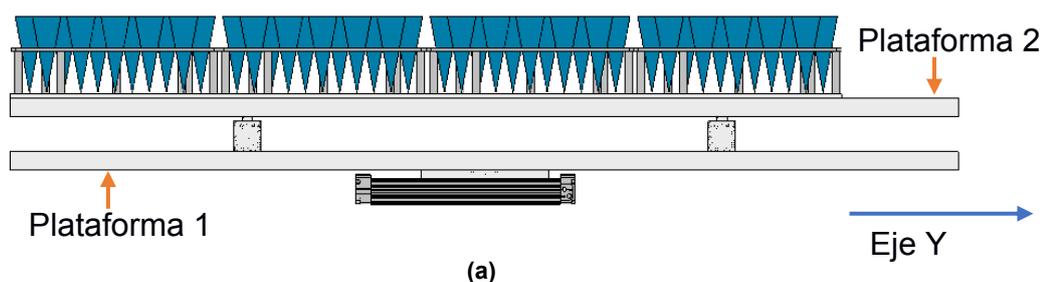
**Figura 3.3 Subsistema de *grippers*.**

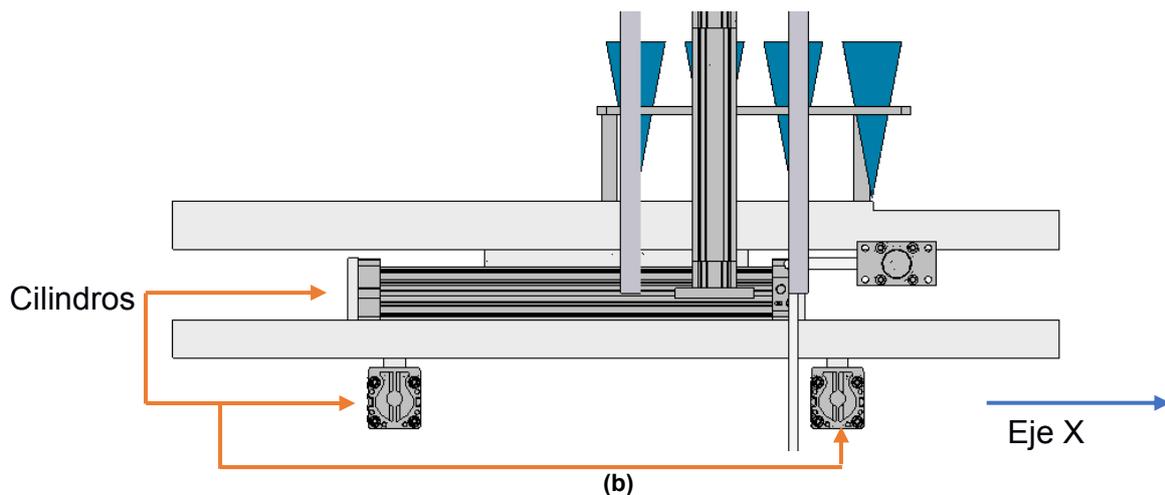
**Tabla 3.2 Componentes del subsistema de *grippers*.**

Número de ítem	Componente
1	Mecanismo para ascenso y descenso del subsistema de <i>grippers</i>
2	Cilindro A
3	Cilindro B
4	Base para girar los <i>grippers</i> con los helados
5	Dedos de la pinza neumática
6	Pinza neumática
7	Mecanismo para alineación de los helados
8	Plataforma móvil 2 para desplazamiento de bandejas en el eje X
9	Plataforma móvil 1 para desplazamiento de bandejas en el eje Y

### 3.2.2 Mecanismo de posicionamiento de bandejas

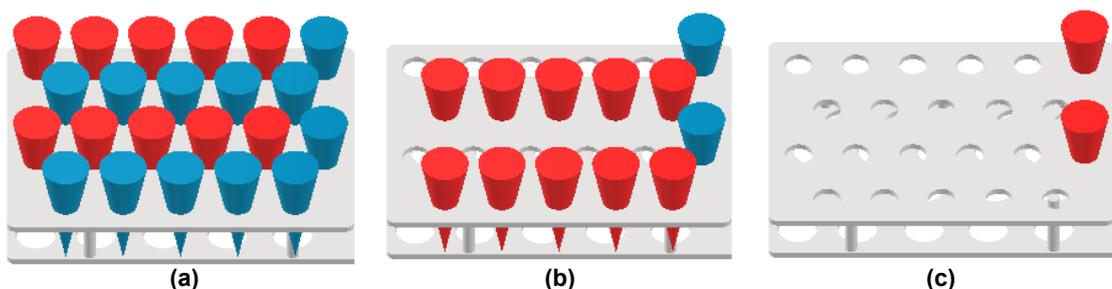
Para operar sobre las cuatro filas de las bandejas de entrada y formar los tres niveles de helados en las cajas, se diseñó un subsistema de posicionamiento para las bandejas. Este consistió en dos plataformas móviles mediante cilindros sin vástago que permiten que las bandejas tengan un movimiento prismático en el eje X y eje Y. Debido a que se necesitaba un desplazamiento máximo de 80 mm en ambos ejes, se seleccionaron cilindros DGC-K-32-80-PPV-A-GV para ambas plataformas. El modelo del cilindro cuenta con un émbolo con diámetro de 32 mm y una carrera de 80 mm. Este mecanismo se presenta en la Figura 3.4.





**Figura 3.4 Mecanismo de posicionamiento de bandejas. (a) Vista frontal. (b) Vista lateral izquierda.**

En la plataforma 2, los cilindros actúan para mover las bandejas en sentido del eje X y de esta forma alternar entre el par de filas con el que la celda opera. Por otro lado, en la plataforma 1, los cilindros mueven las bandejas en sentido del eje Y para alinear el segundo par de filas en la misma posición que el par previo y para alinear los últimos dos conos restantes de cada bandeja para que sean tomados por las pinzas.



**Figura 3.5 Proceso de elección de helados de trabajo. (a) Etapa 1. (b) Etapa 2. (c) Etapa 3.**

En la posición inicial, Figura 3.5 (a), los cilindros de ambas plataformas se encuentran totalmente retraídos. Aquí la celda opera sobre los primeros cinco helados (conos rojos), de izquierda a derecha, del primer par de filas de trabajo. Después, los cilindros de la plataforma 2 se extienden totalmente (80 mm) y los cilindros de la plataforma 1 se extienden 35.9 mm para que la bandeja adquiera la configuración de la Figura 3.5 (b). En esta configuración, la celda puede operar sobre los cinco helados del segundo par de filas de trabajo. Finalmente, los cilindros de la plataforma 1 se contraen completamente y los de

la plataforma 2 se extienden hasta los 71.8 mm. En esta configuración, Figura 3.5 (c), la celda opera sobre los conos restantes del primer par de filas de trabajo.

### 3.2.3 Subsistema de ventosas

El subsistema de ventosas se conforma por una base móvil para transportar las ventosas a través de un riel (parte de la estructura mecánica). Con el cilindro C, el subsistema puede descender y ascender para tomar o dejar los helados.

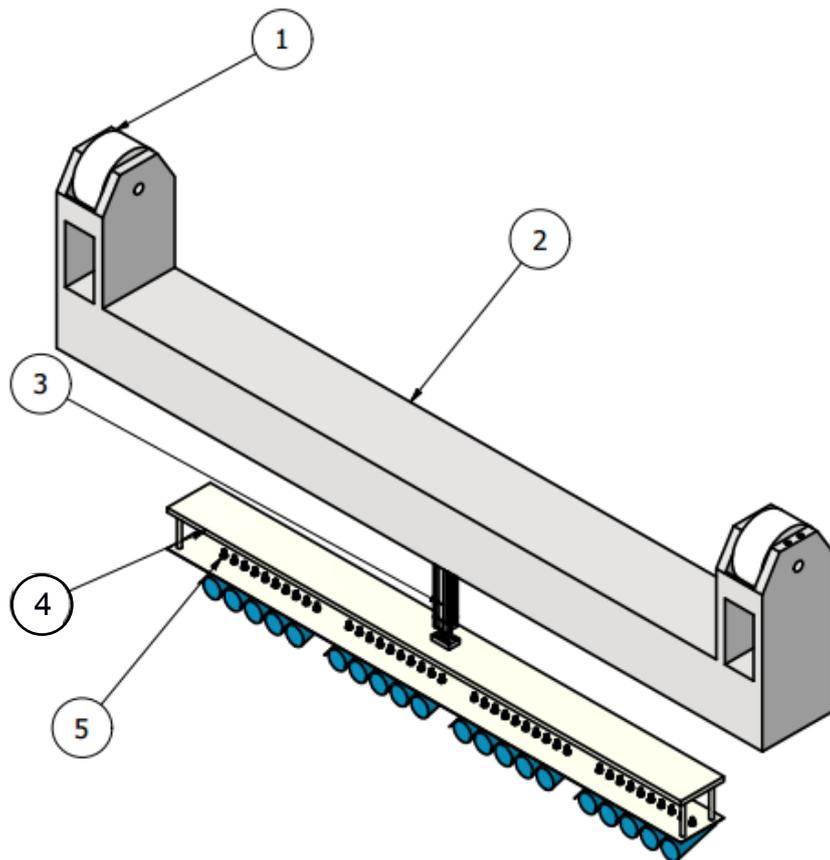


Figura 3.6 Subsistema de ventosas.

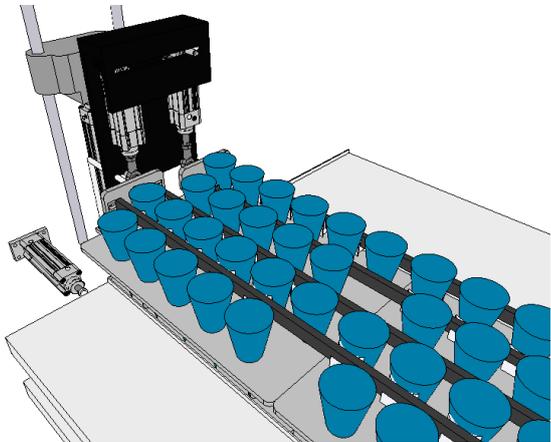
**Tabla 3.3 Componentes del subsistema de ventosas.**

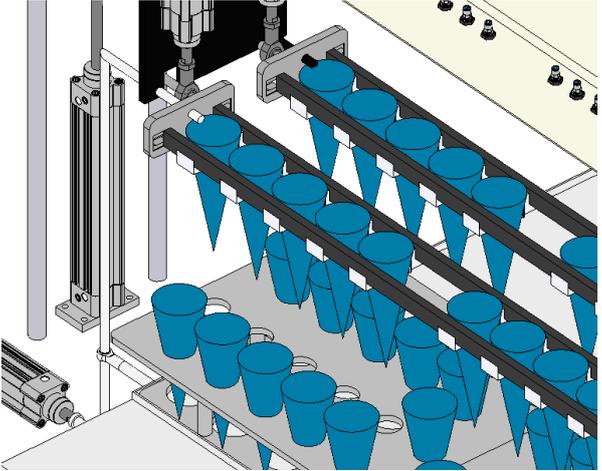
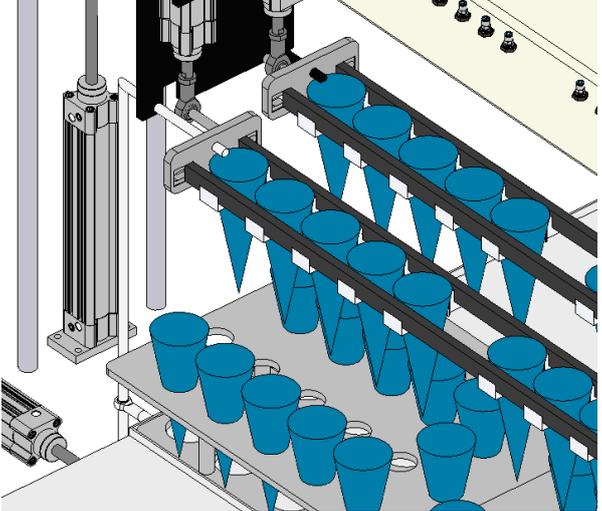
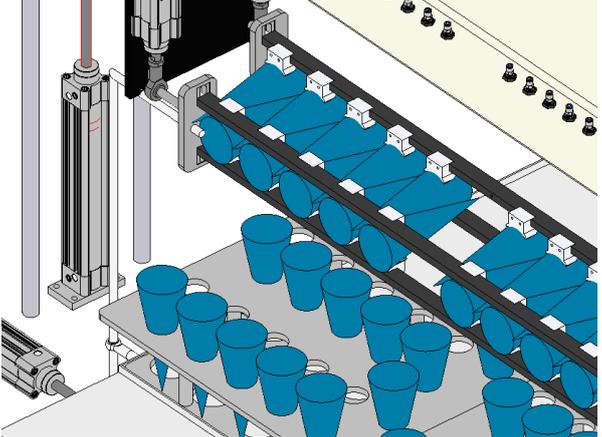
Número de ítem	Componente
1	Rueda del subsistema
2	Base para el transporte del subsistema
3	Cilindro C
4	Base para las ventosas
5	Ventosas neumáticas

### 3.3 Proceso de la celda robótica

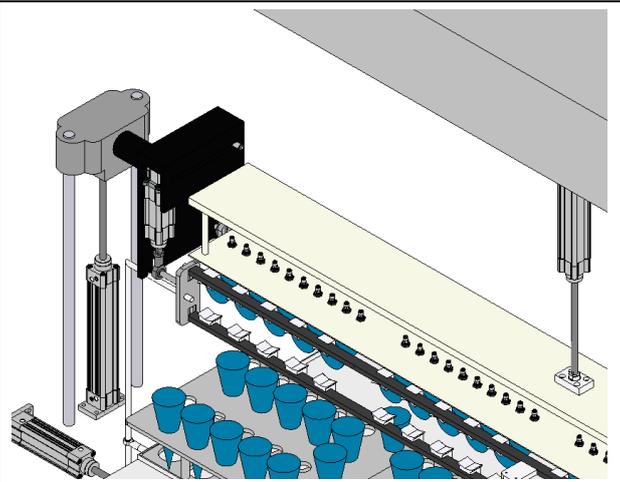
Con todos los subsistemas diseñados, la celda robótica fue capaz de seguir una operación completa y automática para empaquetar cuatro cajas de helados simultáneamente. El proceso es descrito en la Tabla 3.4 que se presenta a continuación:

**Tabla 3.4 Secuencia de la operación de la celda robótica.**

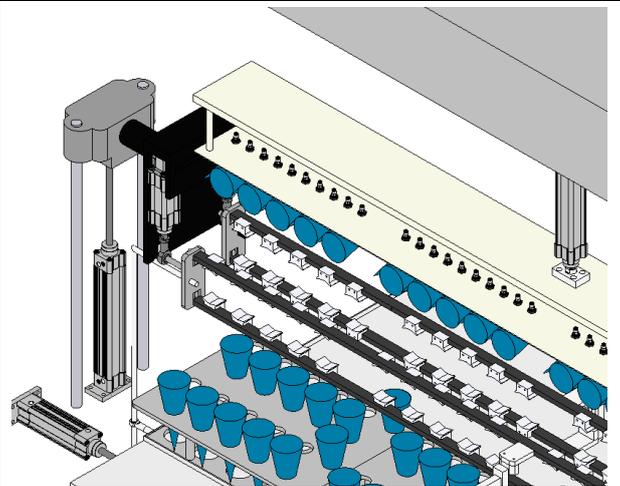
Paso	Referencia
1) Cuando existen cuatro bandejas en la entrada de la celda, el subsistema de <i>grippers</i> desciende para tomar los primeros 10 helados de su operación.	

<p>2) Con los helados tomados, el subsistema de <i>grippers</i> asciende.</p>	
<p>3) Se recorre 35.9 mm la fila de <i>grippers</i> frontal para que los helados queden intercalados y puedan ser girados horizontalmente sin chocarse.</p>	
<p>4) Los cilindros del sistema de giro se contraen y los helados se encuentran horizontalmente.</p>	

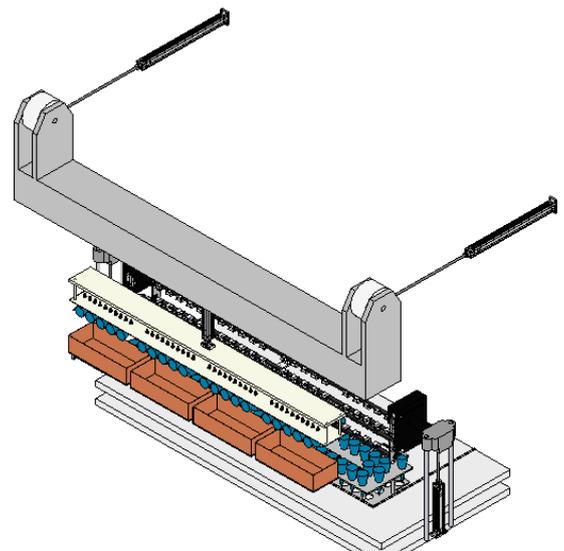
5) Las ventosas descenden y toman los helados.



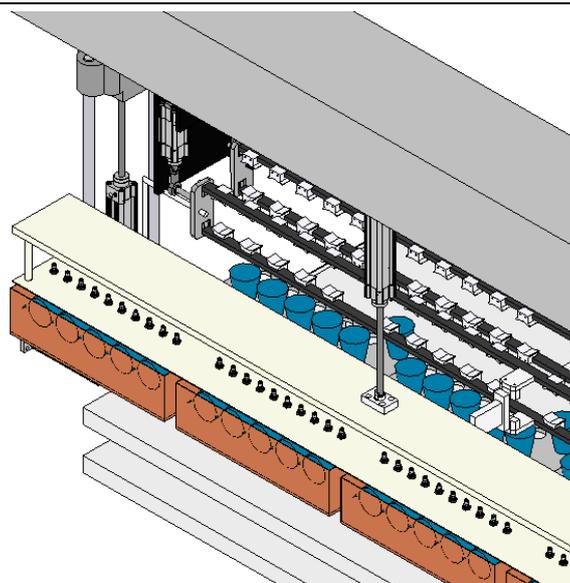
6) Las ventosas ascienden con los helados.



