

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño de un sistema automatizado para clasificar frutas y verduras para
banco de alimentos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecatrónica

Presentado por:

Johnny Arturo Baque Carvallo

Carla Michelle Merchán Moncayo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Diakonía, por abrirnos las puertas y confiar en nosotros. A nuestro tutor, el P.hD. Marcelo Fajardo por su paciencia, y guía durante el desarrollo del proyecto. A mis padres, por su apoyo, amor y sacrificio en todas las etapas de mi vida. A Dios por ser un pilar fundamental y conducirnos al bien. A todos nuestros amigos, colegas y profesores por compartir su conocimiento a lo largo de la carrera. Por último un agradecimiento especial a mi compañero y futuro ingeniero Johnny Baque.

Carla Merchán

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi madre, Diana Carvallo, y a mi padre, Johnny Baque, quienes me han dado su apoyo y confianza para poder estudiar sin preocuparme de nada.

A las memorias de mi tío y abuelo, Henry Carvallo y Rubén Carvallo, quienes estarían orgullosos de mí.

A mi abuela, Gloria Mieles, quien siempre me ha ayudado con concejos y criándome desde pequeño.

A mis amigos más cercanos: Darwin, Wilson, Josué, Daniela, Diego y Nicole.

Johnny Baque

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco principalmente a mis padres por estar siempre a mi lado y ser ejemplos a seguir, gracias por su esfuerzo y dedicación mostrada a lo largo de todos estos años. Agradezco a mis amigos quienes siempre confiaron en mí y me han acompañado en cada uno de mis logros. Por último, quiero agradecer a Dios, quién me ha dado la fortaleza para superar cada una de las dificultades y llenarme de bendiciones en mi vida.

Carla Merchán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres de todo corazón por enseñarme a superar cualquier obstáculo e inculcarme valores necesarios para la vida.

A P.hD. Marcelo Fajardo, quien fue mi maestro y tutor durante mi formación profesional, le agradezco por la paciencia y disposición que tuvo durante todo este proceso.

A la futura ingeniera Carla Merchán, por su arduo trabajo durante todo el desarrollo del proyecto.

Al futuro ingeniero Josué Cajamarca, por ser mi amigo y compañero durante todo el colegio y universidad.

Agradezco a la futura ingeniera Nicole Pilco, por su amistad y apoyo incondicional durante la carrera.

Johnny Baque

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Johnny Arturo Baque Carvalho* y *Carla Michelle Merchán Moncayo* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL 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”



Johnny Arturo Baque Carvalho



Carla Michelle Merchán Moncayo

EVALUADORES

Bryan Joao Puruncajas Maza, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, P.hD.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las frutas y verduras en un banco de alimentos se las etiquetan como: aptas para consumo humano, animal o merma. Estas organizaciones tienen la capacidad para clasificar 1.5 toneladas al día, no obstante, necesitan entre 8 a 12 voluntarios para realizar este trabajo. La finalidad del presente proyecto consiste en diseñar un sistema automatizado para clasificar estos alimentos por su grado de maduración y aumentar la capacidad de clasificación usando menos personal durante esta etapa.

El diseño mecánico final del sistema fue realizado y analizado con programas CAD, otros tipos de software fueron utilizados para simulación de conexiones eléctricas y programación. El diseño final cuenta con 2 bandas transportadoras, una para alinear y otra para clasificar, además, se diseñaron accesorios (brazos, bordes), el modelo de IA y un panel de control. Para el desarrollo del proyecto se tomaron en cuenta normativas tales como INEN, ISO, CCOHS. Los materiales que se seleccionaron fueron acero inoxidable SAE 304, plástico ABS y TPU.

Se validó el comportamiento del sistema en una jornada de 8 horas, alcanzando una capacidad de 1.7 toneladas en 8 horas usando 4 voluntarios. Las estructuras y piezas fueron diseñadas a fatiga con un factor de seguridad mayor a 1 (vida infinita). El modelo de IA tuvo una precisión del 85.80% y fue capaz de etiquetar los productos como se estableció.

En conclusión, el sistema aumentó la capacidad de clasificación en un 13.37%, con respecto al método tradicional. Además, redujo en un 50% la cantidad de voluntarios necesarios para el proceso.

Palabras clave: Banco de alimentos, clasificación inteligente, diseño de máquinas, inteligencia artificial, distribución de alimentos.