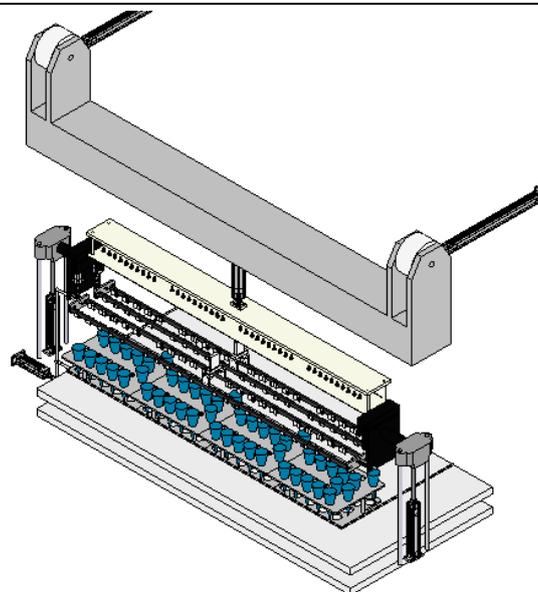
7) Los cilindros del sistema de rieles se extienden y transportan los helados hacia las cajas.



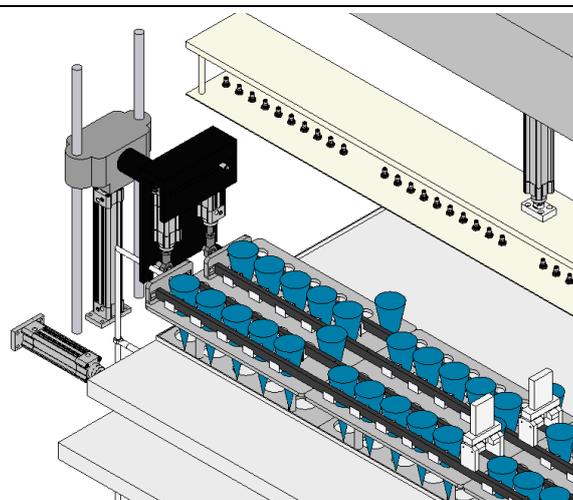
8) El subsistema de ventosas descende y empaca los conos en la caja, formando el primer nivel.



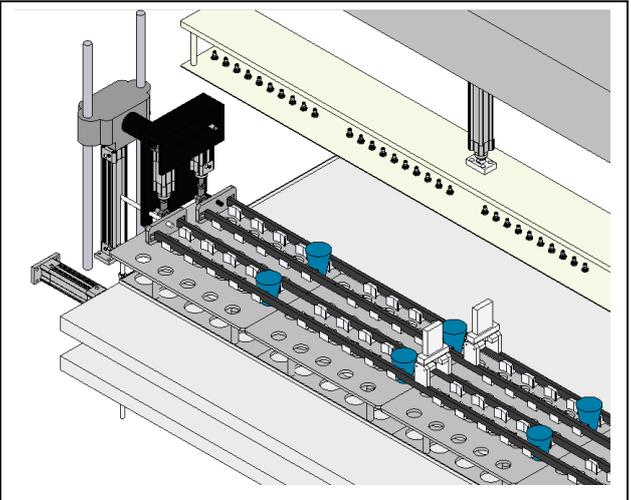
9) El sistema vuelve a su posición inicial.



10) La plataforma 1 se extiende 35.9 mm y la plataforma 2 se extiende 80 mm para operar sobre el segundo par de filas de helados. Los pasos 1 al 9 se repiten para formar el segundo nivel de helados en la caja.



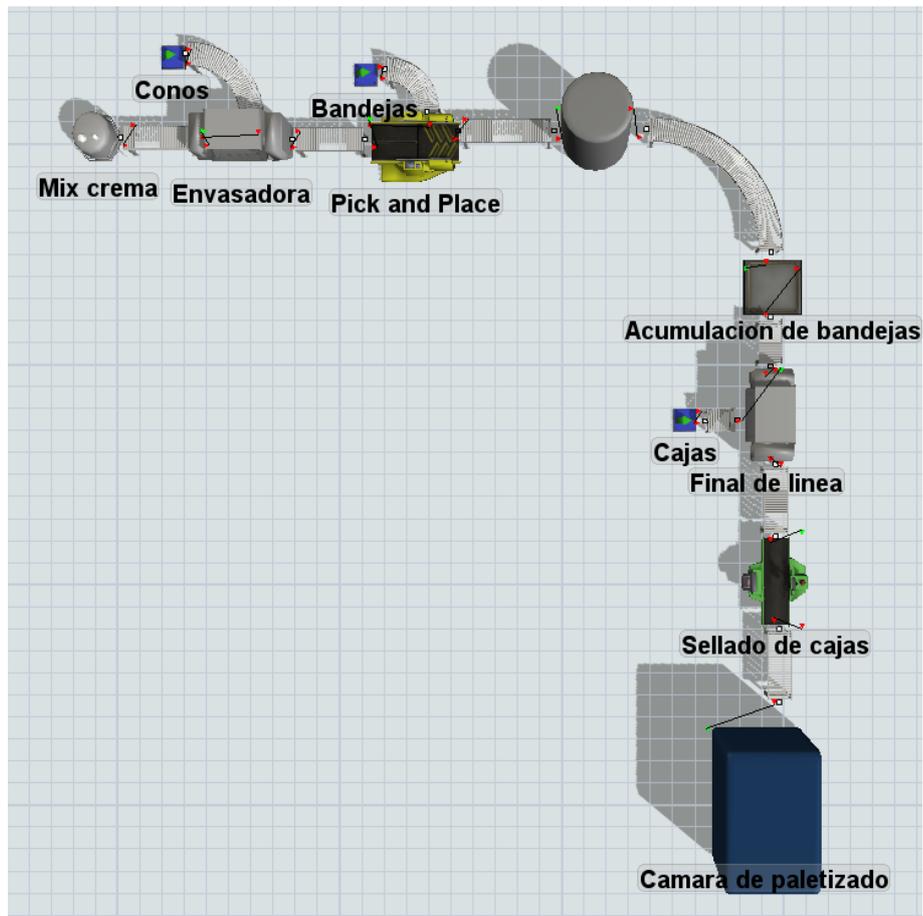
11) La plataforma 1 alcanza una extensión de 71.8 mm y la plataforma 2 se contrae 80 mm para operar sobre los helados restantes del primer par de filas de helados. Los pasos 1 al 9 se repiten para formar el tercer nivel de helados en la caja.



### 3.4 Diseño del flujo de proceso

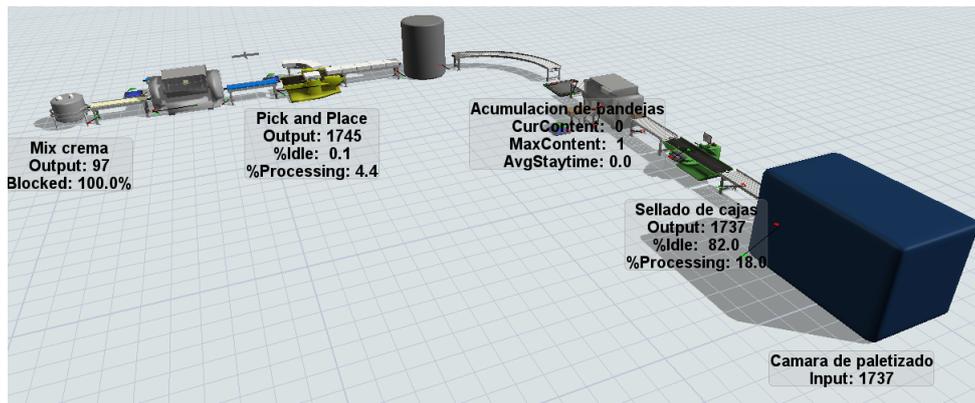
Para validar que el sistema completo de la línea de producción cumpla con el requisito de entrega de 221 cajas por hora como mínimo, se modeló en el software Flexsim el flujo del proceso reflejando las dimensiones, ubicaciones y trayectorias de la línea existente y agregando la celda robótica. En la Figura 3.7 se puede observar cada una de las máquinas que forman parte del proceso, a las cuales se les asignaron sus velocidades reales con las que trabajan en el proceso actual.

El proceso inicia con el ingreso de crema a la envasadora donde es dosificada en cada cono. Una vez los conos salen de la envasadora en dos filas paralelas entran a una celda *Pick and Place* donde se tiene también un ingreso de las bandejas blancas vacías y son insertados cada uno de los conos en una bandeja hasta completar 22 conos. La bandeja con los conos es transportada hacia el túnel de congelamiento donde el producto una vez cumple la temperatura deseada sale del túnel y entra al sistema diseñado de empaque automatizado de conos que en este caso esta descrito como final de línea. A este sistema deben ingresar las cajas vacías ya armadas para irse llenando de los 22 conos por caja. Finalmente, las cajas llenas pasan por una selladora que las encinta para evitar su apertura y son enviadas a una cámara de paletizado.



**Figura 3.7 Flujo del proceso en Flexsim.**

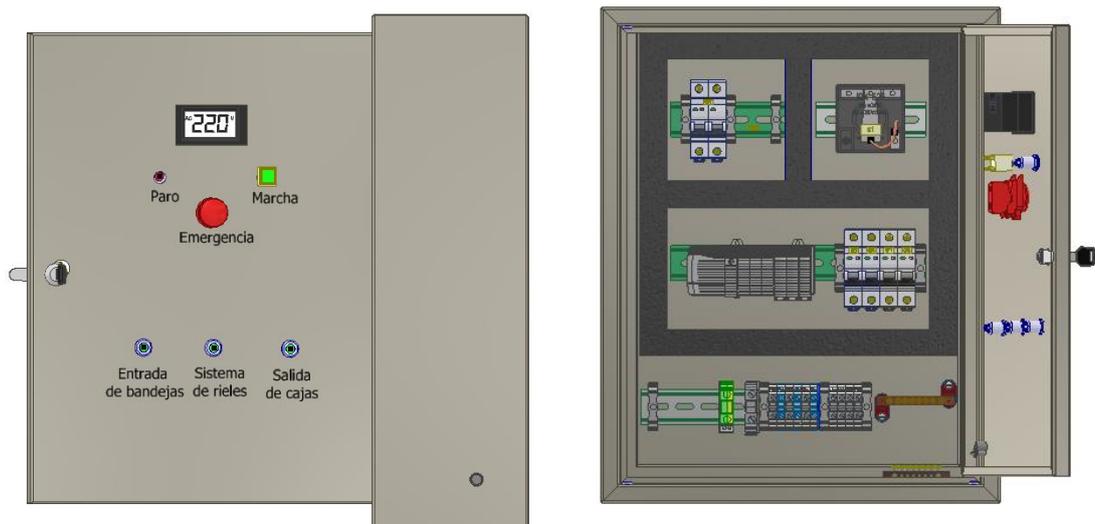
El resultado que se requiere para completar el análisis es cuántas cajas llegaron al área de paletizado al finalizar un turno de producción de 8 horas. Al ejecutar la simulación se obtuvo un total de 1,780 cajas; por lo que se obtienen 222.5 cajas por hora.



**Figura 3.8 Resultado de la simulación por 8 horas.**

### 3.5 Diseño del tablero eléctrico

Se diseñó el tablero eléctrico que controla el sistema, cuenta con el controlador seleccionado previamente y componentes básicos de seguridad para los equipos. En la parte exterior del tablero se tiene el botón de marcha, de paro y un pulsador de emergencia que detiene de forma inmediata todo el sistema. Así mismo, se añadieron luces leds para que visualmente se pueda notificar cuando se esté detectando el ingreso de las bandejas al sistema, también cuando el sistema de rieles esté en funcionamiento y, por último, uno que notifica la salida de cajas del sistema hacia el sistema de sellado.



**Figura 3.9 Tablero de control.**

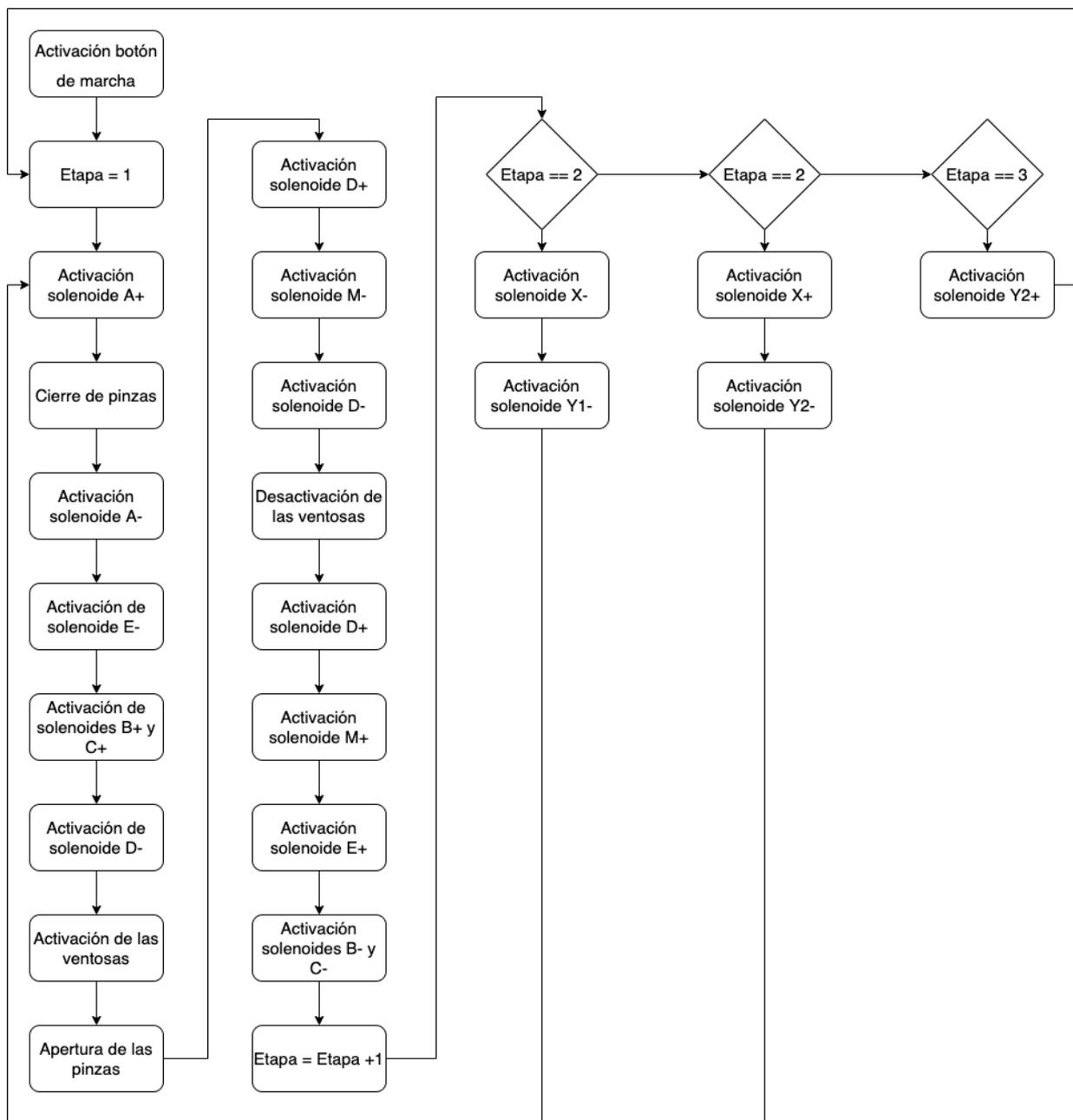
### **3.6 Esquema de fuerza y control**

Para simular la secuencia del sistema, considerando que cuenta con actuadores neumáticos y electroválvulas, se utilizó el programa Automation Studio. Se realizó la construcción del circuito neumático y la sección de control eléctrico del mismo considerando las señales que activan cada una de las electroválvulas y los fines de carrera asociados a cada actuador. En la Tabla 3.5 se enlistaron los actuadores y se define la secuencia que siguen para ser plasmada en el circuito electroneumático.

**Tabla 3.5 Actuadores neumáticos del sistema.**

<b>Subsistema</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Grippers	A	Subida y bajada de <i>grippers</i> (2)
Grippers	B	Voltea <i>grippers</i> hacia adentro (2)
Grippers	C	Voltea <i>grippers</i> hacia afuera (2)
Ventosas	D	Subida y bajada de ventosas (1)
Base	E	Movimiento de fila de conos en bandeja (1)
Base	X	Empuje de bandejas 80 mm hacia atrás (1)
Base	Y1	Empuje de bandejas 35.9 mm hacia la izquierda (1)
Base	Y2	Empuje de bandejas 71.8 mm hacia la izquierda (1)
Ventosas	V	Succión por las ventosas (1)
Grippers	G	Apertura y cierre de grippers (1)
Rieles	M	Movimiento de izquierda a derecha sobre el riel (1)

La secuencia por seguirse es la presentada en el siguiente diagrama de flujo:



**Figura 3.10 Diagrama de flujo del sistema neumático.**

Con esto se diseñó el siguiente circuito neumático (Figura 3.11) con su respectivo control que se activa al pulsarse el botón de inicio:

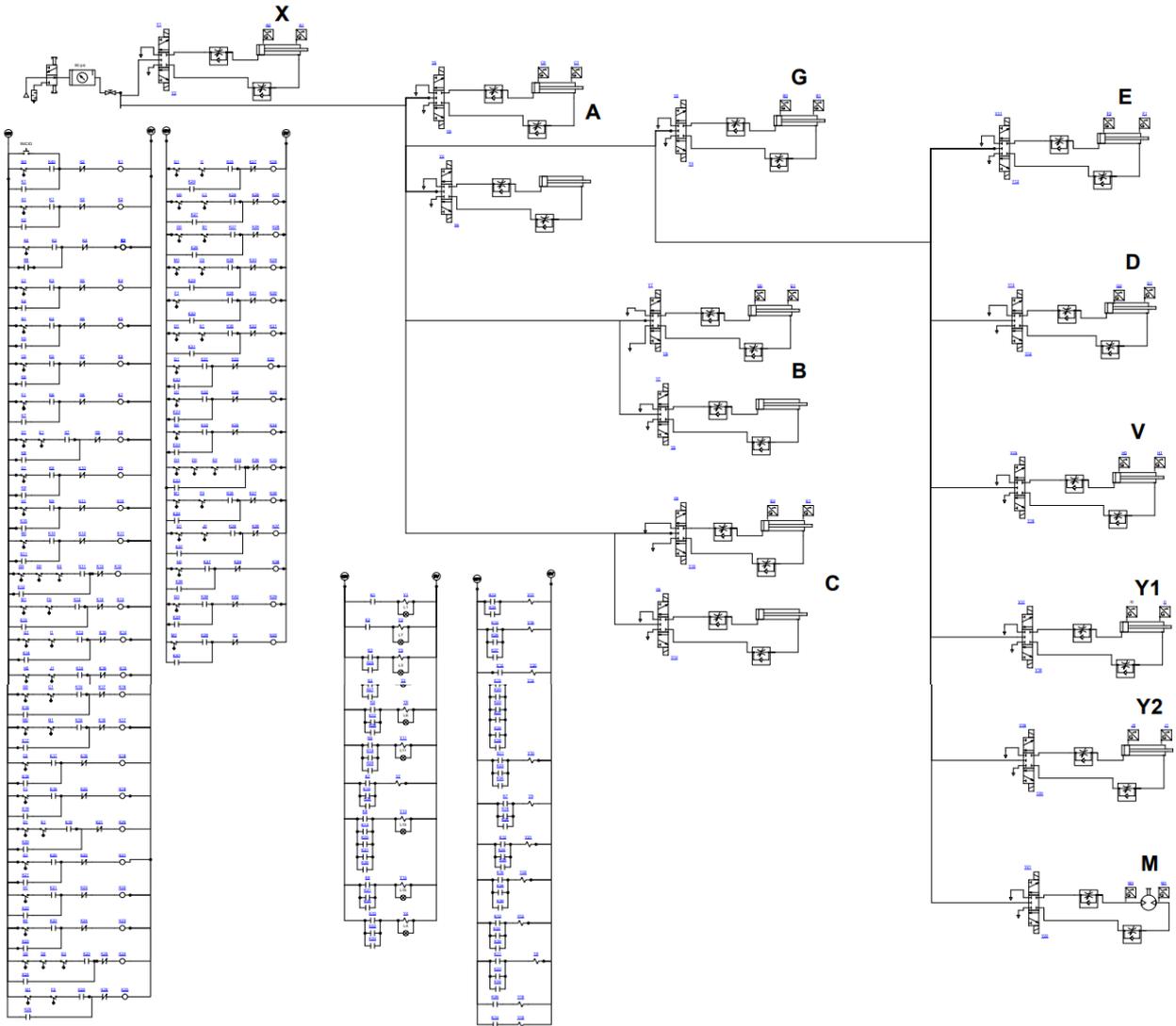


Figura 3.11 Circuito electro neumático del sistema

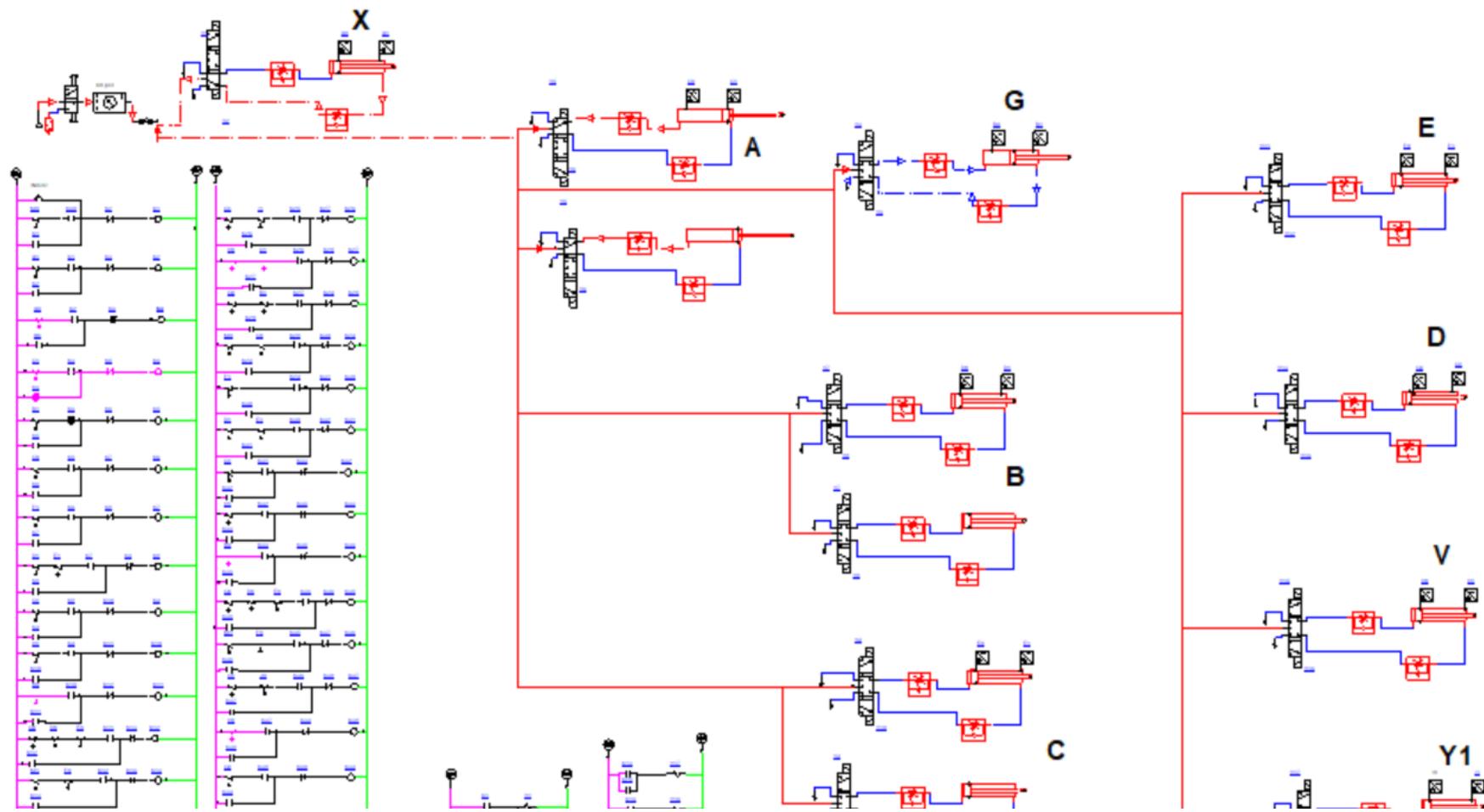


Figura 3.12 Simulación del sistema neumático.

A las ventosas y *grippers* se los representó por medio de cilindros neumáticos. Para que se logre cumplir la secuencia planteada se programó el circuito de control tomando los inicios y fin de carrera de cada actuador como interruptores de proximidad los cuales a su vez activan y desactivan bobinas que luego fueron asociadas a cada uno de los relés que permiten la extensión y retracción de los actuadores.

Como se muestra en la Figura 3.12, se inició la simulación aperturando una válvula de paso y presionando el pulsador de marcha de todo el sistema. Se observa cómo fluye la secuencia descrita previamente.

Para el control de la lógica del sistema se configuró el PLC seleccionado de ControlLogix1756 de la marca Allen Bradley por medio del simulador *Connected Components Workbench* (CCW). Inicialmente se enlistaron las entradas y salidas de este definiendo el tipo de dato y una descripción de cada etiqueta. En la Figura 3.13 se muestran las entradas y salidas físicas del controlador.

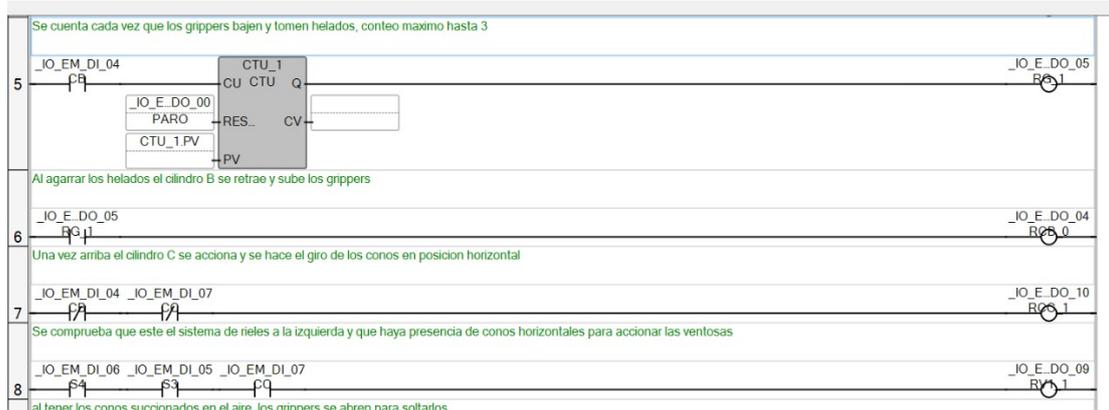
User Global Variables - Micro850 Local Variables - N/A System Variables - Micro850 I/O - Micro850 Defined Words						
Name	Alias	Data Type	Dime	Initial	Comment	
		B				
IO EM DO 00	PARO	BOOL				
IO EM DO 01	RCA 1	BOOL			Rele para accionar cilindro A	
IO EM DO 02	RCA 0	BOOL			Rele para retraccion del cilindro A	
IO EM DO 03	RCB 1	BOOL			Rele para accionar cilindro B	
IO EM DO 04	RCB 0	BOOL			Rele para retraccion cilindro B	
IO EM DO 05	RG 1	BOOL			Rele para cerrar grippers	
IO EM DO 06	RG 0	BOOL			Rele para abrir grippers	
IO EM DO 07	KM1	BOOL			Giro de motor hacia derecha	
IO EM DO 08	KM2	BOOL			Giro de motor hacia izquierda	
IO EM DO 09	RV1 1	BOOL			Rele para accionar succionamiento de las ventosas	
IO EM DO 10	RCC 1	BOOL			Rele para accionar cilindro C	
IO EM DO 11	RCC 0	BOOL			Rele para retraccion cilindro C	
IO EM DO 12	RCD 1	BOOL			Rele para accionar cilindro D	
IO EM DO 13	RCD 0	BOOL			Rele para retraccion cilindro D	
IO EM DO 14	RV1 0	BOOL			Rele para cancelar succion de ventosas	
IO EM DO 15		BOOL				
IO EM DO 16		BOOL				
IO EM DO 17		BOOL				
IO EM DO 18		BOOL				
IO EM DO 19		BOOL				
IO EM DI 00	MARCHA	BOOL				
IO EM DI 01	S1	BOOL			Detecta presencia de 4 bandejas en la banda 1	
IO EM DI 02	CA	BOOL			Fin de carrera cilindro A	
IO EM DI 03	S2	BOOL			Detecta la presencia de 4 bandejas en la banda 2	
IO EM DI 04	CB	BOOL			Fin de carrera cilindro B	
IO EM DI 05	S3	BOOL			Sensor que detecta presencia de conos bajo las ventosas	
IO EM DI 06	S4	BOOL			Sensor que detecta cuando el sistema de ventosas esta to	
IO EM DI 07	CC	BOOL			Fin de carrera cilindro C	
IO EM DI 08	S5	BOOL			Sensor que detecta cuando el sistema de ventosas esta to	
IO EM DI 09	CD	BOOL			Fin de carrera cilindro D	
IO EM DI 10	S6	BOOL			Detecta presencia de 4 cajas	
IO EM DI 11		BOOL				

**Figura 3.13 Listado de entradas y salidas del PLC.**

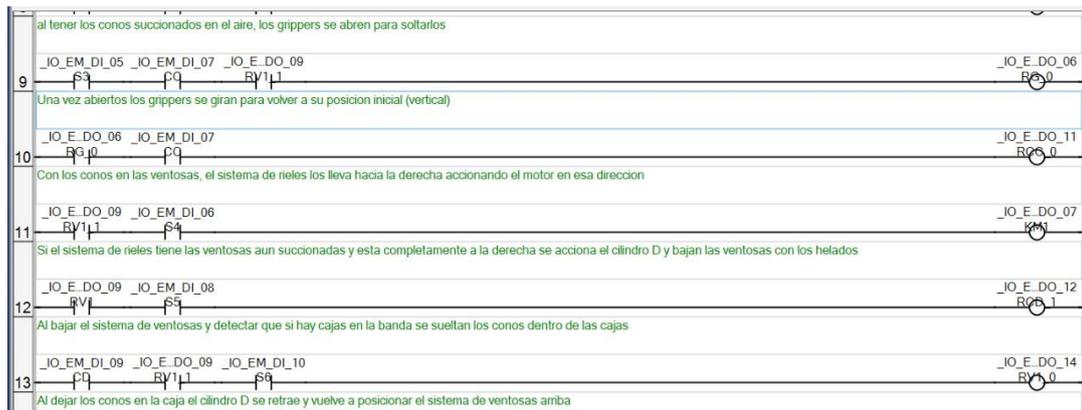
Una vez enlistadas se procedió a programar en lenguaje *ladder* la lógica del sistema, comentando cada uno de los renglones:



**Figura 3.14 Inicio del sistema.**



**Figura 3.15 Conteo para validar la cantidad de bandejas que ingresa.**



**Figura 3.16 Secuencia que activa cada actuador en orden.**

### 3.7 Análisis de costos

Los costos para la implementación de este proyecto fueron segmentados por los tipos de sistemas que lo componen. Para el sistema mecánico se consideraron todos los elementos neumáticos seleccionados y en las cantidades necesarias para que se logre tomar los 40 conos de forma simultánea. En esta sección de costos, la fabricación y mecanización del sistema de *grippers* y la estructura de rieles con el sistema de succión es donde se encuentra el mayor gasto, esto debido al tamaño físico de la estructura y el tipo de material a usarse. Al tratarse de una producción de alimentos y un sistema que tiene contacto directo con el producto final debe utilizarse acero inoxidable AISI 304.

Respecto al sistema eléctrico y de control se consideraron los elementos de instrumentación y componentes que conforman el tablero eléctrico, incluyendo el PLC seleccionado: ControlLogix 1756 de la marca Allen Bradley. En la Tabla 3.6 se muestran los costos desglosados y las cantidades para cada componente.

**Tabla 3.6 Costos del proyecto**

Tipo de sistema	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio UNIT (USD)	Precio Total (USD)
<b>Mecánico</b>	Cilindro DSBC-32-200-PPVA-N3	3	u	\$ 136,63	\$ 409,89
	Cilindro DSBC-32-20-PPVA-N3	4	u	\$ 100,50	\$ 402,00
	Cilindro DSBC-32-500-PPVA-N3	2	u	\$ 220,76	\$ 441,52
	Cilindro DSBC-32-30-PPVA-N3	1	u	\$ 125,87	\$ 125,87
	Actuador DGC-K-32-80-PPV-A-GV	4	u	\$ 150,34	\$ 601,36
	Ventosa ESG-8-SF-HC-PK.	40	u	\$ 75,45	\$ 3.018,00
	Electroválvulas 5/2 FESTO	28	u	\$ 35,67	\$ 998,76
	Válvulas 3/2 FESTO	14	u	\$ 33,45	\$ 468,30
	Fabricación y mecanizado de sistema de grippers en acero inoxidable AISI 304	1	u	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
	Fabricación y mecanizado de sistema de rieles en acero inoxidable AISI 304	1	u	\$ 12.600,00	\$ 12.600,00
	Materiales para estructura	1	u	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
	<b>Eléctrico y control</b>	Sensores de fin de carrera	2	u	\$ 100,34
Sensores magnéticos		28	u	\$ 156,87	\$ 4.392,36
PLC CompactLogix L33ER		1	u	\$ 700,00	\$ 700,00
Botón de paro		1	u	\$ 6,64	\$ 6,64
Pulsador de marcha		1	u	\$ 2,50	\$ 2,50
Sensor de proximidad infrarojo		4	u	\$ 200,00	\$ 800,00
Pulsador de emergencia		1	u	\$ 2,50	\$ 2,50
Baliza de luz estroboscópica		1	u	\$ 2,50	\$ 2,50
Tablero eléctrico y estructura de tablero		1	u	\$ 400,00	\$ 400,00
Componentes eléctricos del tablero		1	u	\$ 900,00	\$ 900,00
<b>Otros</b>	Ingeniería de detalle	1	u	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
	Mano de obra	1	u	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 47.472,88</b>

Se incluyó como parte de los costos del proyecto la ingeniería de detalle que incluye el diseño de los planos, los cálculos y especificaciones técnicas de los componentes y materiales a emplear. Así mismo se incluyó la mano de obra con un costo de \$15 la hora considerando el trabajo de dos personas por 167h.

Una vez definidos los costos, se procedió a calcular el ahorro que genera la implementación del proyecto y cuánto tardaría el retorno de la inversión. Al ser un proyecto con un costo mayor a los \$15,000.00, el cliente permite que se obtenga un retorno de inversión hasta en 2.5 años, para esto se obtuvo el ahorro total de \$31,640.00 al año.

**Tabla 3.7 Beneficios de implementación**

<b>Ahorro anual</b>	
Mano de obra	\$ 30,600.00
Eficiencia	\$ 1,040.00
<b>Total</b>	<b>\$ 31,640.00</b>

Con esto se proyecta que se obtendrá un retorno de inversión dentro de 1 año y 5 meses, manteniéndose el ahorro calculado y estando dentro del rango de tiempo aceptado por el cliente para poder ejecutar el proyecto.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

La empaquetadora automática de helados tipo cono diseñada logró cumplir con las restricciones impuestas por el cliente como las dimensiones espaciales a ocupar y con la funcionalidad indicada de empaquetar helados provenientes de bandejas blancas en cajas siguiendo una configuración de tres pisos. Además, la máquina tiene la capacidad para realizar sus operaciones con cuatro bandejas de manera paralela.

La implementación de la máquina diseñada permite que la línea de producción tenga una velocidad de 222.5 cajas por hora, esto en comparación con la velocidad actual de 221 cajas por hora permite que se trabaje a una velocidad mayor aumentando el volumen producido por esta línea. El aumento de velocidad y la reducción de operadores en la línea implica que el tiempo operativo de la línea sea mayor ya que se eliminan las pérdidas por falta de disponibilidad de personal. Al tener un mayor tiempo de operación ininterrumpido de la sección de empaquetado, se incrementa la eficiencia de la línea completa en un 5%, teniendo una eficiencia esperada del 80%.

El costo total del proyecto permite una recuperación de la inversión en 1.5 años. Sin embargo, también representa un ahorro importante con respecto a la operación manual de empaquetamiento ya que se reduce la cantidad de operadores que se requieren para operar la línea. Esto implica el aumento de productividad en la línea 1.6 veces el valor actual ya que este indicador mide cuánto volumen se puede producir por operador en la línea y, mientras más alto sea el valor, es más beneficioso para el negocio. Por otra parte, se obtiene un ahorro con relación al aumento de velocidad de producción: mientras más tiempo esté operativa la línea se genera mayor cantidad de cajas y los costos asociados a la producción y gastos de energía y materiales son justificados por la entrega de volumen.