ABSTRACT

Fruits and vegetables in Food Banks (FB) are labeled as: fit for human consumption, animal consumption, or wastage. These organizations have a sorting capacity of 1.5 tons per day. However, they need around 8 and 12 volunteers to do this job. Therefore, the project aims to design an automated system for sorting these foods and increase the sorting capacity using fewer operators.

The final mechanical design of the system was made and analyzed with CAD programs, and other types of software were used to simulate electrical connections and programming. The final design has two conveyor belts, one for aligning and one for sorting. In addition, accessories (arms, edges), an AI model, and the control panel were designed. For the project's development, regulations such as INEN, ISO, and CCOHS were considered. The materials selected were SAE 304 stainless steel, ABS plastic, and TPU.

The system's performance was validated in an 8-hour day, reaching a capacity of 1.7 tons in 8 hours using four volunteers. The structures and parts were designed to fatigue with a safety factor greater than 1 (infinite life). The AI model had an accuracy of 85.80% and could label the products as established.

In conclusion, the system increases sorting capacity by 13.37% over the traditional method and reduces the number of volunteers required for the process by 50%

Keywords: *Food banks, intelligent classification, machines design, artificial intelligence, food distribution.*

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. 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 Alimentos perecibles de bajo riesgo	4
1.4.2 Clasificación de frutas y verduras por colores.....	5
1.4.3 Tipos de frutas y verduras comúnmente donadas	6
1.4.4 Normativa ecuatoriana para la sanidad de alimentos	7
1.4.5 Reglas de control de calidad para frutas y verduras	8
1.4.6 Estado del arte.....	8
CAPÍTULO 2	
2. Metodología.....	12
2.1 Selección de la alternativa de solución.....	12

2.2	Proceso de diseño.....	14
2.3	Requerimientos de diseño.....	15
2.4	Diseño conceptual.....	16
2.5	Diseño mecánico.....	18
2.5.1	Selección de banda transportadora	18
2.5.2	Diseño de borde en V para banda alineadora	22
2.5.3	Diseño de compuerta y rampa.....	23
2.5.4	Diseño de contenedor y entrada de productos	24
2.5.5	Diseño del brazo oscilante clasificador	25
2.6	Diseño del sistema computacional	28
2.6.1	Selección de Raspberry Pi.....	28
2.6.2	Selección de la cámara para reconocimiento	29
2.6.3	Lenguaje, librerías y recursos utilizados	30
2.6.4	Descripción de la inteligencia artificial a utilizar	31
2.6.5	Diseño de la recámara para detección de imágenes	32
2.6.6	Flujo de proceso creación del modelo de IA.....	33
2.7	Diseño de panel de control.....	34
2.7.1	Selección de sensores.....	34
2.7.2	Selección de controlador industrial	35
2.7.3	Cálculo y selección de elementos de protección en fuerza	36
2.7.4	Elementos de control	37
2.8	Especificaciones técnicas del producto final	39
2.9	Consideraciones éticas y legales	41
CAPÍTULO 3		
3.	Resultados y análisis.....	42
3.1	Diseño mecánico.....	43
3.1.1	Pieza de entrada.....	43

3.1.2	Borde en V	44
3.1.3	Brazo oscilante	45
3.1.4	Estructura de bandas transportadoras y pieza de entrada	47
3.2	Diseño Computacional	50
3.2.1	Resultados IA.....	50
3.3	Diseño eléctrico, neumático y control	53
3.3.1	Esquemático de fuerza y control.....	55
3.3.2	Esquemático neumático y control	57
3.4	Validación de capacidad del sistema.....	58
3.5	Análisis de costos.....	60
CAPÍTULO 4		
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	64
4.1	Conclusiones.....	64
4.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
BA	Banco de Alimentos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
AECOC	Asociación Española de Codificación Comercial
IR	Infrared Radiation
GPU	Graphics Processing Unit
SBC	Single Board Computer
ML	Machine Learning
IA	Inteligencia Artificial
DL	Deep Learning
CNN	Convolutional Neural Networks
FDA	Food and Drug Administration
UE	Unión Europea
TPU	Thermoplastic polyurethane
CCOHS	Canadian Centre for Occupational Health and Safety
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
PLC	Programador Lógico Controlable
HMI	Human Machine Interface