## 4.2 Recomendaciones

El diseño de la máquina no tomó en consideración la forma en que las cajas llegan al sistema. Sin embargo, es posible adaptarse a los dos escenarios probables: un operador las arma o una máquina es la encargada de la operación. Para el segundo caso solo es necesario adaptar los soportes laterales de la estructura, que no afectan a la operación de la máquina, para adaptar una banda automática que distribuya las cajas.

Los subsistemas principales de la máquina son neumáticos por lo cual la presión del aire incide en la fuerza ejercida por los cilindros. En caso de tener una presión menor a 6 bar, los cilindros pueden no tener la fuerza suficiente para realizar sus operaciones provocando posibles daños en la máquina o cilindros. Por lo tanto, es importante verificar el correcto funcionamiento de la fuente de alimentación de aire para que el circuito neumático posea la presión deseada.

La operación de la máquina requiere conocer el inicio y final de carrera de cada cilindro para que la secuencia neumática pueda ser ejecutada correctamente. Por esto, resulta importante la correcta instalación de los sensores de posición. De esta forma se garantiza que las diferentes acciones de los mecanismos no dañen al helado por choques entre las operaciones.

El proyecto se trabajó para minimizar el espacio ocupado por la celda. Por tal razón, la estación de salida (cajas armadas) se encuentra a 500 mm de la estación de entrada (bandejas). Sin embargo, en caso de que se requiera aumentar esta distancia, es posible cambiar el sistema de rieles superior por un sistema de cilindros sin vástago parecido al de las plataformas móviles. Se recomienda el uso de este tipo de cilindros debido a las largas carreras que pueden recorrer.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El negocio de helados innova y busca recuperar consumo de ecuatorianos,» *El Universo*, p. 5, 14 febrero 2021.
- [2] «Cofrico,» 16 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.cofrico.com/consejos-tecnicos/amoniaco-como-refrigerante-ventajas-y-desventajas-2/>. [Último acceso: 12 febrero 2022].
- [3] «TetraPack,» 19 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.tetrapak.com/es-ec/solutions/processing/main-technology-area/ice-cream-automation>. [Último acceso: 9 enero 2022].
- [4] Cliente, Interviewee, *Requerimientos del fin de línea*. [Entrevista]. 28 Octubre 2021.
- [5] Expreso, «expreso,» Diario Expreso, 20 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/polito-pingueino-domina-mercado-ecuatoriano-helados-92147.html>. [Último acceso: 3 Noviembre 2021].
- [6] «Betelgeux,» 5 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.betelgeux.es/blog/2020/06/05/la-importancia-limpieza-desintencion-inocuidad-alimentos/>. [Último acceso: 9 enero 2022].
- [7] E. Acosta, «Metro,» 27 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/empresarial/2019/05/27/pinguino-mercado-helados.html>. [Último acceso: 5 febrero 2022].
- [8] «Time Is,» 3 septiembre 2009. [En línea]. Available: <https://www.technopreneur.net/technology/project-profiles/food/ice.html>. [Último acceso: 6 enero 2022].
- [9] «TetraPack,» 2 julio 2008. [En línea]. Available: <https://www.tetrapak.com/solutions/processing/applications/ice-cream/cones>. [Último acceso: 6 enero 2022].
- [10] Cliente, Interviewee, *Estado general de la producción de la planta*. [Entrevista]. 16 Octubre 2021.
- [11] Delportal, «Delportal,» [En línea]. Available: <http://mobile.liris.com.ec/delportal/product/paleta-cornetto-clasico-vainilla-100-ml/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2021].

- [12] Big Drum USA, «Big Drum Engineering,» [En línea]. Available: <http://www.bigdrumengineering.com/packing-line/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2021].
- [13] Used Diary Equipment, «Youtube,» 24 Junio 2019. [En línea]. Available: [https://youtu.be/58OUkqp8\\_UI?t=463](https://youtu.be/58OUkqp8_UI?t=463). [Último acceso: 29 Octubre 2021].
- [14] «Schmalz,» 18 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/ventosas-de-vacio/dimensionamiento-de-las-ventosas/>. [Último acceso: 6 enero 2022].
- [15] J. S. C. N. K. M. S. Poornesh Velineni, «Design of Pneumatic Gripper for Pick and Place Operation (Four Jaw),» *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, vol. 2, nº 2, pp. 1-8, 2020.
- [16] J. Serway, Física General de Serway, McGraw-Hill, 1992.
- [17] Festo, «Ventosa ESG-8,» Festo, [En línea]. Available: <https://www.festo.com/co/es/a/189170/?q=189170~:festoSortOrderScored&identCode1=ESG-8-SF-HC-PK>. [Último acceso: 16 Diciembre 2021].
- [18] R. Mohammed, «Design & Analysis of a Two - jaw parallel Pneumatic Gripper,» *International Journal Of Computational Engineering Research (ijceronline.com)*, vol. 03, nº 12, pp. 41-46, 2013.
- [19] Grupo GEM, «Sublimación Grupo GEM,» 6 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://sublimaciongrupogem.blogspot.com/2018/02/sublimadora-neumatica-aj6000-de-riel.html>. [Último acceso: 2021 Diciembre 28].
- [20] «Intor,» 23 enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.intor.com.ar/calculo-de-fuerza-de-un-cilindro-neumatico/#:~:text=La%20fuerza%20desarrollada%20por%20un,resistencia%20producida%20por%20el%20rozamiento.&text=Fteorica%20%3D%20Fuerza%20te%C3%B3rica%20del%20%3%A9mbolo.&text=Tambi%C3%A9n%20se%20p>. [Último acceso: 6 enero 2022].
- [21] Festo, «Cilindro normalizado DSBC-32-200-PPVA-N3,» Festo, [En línea]. Available: <https://www.festo.com/co/es/a/1376429/?q=DSBC-32-200-PPVA-N3~:festoSortOrderScored>. [Último acceso: 5 Enero 2022].

- [22] Festo, «Cilindro normalizado DSBC-32-20-PPVA-N3,» Festo, [En línea]. Available: <https://www.festo.com/co/es/a/2123069/?q=~:sortByFacetValues-asc>. [Último acceso: 15 Diciembre 2021].
- [23] Festo, «Cilindro normalizado DSBC-32-500-PPVA-N3,» Festo, [En línea]. Available: <https://www.festo.com/co/es/a/1376433/?q=~:sortByFacetValues-asc>. [Último acceso: 15 December 2021].
- [24] Festo, «Cilindro normalizado DSBC-32-40-PPVA-N3,» Festo, [En línea]. Available: <https://www.festo.com/co/es/a/1376423/?q=DSBC-32-40-PPVA-N3>. [Último acceso: 2 Febrero 2022].
- [25] Festo, «Actuador lineal DGC-K-32,» Festo, [En línea]. Available: [https://www.festo.com/co/es/a/1312502/?siteUid=fox\\_co&siteName=Festo+CO](https://www.festo.com/co/es/a/1312502/?siteUid=fox_co&siteName=Festo+CO). [Último acceso: 2 Febrero 2022].
- [26] Siemens, «SIMATIC S7-1200,» Siemens, [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>. [Último acceso: 10 Diciembre 2021].
- [27] Siemens, «1LE0141-0DB36-4AA4,» [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/co/Catalog/Product/1LE0141-0DB36-4AA4>. [Último acceso: 5 Enero 2022].

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**Hoja de datos del PLC**

Tabla A.1 Especificaciones técnicas del PLC ControlLogix1756

## 1756-L63XT ControlLogix Controller Specifications

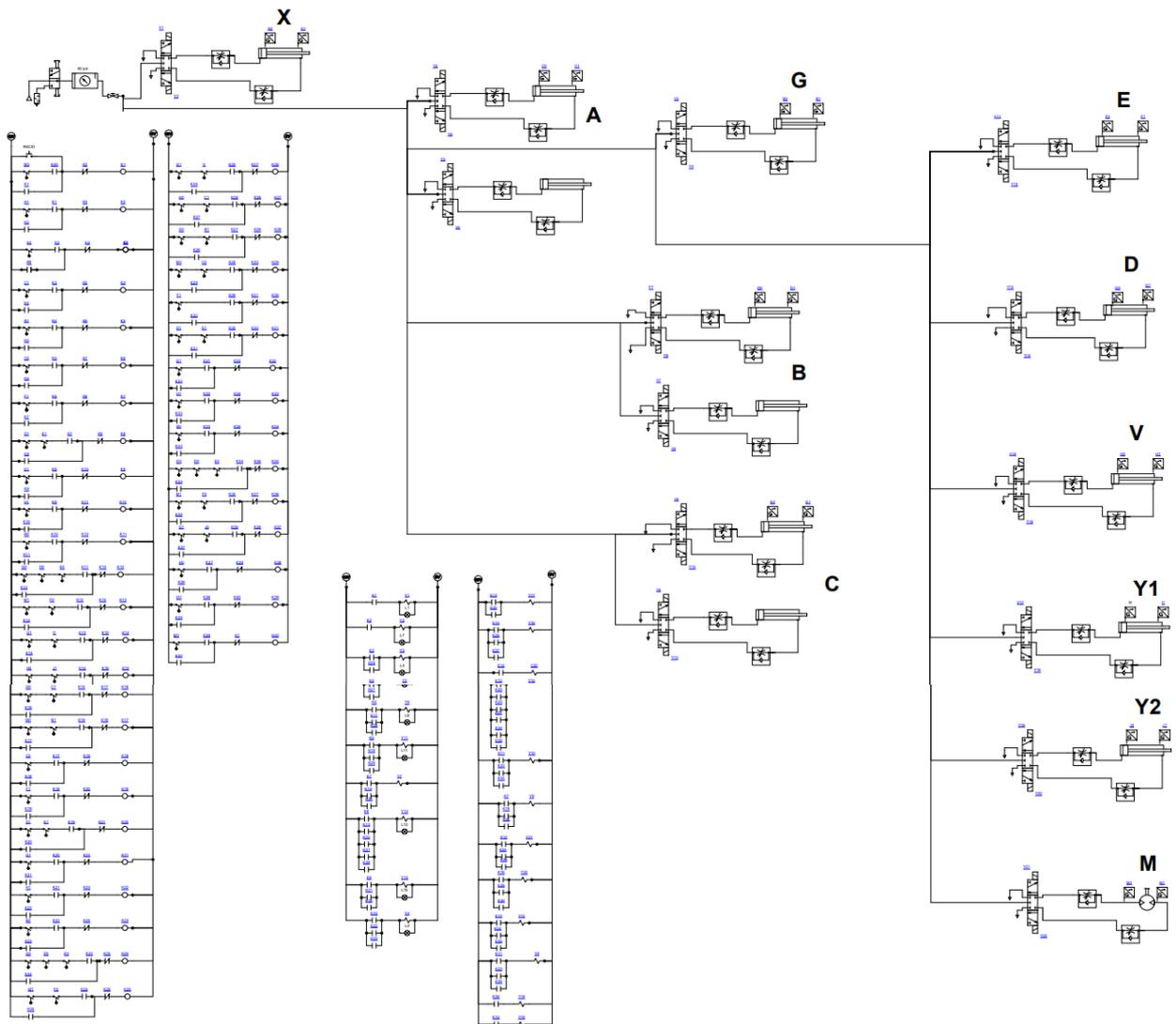
### Technical Specifications - 1756-L63XT Controller

Attribute	1756-L63XT
User memory	8 MB
I/O memory	478 KB
Optional nonvolatile memory storage	128 MB (1784-CF128)
Digital I/O, max	128,000
Analog I/O, max	4000
Total I/O, max	128,000
Replacement battery	1756-BA2
Current draw @ 5.1V DC	1200 mA
Current draw @ 24V DC	14 mA
Power dissipation	3.5 W
Thermal dissipation	11.9 BTU/hr
Isolation voltage	30V (continuous), basic insulation type, RS-232 port to system Type tested at 720V DC for 60 s
Serial cables	1756-CP3 or 1747-CP3, right angle connector to controller, straight to serial port, 3 m (9.84 ft)
Weight, approx	0.35 kg (0.78 lb)
Slot width	1
Module location	Chassis-based, any slot
Chassis	1756-A7XT, 1756-A10XT For low temperature applications only, use 1756-A4K, 1756-A7K, 1756-A10K, 1756-A13K, 1756-A17K
Power supply, standard	1756-PAXT, 1756-PA30XT, 1756-PBXT, 1756-PB30XT
Power supply, redundant	None
Wire category <sup>(1)</sup>	2 - on RS-232 port
North American temperature code	T4A
IEC temperature code	T4
Enclosure type rating	None (open-style)

### Environmental Specifications - 1756-L63XT Controller

Attribute	1756-L63XT
Temperature, operating IEC 60068-2-1 (Test Ad, Operating Cold), IEC 60068-2-2 (Test Bd, Operating Dry Heat), IEC 60068-2-14 (Test Nb, Operating Thermal Shock)	-25...+70 °C (-13...+158 °F) When using a 1756-A7LXT chassis, surrounding air temperature range is -25...+60 °C (-13...+140 °F) even when using an 'XT' controller
Temperature, storage IEC 60068-2-1 (Test Ab, Unpackaged Nonoperating Cold), IEC 60068-2-2 (Test Bb, Unpackaged Nonoperating Dry Heat), IEC 60068-2-14 (Test Na, Unpackaged Nonoperating Thermal Shock)	-40...+85 °C (-40...+185 °F)
Temperature, surrounding air, max	70 °C (158 °F)
Relative humidity IEC 60068-2-30 (Test Db, Unpackaged Damp Heat)	5...95% noncondensing
Vibration IEC 60068-2-6 (Test Fc, Operating)	2 g @ 10...500 Hz
Shock, operating IEC 60068-2-27 (Test Ea, Unpackaged Shock)	30 g
Shock, nonoperating IEC 60068-2-27 (Test Ea, Unpackaged Shock)	50 g
Emissions CISPR 11	Group 1, Class A
ESD immunity IEC 61000-4-2	6 kV contact discharges 8 kV air discharges

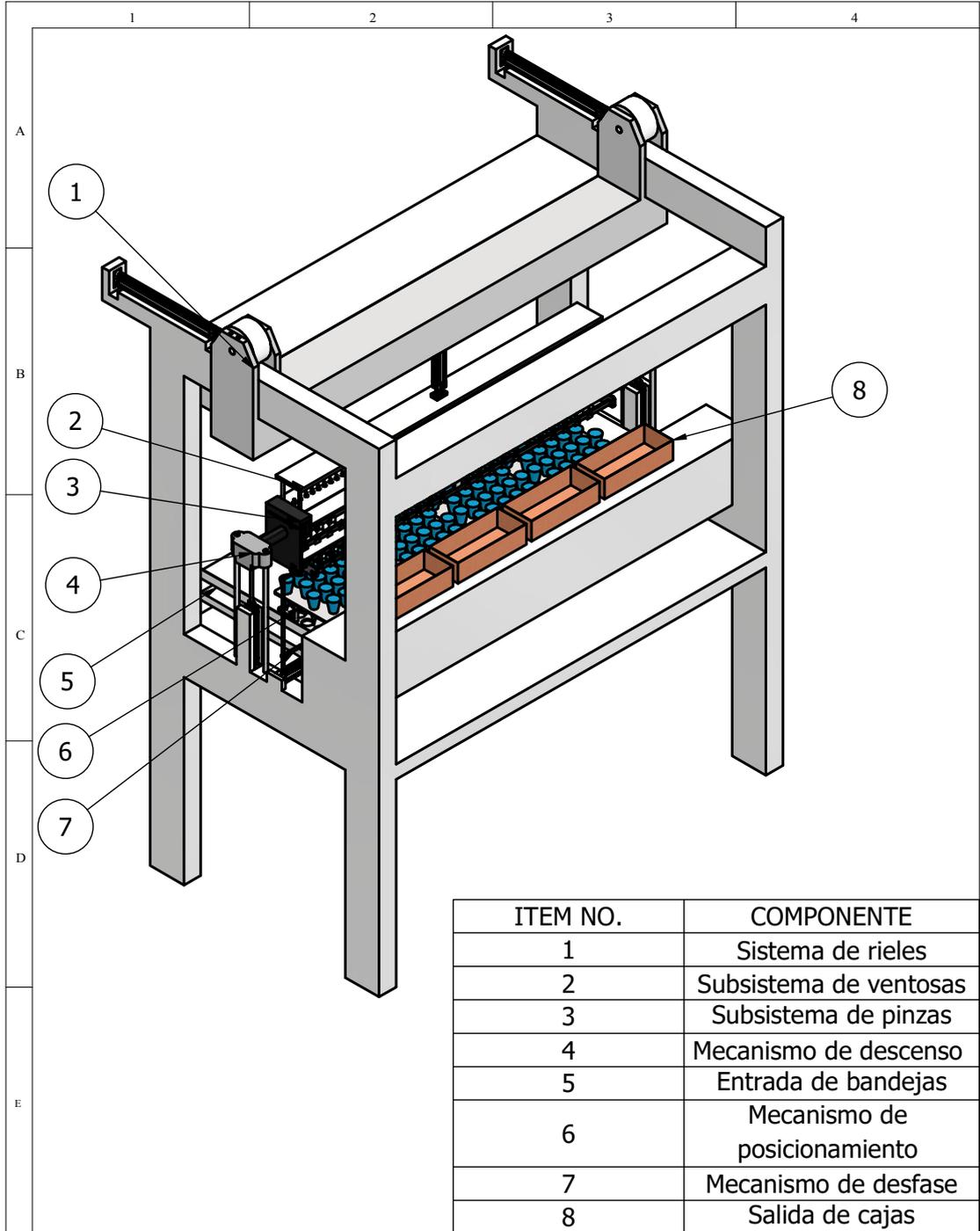
**APÉNDICE B**  
**Planos de control**



**Figura B.1 Programación *ladder* del controlador**

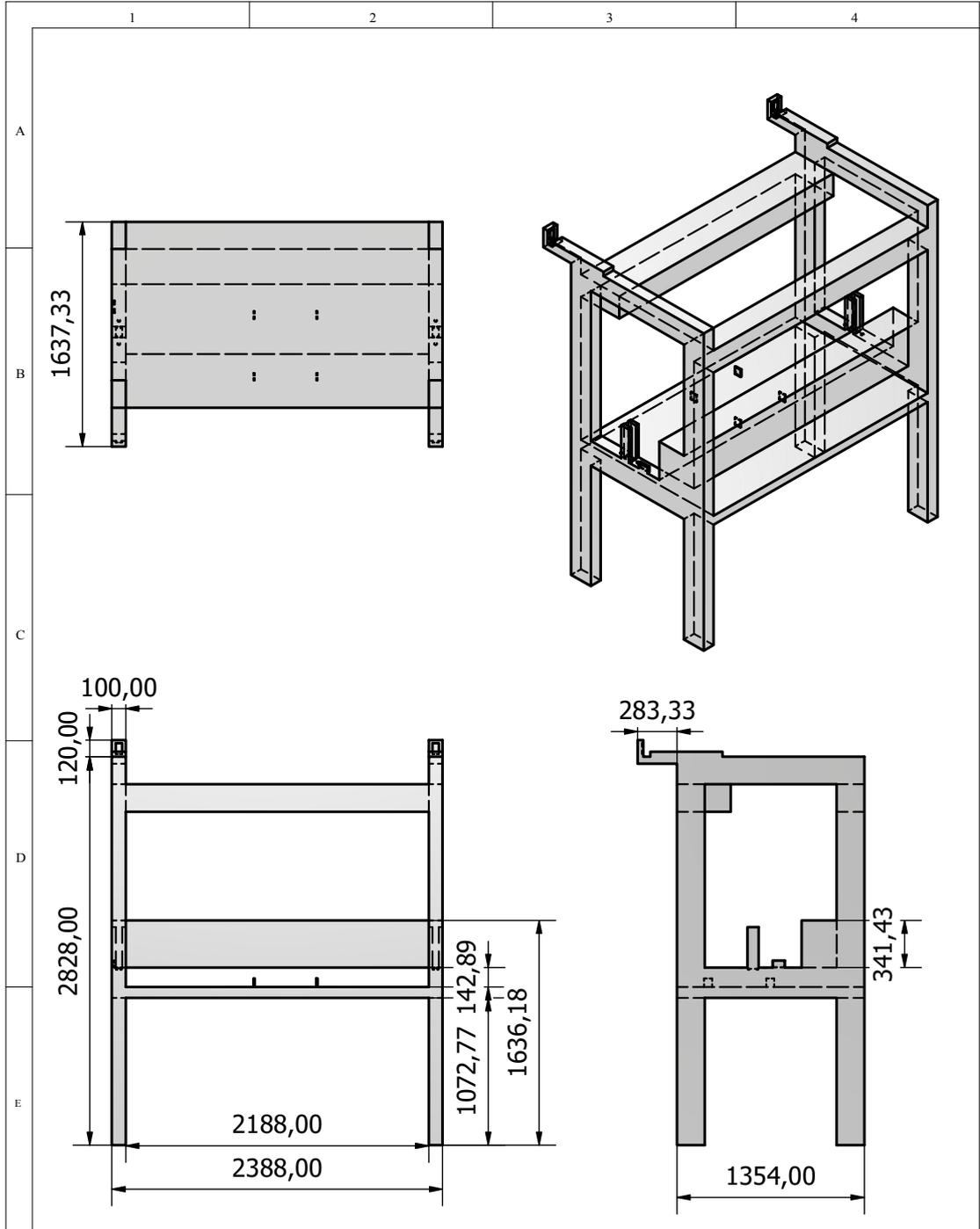
Se diseñó el circuito electro neumático que sigue la secuencia de funcionamiento del sistema. Este lleva el control a través de los inicios y fines de carrera de cada actuador como interruptores de proximidad los cuales a su vez activan y desactivan bobinas. Cada bobina fue asociada a cada uno de los relés que permiten la extensión y retracción de los actuadores. Para iniciar la secuencia se tiene un botón de marcha.

**APÉNDICE C**  
**Planos mecánicos**

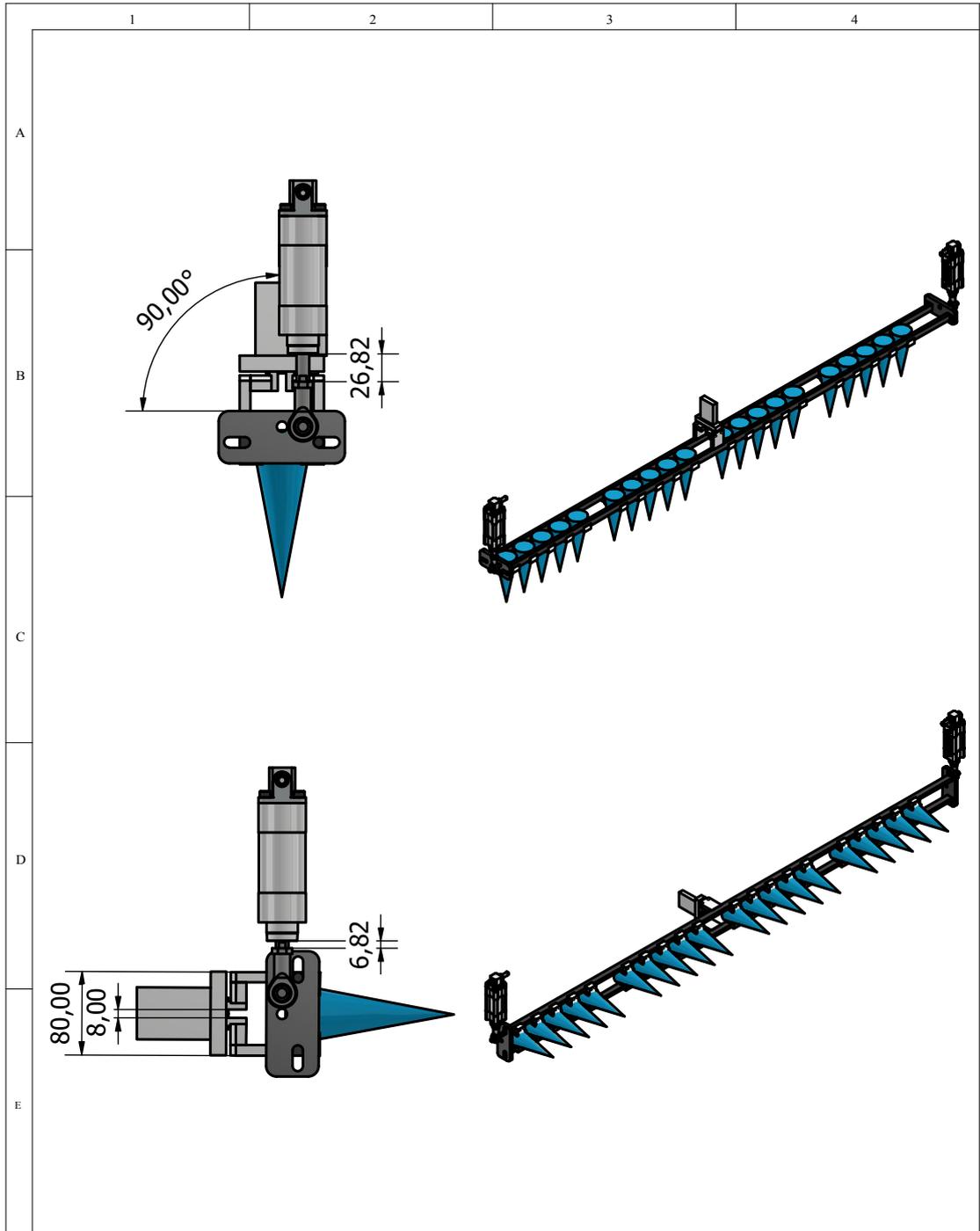


ITEM NO.	COMPONENTE
1	Sistema de rieles
2	Subsistema de ventosas
3	Subsistema de pinzas
4	Mecanismo de descenso
5	Entrada de bandejas
6	Mecanismo de posicionamiento
7	Mecanismo de desfase
8	Salida de cajas

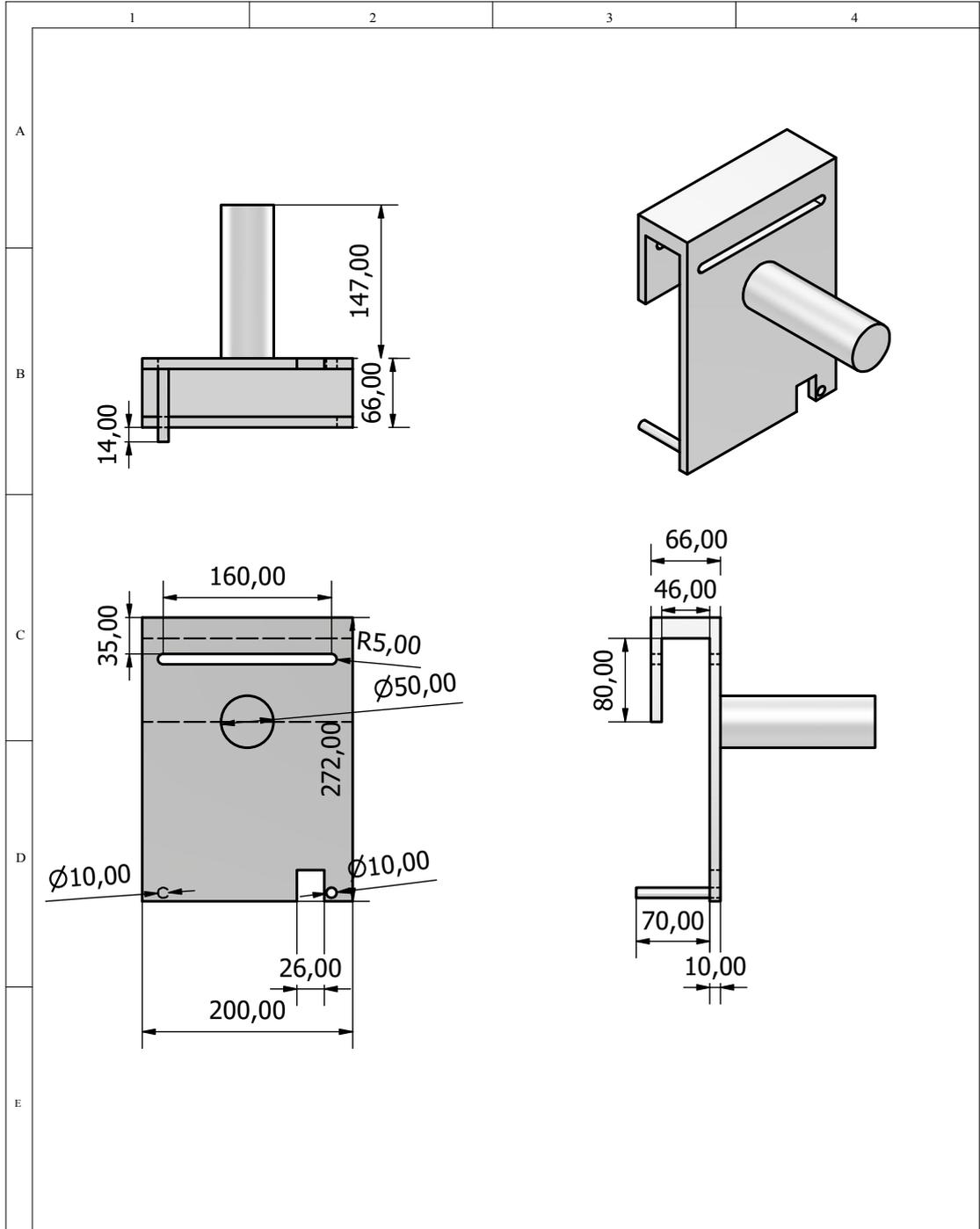
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO ENTENDEDO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES		
					FECHA 12/2/2022	NOMBRE L. M. & V. S.	DENOMINACION <b>CELDA ROBOTICA</b>	ESCALA 1:22
					REV.			
					APROB.			
							N.º MERO DEL DIBUJO	
ED- CI- N	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A	



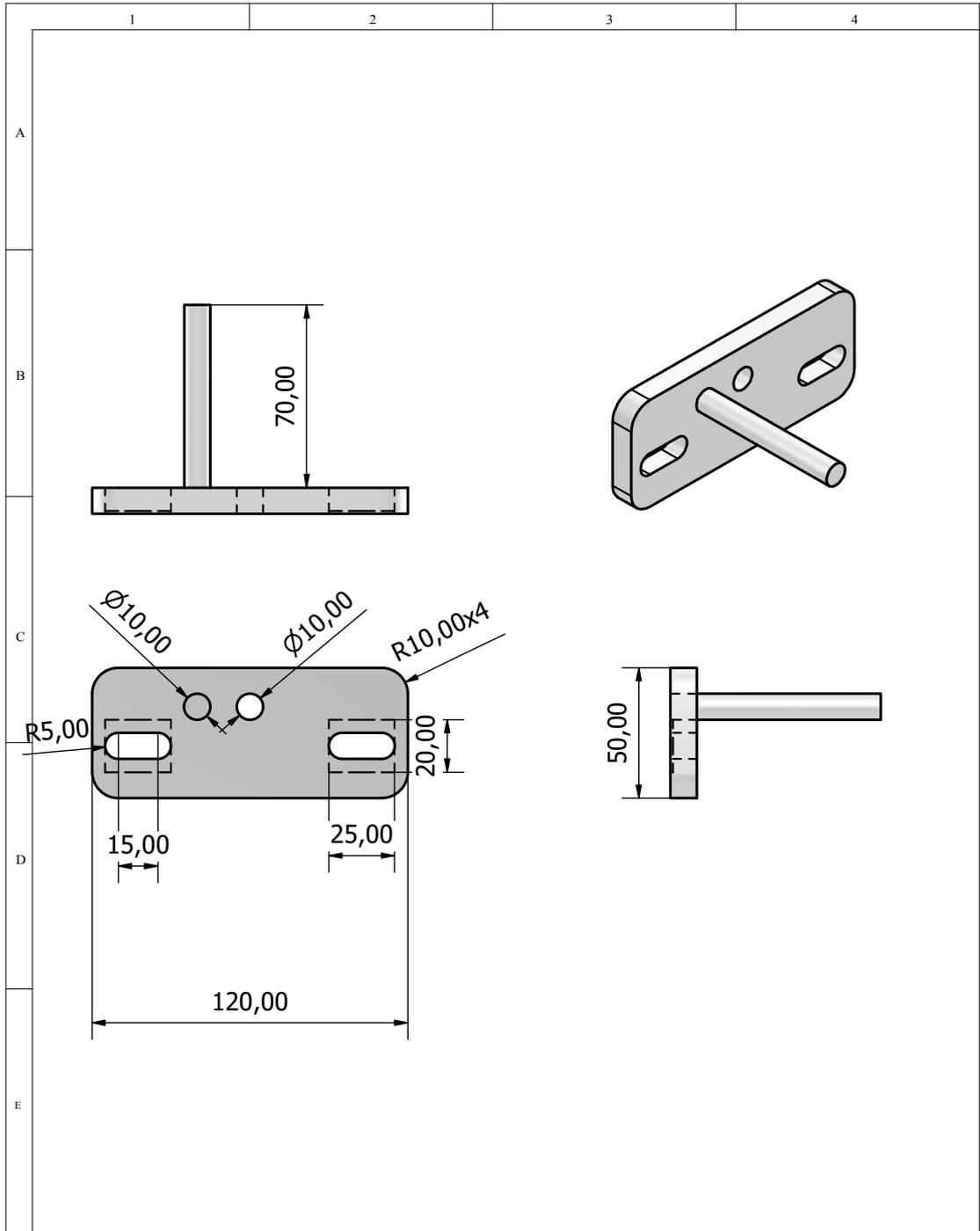
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACUERDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b>  Acero Inoxidable AISI 304	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b>  Estructura de la celda	
				<b>REV.</b>				<b>ESCALA</b>  1:38	
				<b>APROB.</b>				<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>  SUSTITUYE A	
<b>ED- CI- N</b>	<b>MODIFICACION</b>	<b>FECHA</b>	<b>NOMBRE</b>						



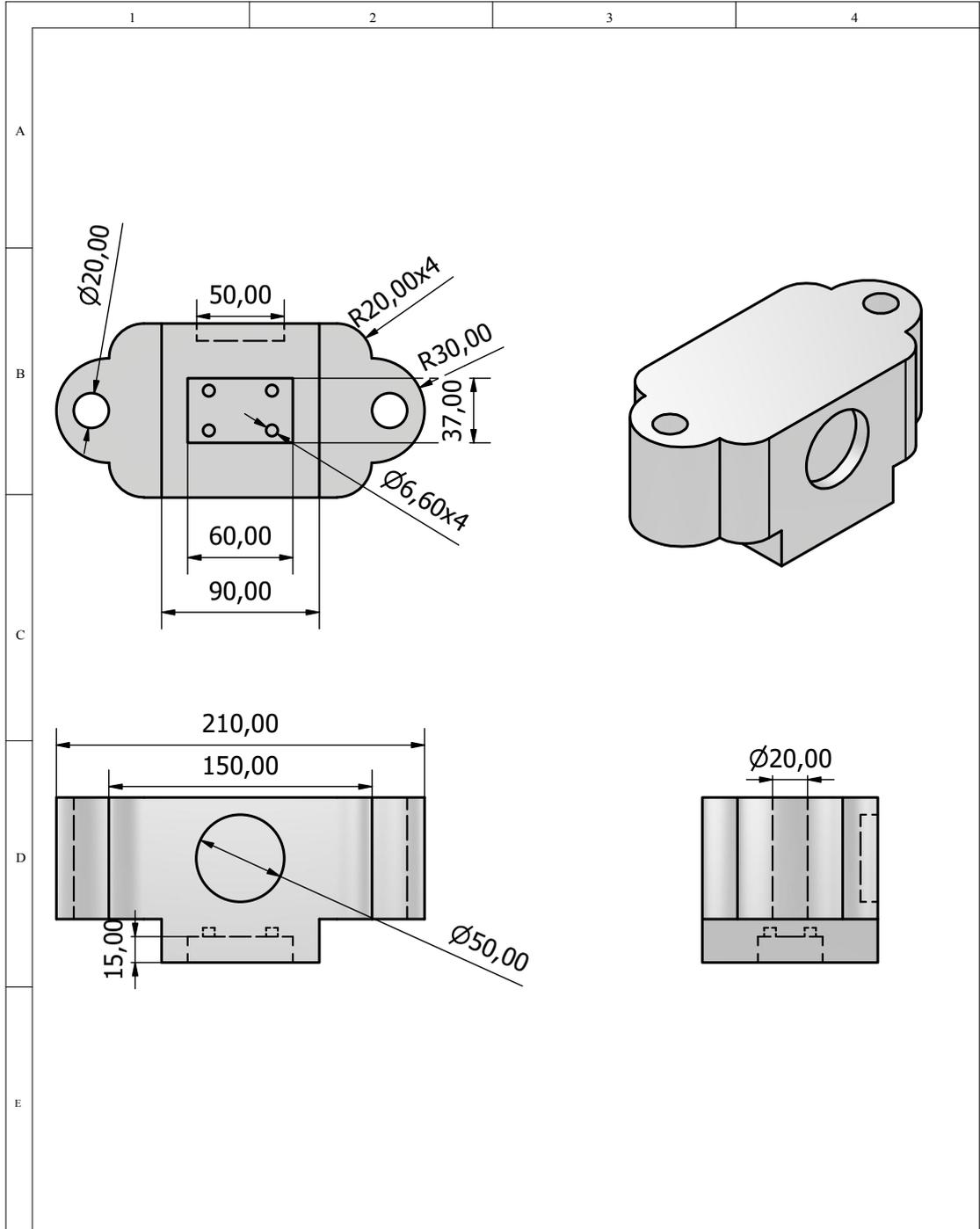
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES  Acero Inoxidable AISI 304
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION  Fila de grippers
				14/ 2/ 2022	L. M. & V. S.	
				REV.		
				APROB.		ESCALA 1:4
						N. MERO DEL DIBUJO
ED- CI- N	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A



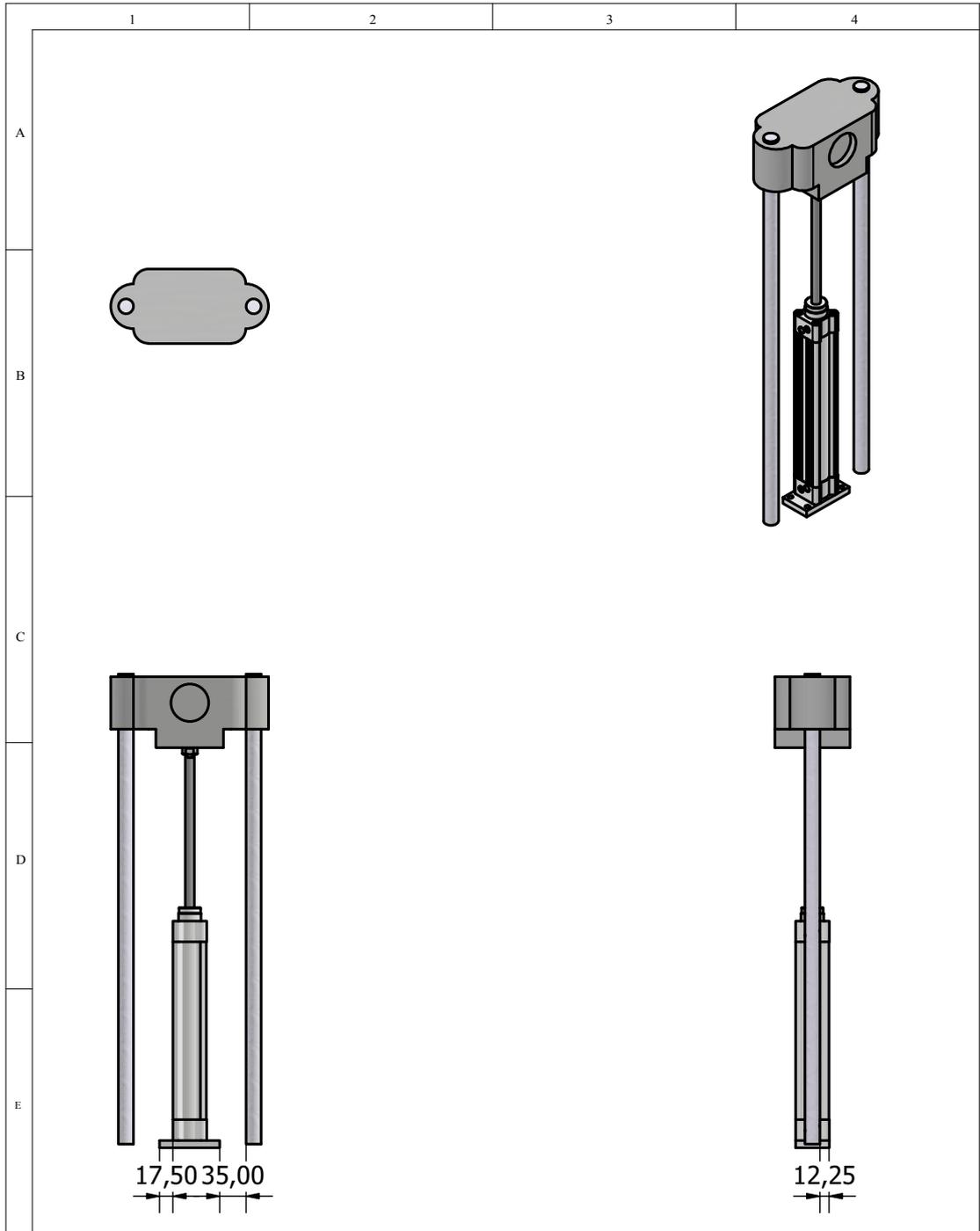
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES <b>Aceros Inoxidables AISI 304</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB.	12/2/2022	L. M. & V. S.	15
				REV.		<b>Base lateral del subsistema de pinzas</b>	
				APROB.		NÚMERO DEL DIBUJO	
ED- CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A	



				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACUERDO SUPLENATORIO N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b>  <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b>  <b>Base lateral conectora del subsistema de pinzas</b>	
				<b>REV.</b>				<b>ESCALA</b>  1:2	
				<b>APROB.</b>				<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>	
<b>EDICION</b>				<b>MODIFICACION</b>		<b>FECHA</b>		<b>NOMBRE</b>	
						<b>SUSTITUYE A</b>			

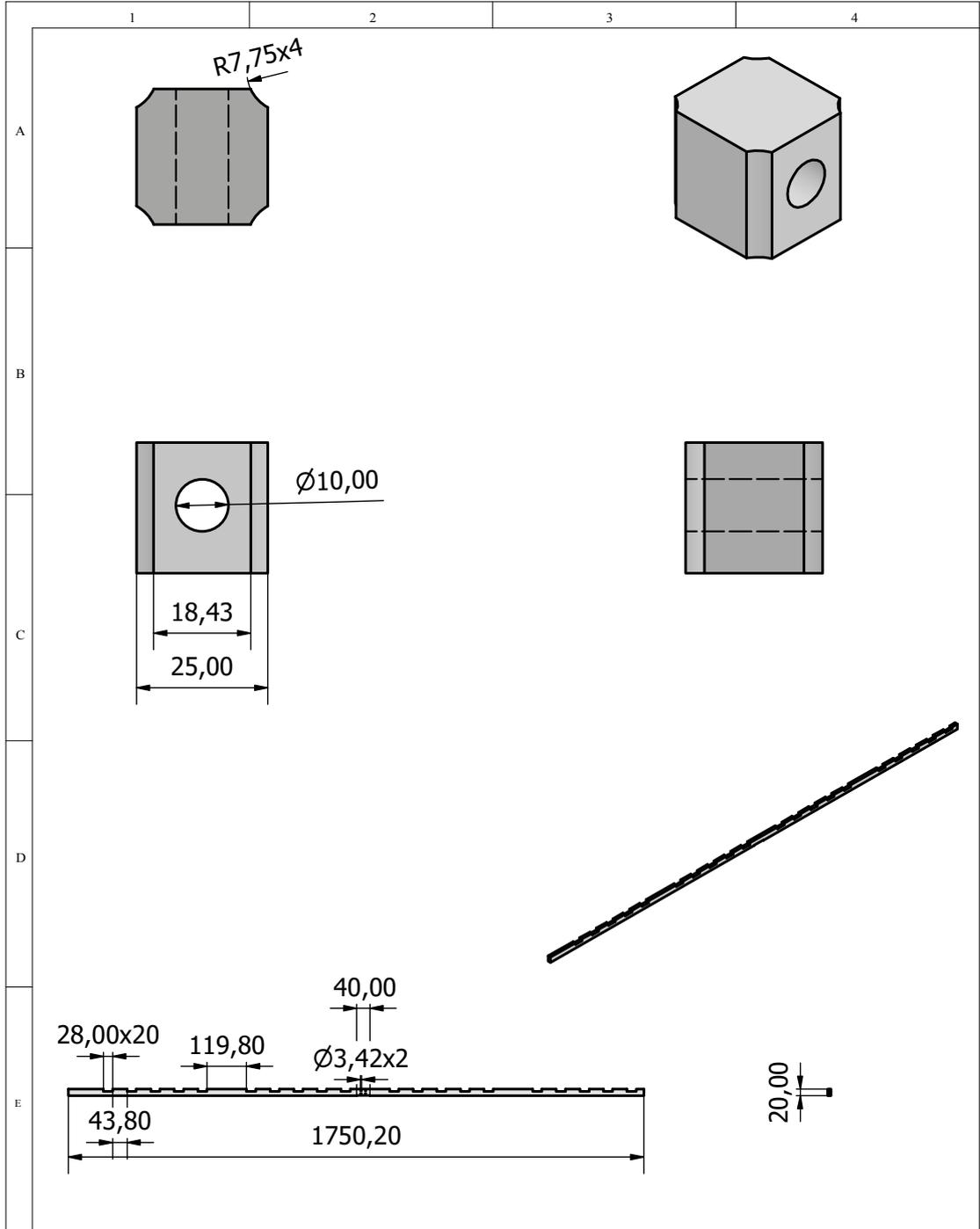


				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION
				DIB	12/2/2022	L. M. & V. S.
				REV.		
				APROB.		
						N. MERO DEL DIBUJO
						SUSTITUYE A
ED- CI-N	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			ESCALA 1:3 

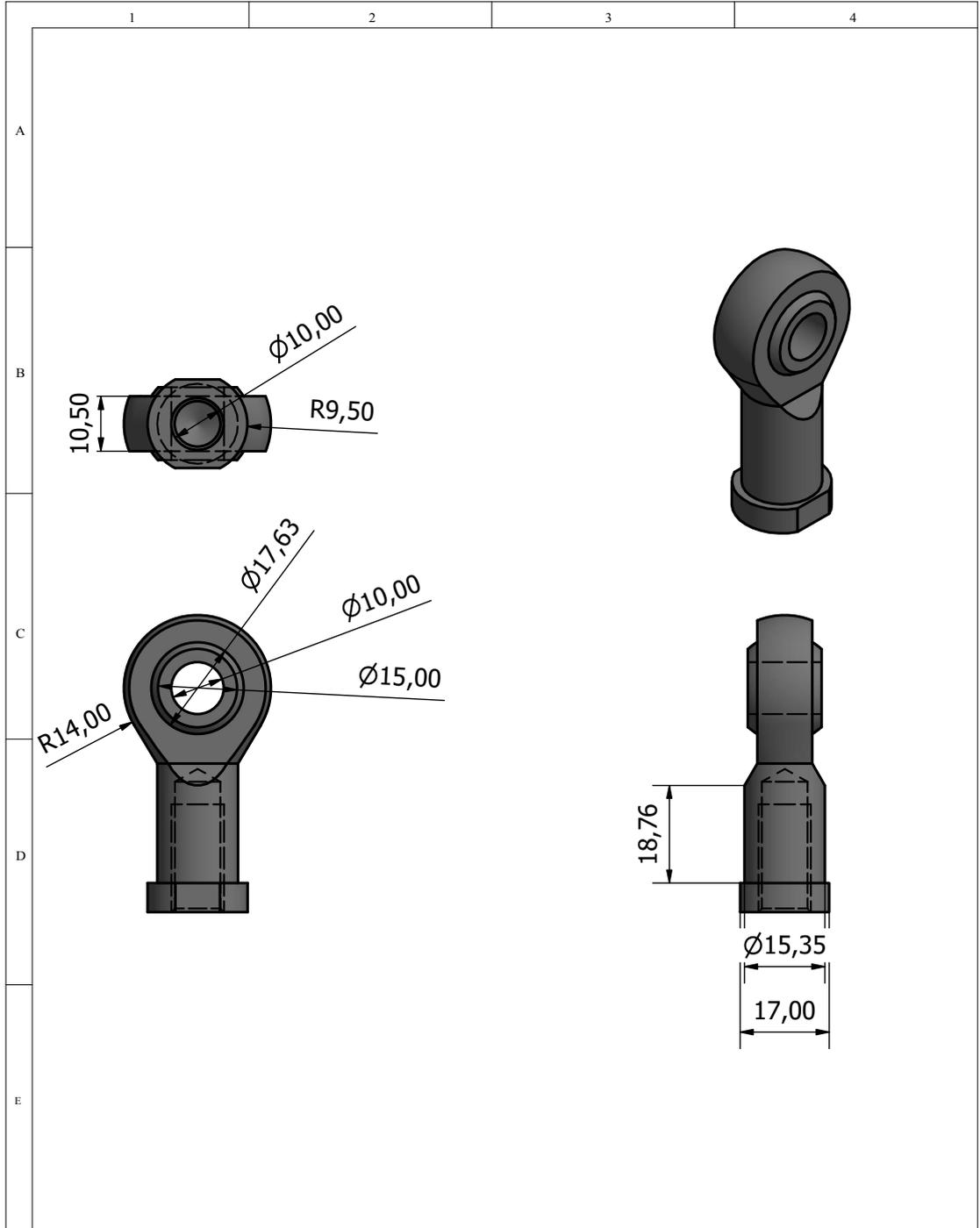


				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES <b>Aceros Inoxidables AISI 304</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN <b>Sistema de traslación vertical del sistema de pinzas neumáticas</b>	
				DIB.	12/ 2/ 2022		ESCALA 1:7
				REV.	L. M. & V. S.		
				APROB.		N.º MERO DEL DIBUJO	
ED- CI-N	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A	

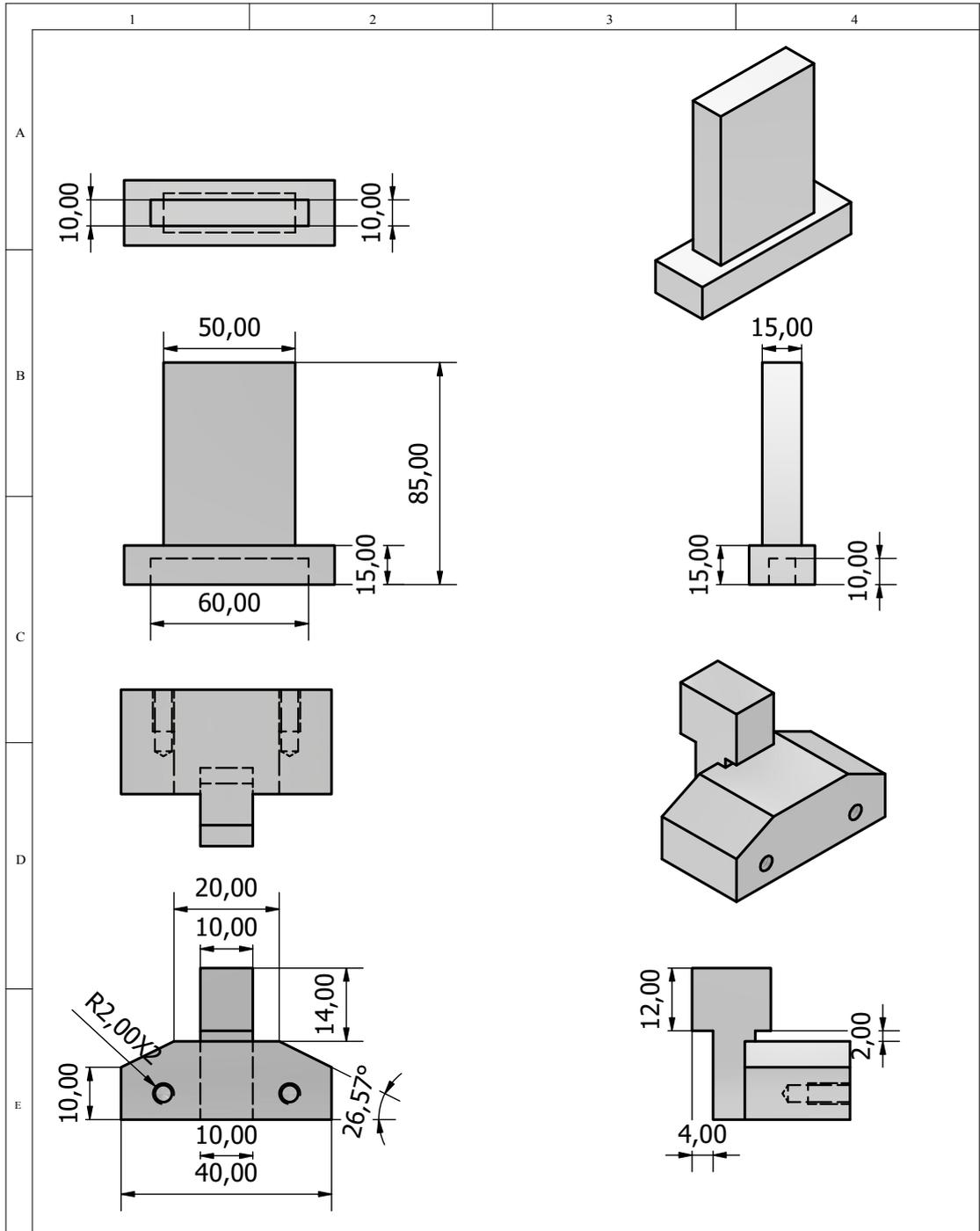




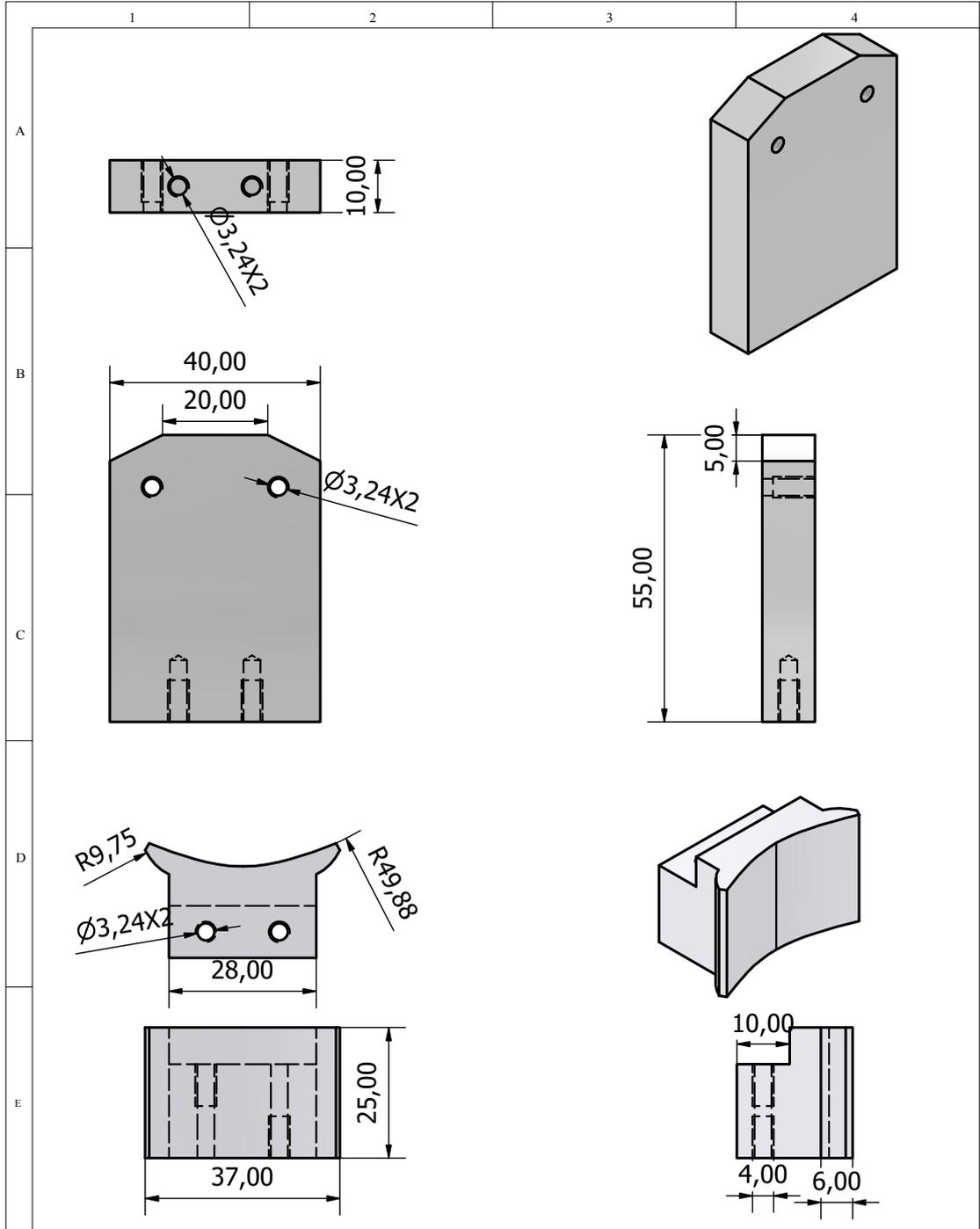
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENDOSE A: TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b> Acero Inoxidable AISI 304			
				<b>FECHA</b> 12/2/2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b> Deslizados y base de los dedos de las pinzas		<b>ESCALA</b> 1:6	
				<b>DIB.</b>		<b>REV.</b>		<b>APROB.</b>			
				<b>EDICION</b>		<b>MODIFICACION</b>		<b>FECHA</b>			<b>NOMBRE</b>
								<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>		<b>SUSTITUYE A</b>	



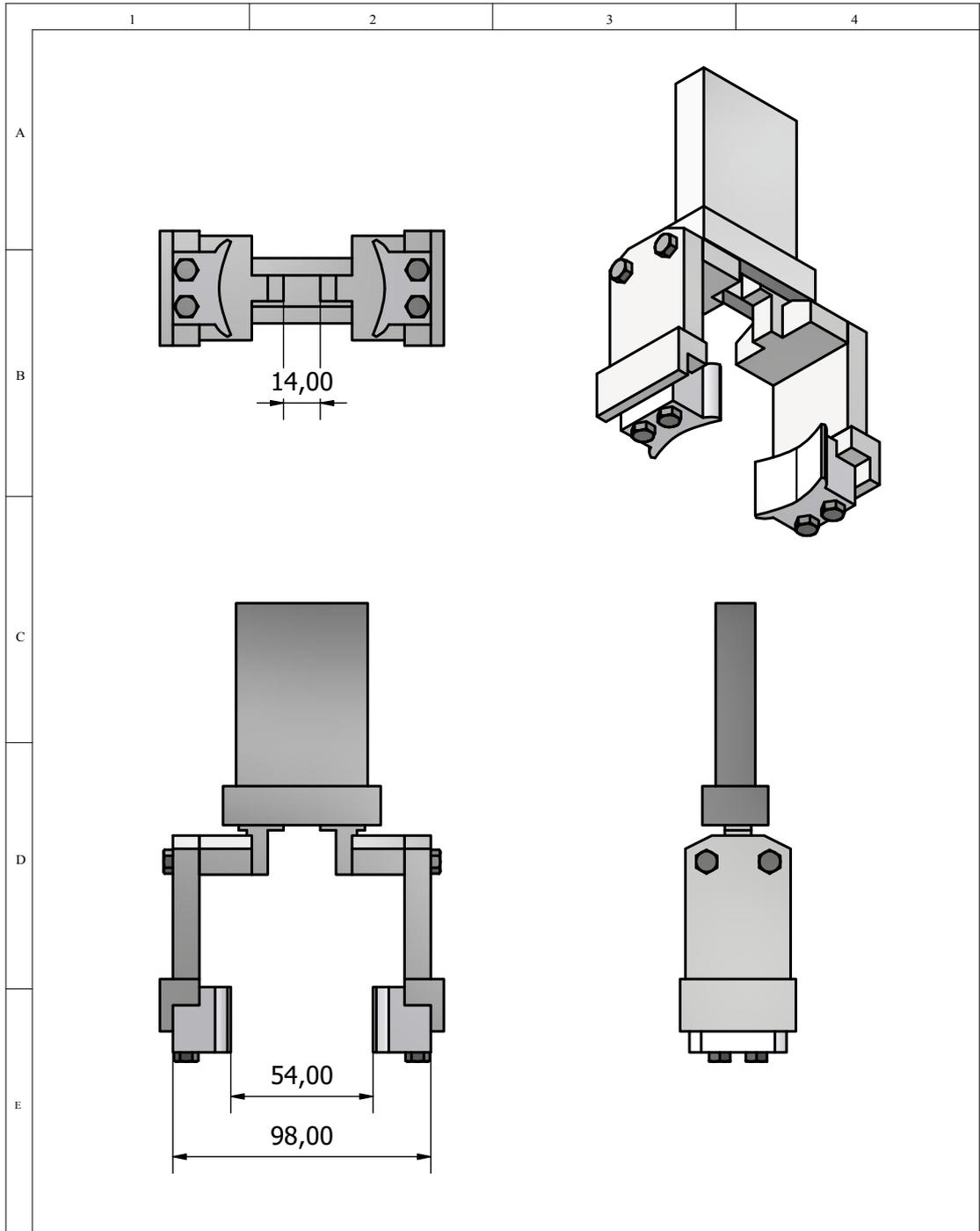
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b> Acero Inoxidable AISI 304	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b> Rótula	
				<b>REV.</b>		<b>APROB.</b>		<b>ESCALA</b> 1:1	
				<b>N.º MERO DEL DIBUJO</b>		<b>SUSTITUYE A</b>			
<b>ED- CIÓN</b>	<b>MODIFICACION</b>	<b>FECHA</b>	<b>NOMBRE</b>						



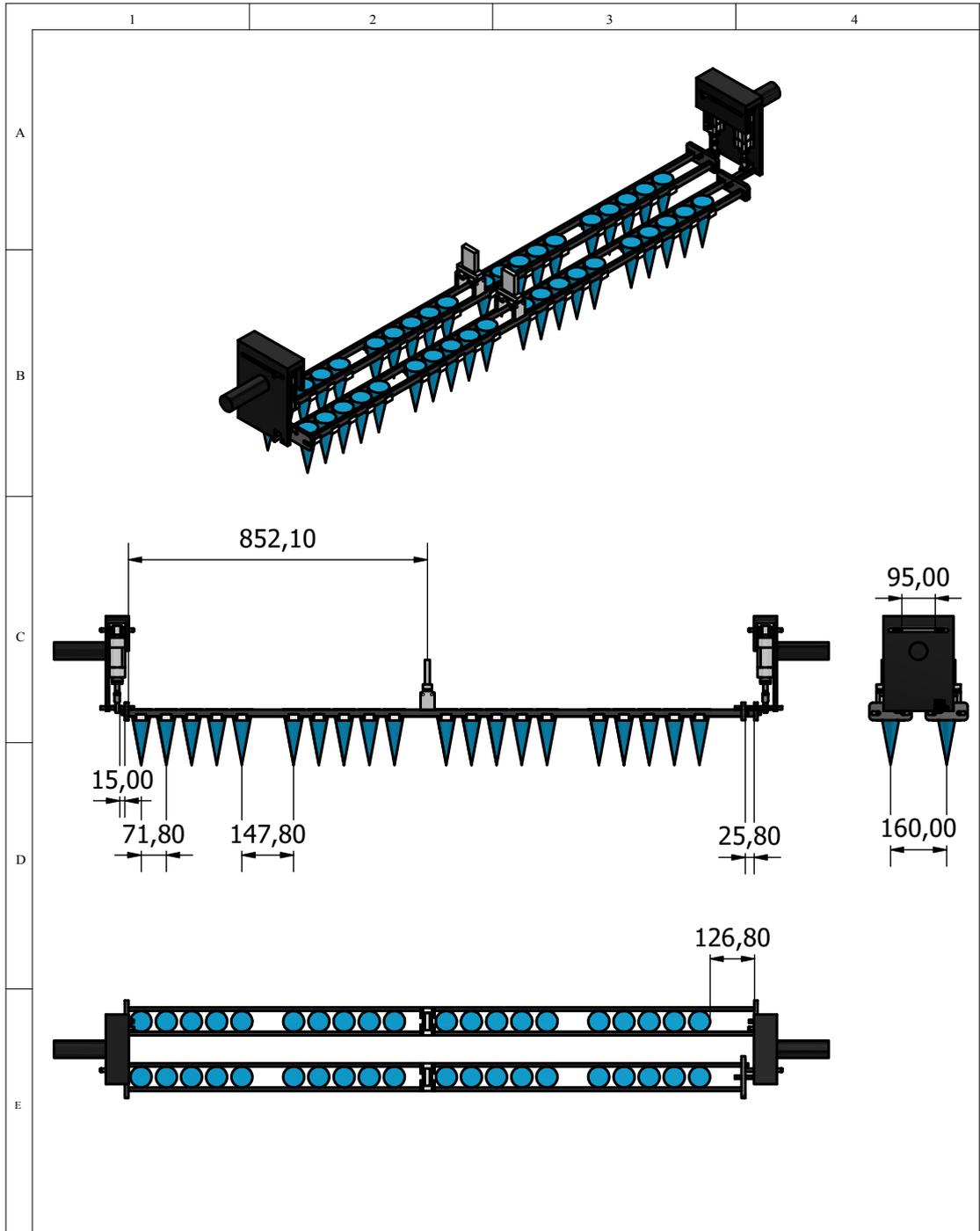
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONSIDERO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACUERDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b>  <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b>  <b>Cabeza y deslizador de la pinza</b>	
				<b>REV.</b>				<b>ESCALA</b> 1:2	
				<b>APROB.</b>				<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>	
<b>EDICION</b> MODIFICACION FECHA NOMBRE									
						<b>SUSTITUYE A</b>			



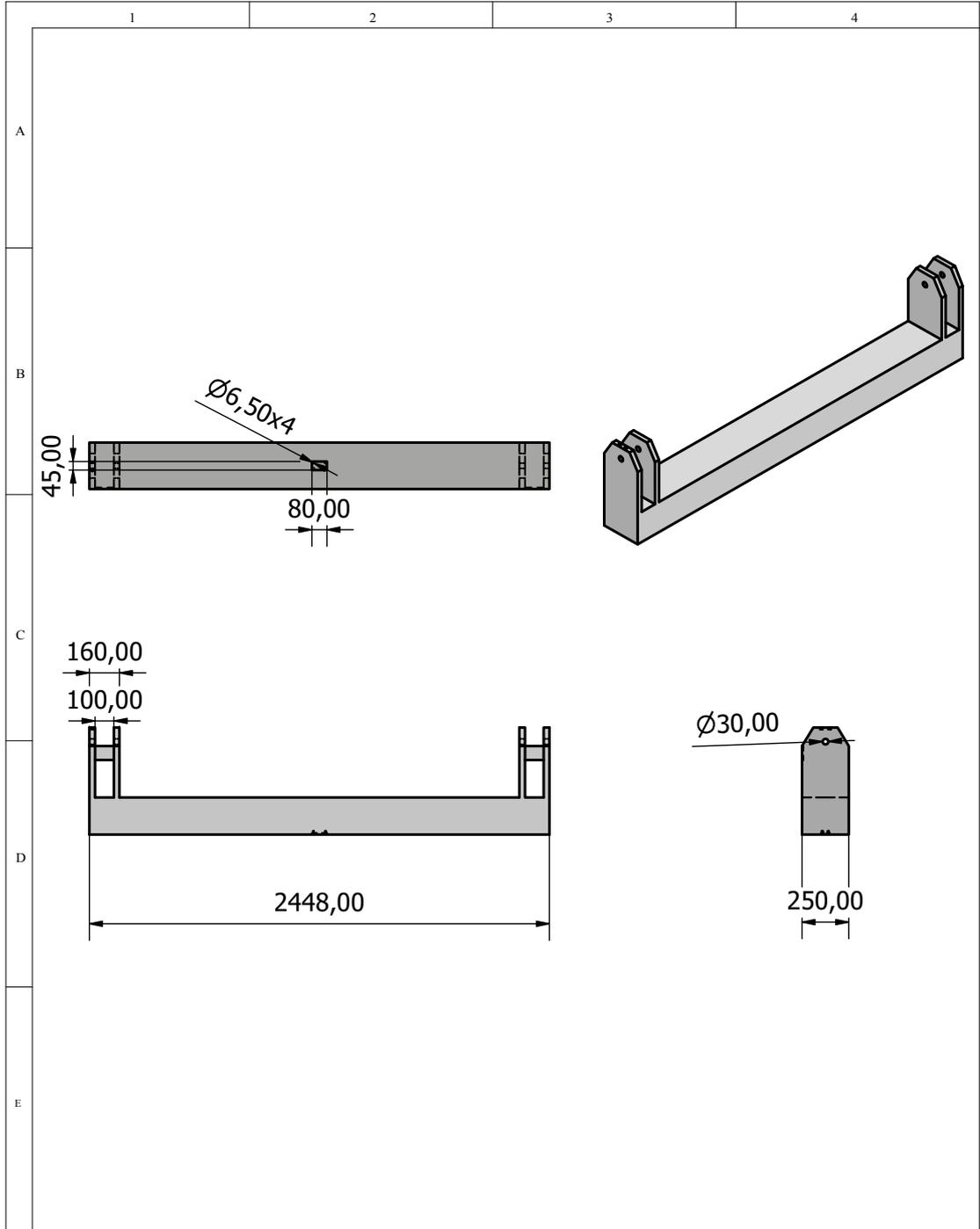
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACUERDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b> Acero Inoxidable AISI 304	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b> Soporte y dedo de la pinza	
				<b>REV.</b>				<b>ESCALA</b> 1:2	
				<b>APROB.</b>				<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>	
<b>EDICION</b>				<b>MODIFICACION</b>		<b>FECHA</b>		<b>NOMBRE</b>	
						<b>SUSTITUYE A</b>			



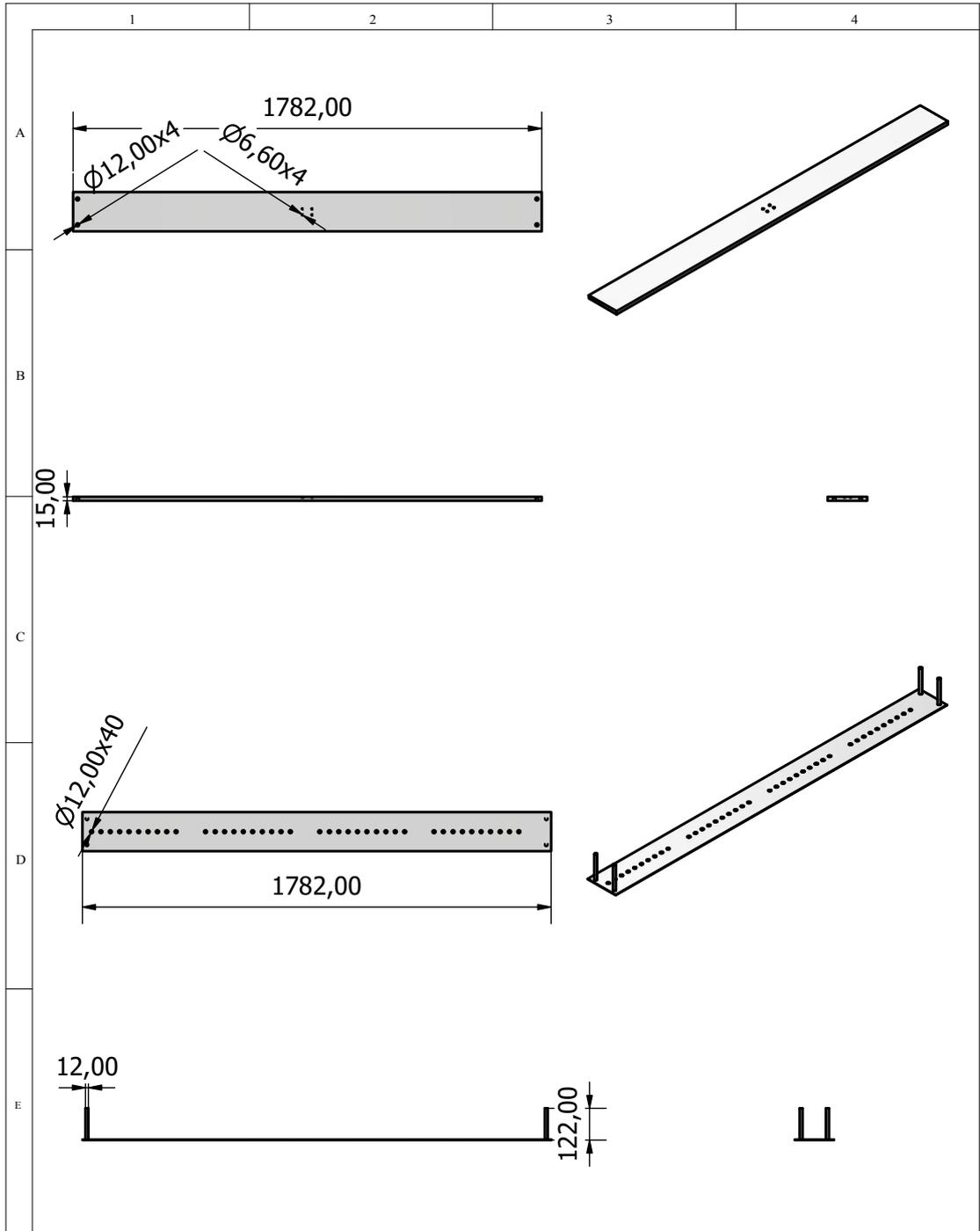
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES <b>Acer o Inoxidable AISI 304</b>		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Pinza neumática</b>	ESCALA 128	
				DIB.	12/ 2/ 2022			L. M. & V. S.
				REV.				
				APROB.				
						N. MERO DEL DIBUJO		
ED- CI- N	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A		



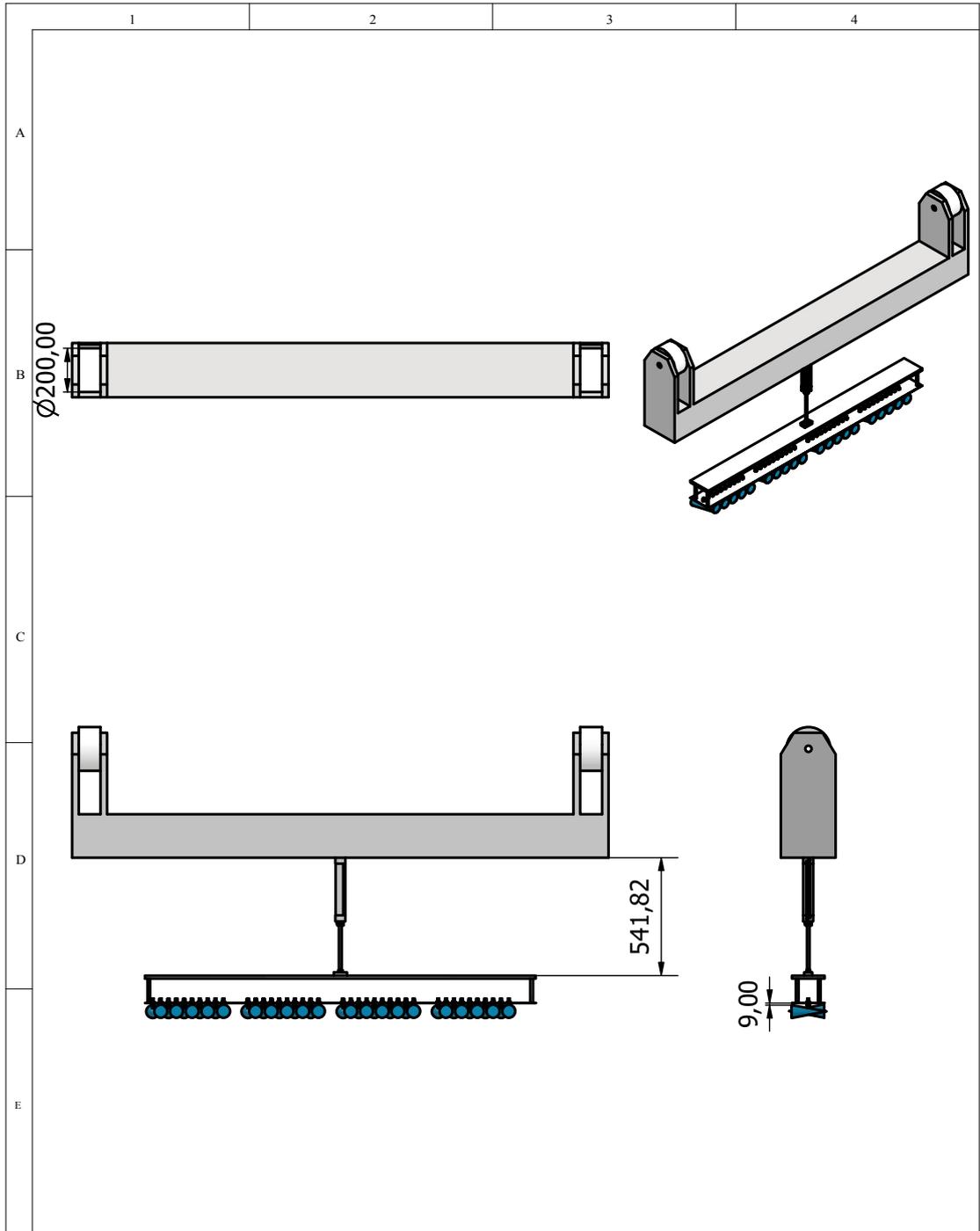
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES  Aceros Inoxidables AISI 304	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION  Sistema de pinzas neumáticas	ESCALA  1:15
				DIB.	L. M. & V. S.		
				REV.			
				APROB.		N.º MERO DEL DIBUJO	
ED- CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A	



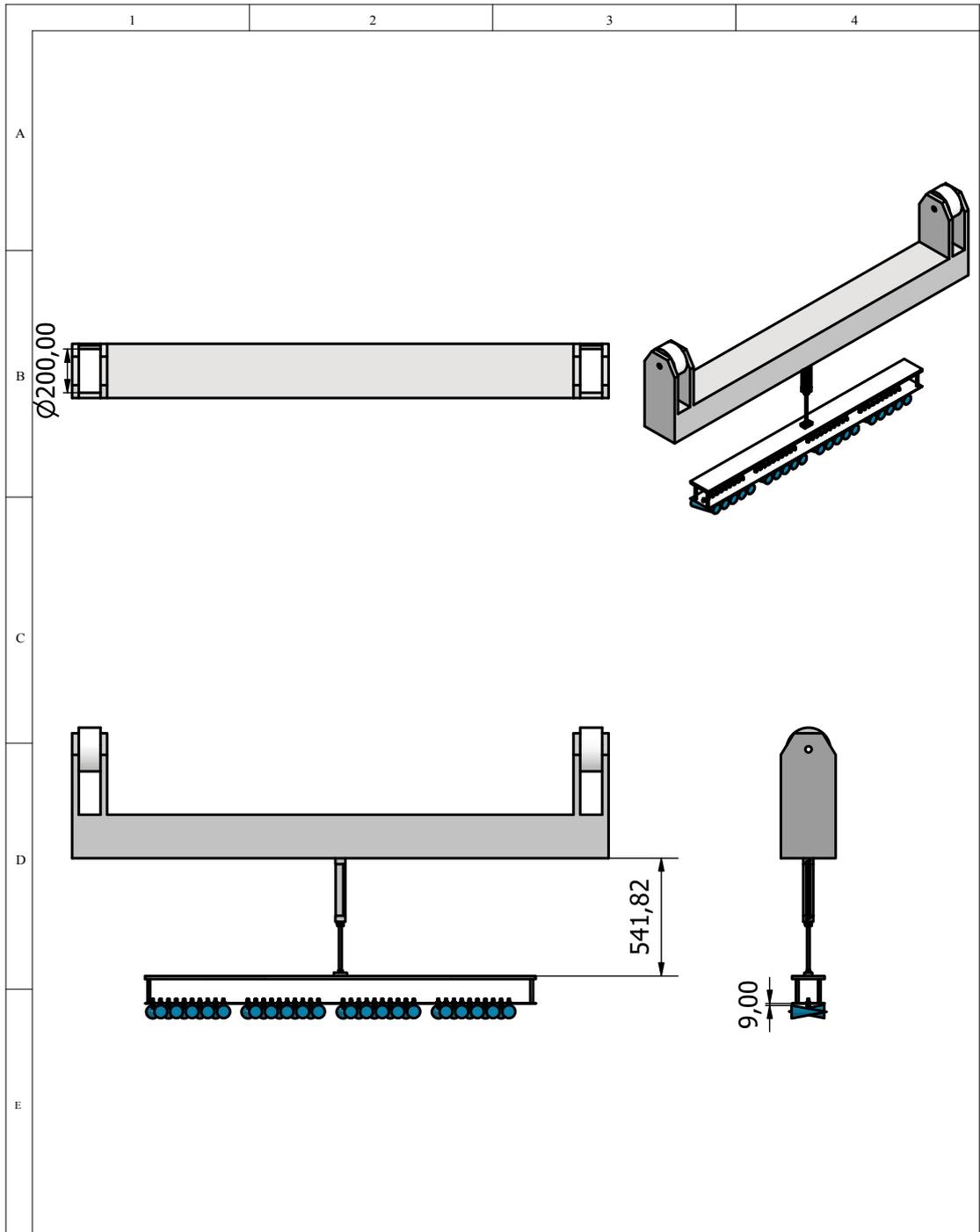
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02	PESO	MATERIALES <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Transporte de ventosas</b>	ESCALA 128	
				DIB	12/ 2/ 2022			L. M. & V. S.
				REV.				
				APROB.				
						N. MERO DEL DIBUJO		
ED- CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A		



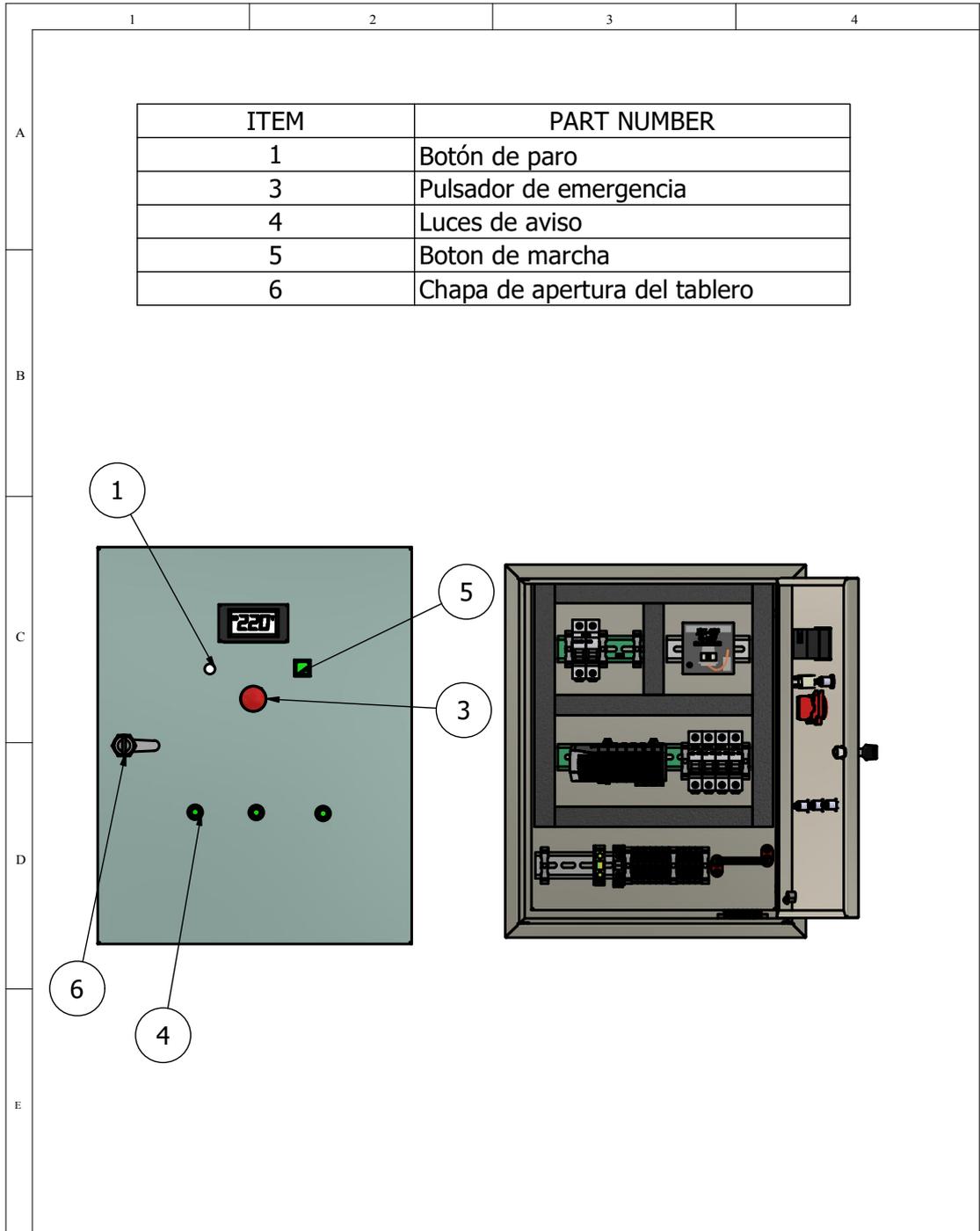
				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0,02 ANGULAR: 0,02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b>  Acero Inoxidable AISI 304	
				<b>FECHA</b> 12/ 2/ 2022		<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.		<b>DENOMINACION</b>  Base para las ventosas	
				<b>REV.</b>				<b>ESCALA</b>  120	
				<b>APROB.</b>				<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>	
<b>EDICION</b>				<b>MODIFICACION</b>		<b>FECHA</b>		<b>NOMBRE</b>	
								SUSTITUYE A	



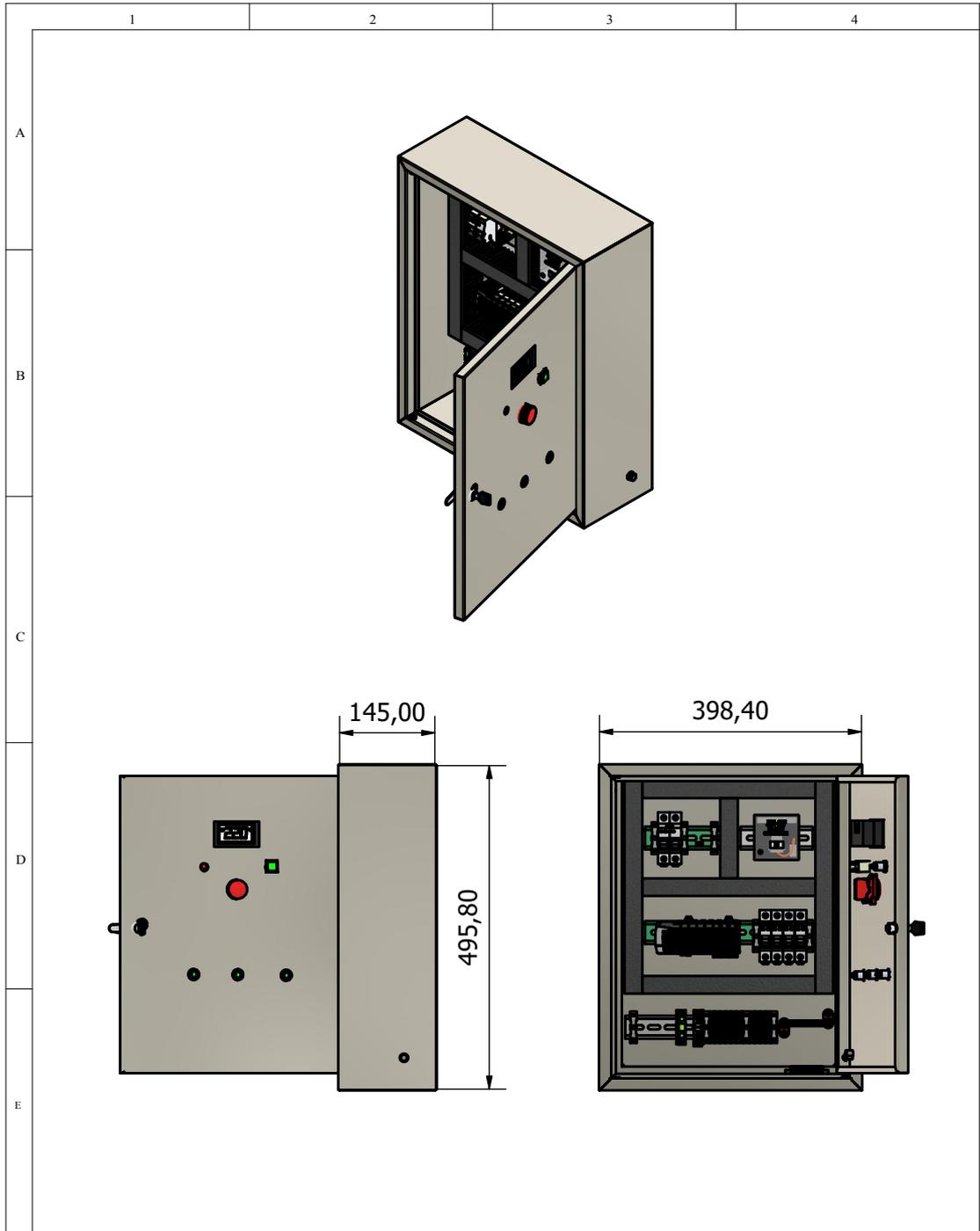
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPLENATORIO Nº TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN <b>Sistema de ventosas</b>	ESCALA 124
				DIB. 12/ 2/ 2022	L. M. & V. S.		
				REV.			
				APROB.		NÚMERO DEL DIBUJO	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A	



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LOS OTROS SE COMENTAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N° FILATERIAS UNITS: 002 ANGLES: 012	PESO	MATERIALES <b>Acero Inoxidable AISI 304</b>		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
					DIB	12/2/2022	L. M & V. S.	1:24
					REV.		<b>Sistema de ventosas</b>	
					APROB.			
							NÚMERO DEL DIBUJO	
ED- CLIN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A	



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO	MATERIALES  Acero Inoxidable AISI 304			
				FECHA	NOMBRE	<b>COMPONENTES DEL TABLERO ELÉCTRICO</b>			ESCALA
				DIB.	L. M. & V. S.				1:8
				REV.	-/-				
				APROB.	-/-	N.º MERO DEL DIBUJO			
ED- CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A					



				<b>TOLERANCIAS</b> SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACORDO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0/02 ANGULAR: 0/02		<b>PESO</b>		<b>MATERIALES</b>  Acero Inoxidable AISI 304			
				<b>FECHA</b> 12/02/2022	<b>NOMBRE</b> L. M. & V. S.	<b>DENOMINACION</b> <b>DIMENSIONES DEL TABLERO ELÉCTRICO</b>			<b>ESCALA</b> 1:8		
			<b>REV.</b> -/-	<b>APROB.</b> -/-	<b>NUMERO DEL DIBUJO</b>  SUSTITUYE A						
<b>EDICION</b>	<b>MODIFICACION</b>	<b>FECHA</b>	<b>NOMBRE</b>								