SIMBOLOGÍA

m	Metro
kg	Kilogramo
g	Gramo
mm	Milímetro
cm	Centímetro
Vdc	Voltaje en corriente directa
Vac	Voltaje en corriente alterna
A	Amperio
W	Watt
ton	Tonelada
N	Newton
bar	Bar
MPa	Mega pascal
s	Segundo
min	Minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama funcional de un sistema automatizado para control de calidad de papas	9
Figura 1.2 Diseño propuesto para clasificación y empaquetado de frutas y verduras... 10	10
Figura 1.3 Implementación del prototipo para control de calidad de frutas	10
Figura 1.4 Sistema inteligente de clasificación de frutas por TAIHO	11
Figura 2.1 Metodología de diseño	15
Figura 2.2 Esquemático del sistema.....	17
Figura 2.3 Diseño conceptual.....	17
Figura 2.4 Velocidad de bandas.....	20
Figura 2.5 Plano de banda transportadora M1950-ED.....	20
Figura 2.6 Catálogo de Dipac.....	22
Figura 2.7 Borde en V	22
Figura 2.8 Rampa para alimentos aptos en buen estado	24
Figura 2.9 Rampa para alimentos aptos para consumo animal.....	24
Figura 2.10 Entrada y rampa de productos	25
Figura 2.11 Diseño conceptual de brazo oscilador.....	25
Figura 2.12 Relaciones del brazo	26
Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del brazo.....	26
Figura 2.14 Brazo oscilante clasificador	27
Figura 2.15 Google colar USB accelerator	29
Figura 2.16 PiNoir Camera Module V2.....	30
Figura 2.17 Redes neuronales convolucionales	31
Figura 2.18 Diseño caja de inspección visual.....	33
Figura 2.19 Diagrama de flujo modelo de inteligencia artificial para clasificación	34
Figura 2.20: Selección detector capacitivo KI6001 con alcance de 40 mm.....	35
Figura 2.21 Circuito de fuerza del diseño	38
Figura 2.22: Circuito de control del diseño	38
Figura 2.23 Conexiones Raspberry	39
Figura 3.1 Vista general del sistema	42
Figura 3.2 Zona de alineación	43
Figura 3.3 Zona de clasificación	43
Figura 3.4 Análisis de elementos finitos de la pieza de entrada	44

Figura 3.5 Gráfica de carga oscilante repetida	44
Figura 3.6 Análisis de elementos finitos de borde en v	45
Figura 3.7 Análisis de brazo oscilante como un sólido completo.....	45
Figura 3.8 Gráfica de movimiento de brazo oscilante.....	46
Figura 3.9 Von mises de brazo.....	46
Figura 3.10 Von mises de soporte de brazo	47
Figura 3.11 Von mises de banda alineadora	48
Figura 3.12 Desplazamiento de banda alineadora	48
Figura 3.13 Von mises de banda clasificadora	49
Figura 3.14 Desplazamiento de banda clasificadora	49
Figura 3.15 Von mises de estructura para pieza de entrada	50
Figura 3.16: Matriz de confusión del modelo de IA.....	51
Figura 3.17: Predicción para pimiento	52
Figura 3.18: Predicción para pimiento dañado	52
Figura 3.19 : Predicciones de la IA.....	53
Figura 3.20 Panel de control (cara externa)	53
Figura 3.21 Panel de control (internamente)	54
Figura 3.22 Diagrama de flujo PLC	55
Figura 3.23 Accionamiento de circuito de fuerza	56
Figura 3.24 Accionamiento de botonera de inicio.....	56
Figura 3.25 Paro de emergencia en circuito de fuerza	57
Figura 3.26 Paro de emergencia circuito de control	57
Figura 3.27 Esquemático neumático	58
Figura 3.28 Accionamiento alimentos en buen estado	58
Figura 3.29 Diagrama de fase	58
Figura 3.30 Cantidad de frutas y verduras.....	59
Figura 3.31 Cantidad de merma y alimento para animales	59
Figura 3.32 Rendimiento de los operarios.....	60
Figura 3.33 Simulación del sistema.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Guía de seguridad alimentaria para BA: categorías de alimentos	5
Tabla 1.2 Clasificación de frutas y verdura por colores	6
Tabla 1.3 Verduras y frutas para bancos de alimentos	7
Tabla 2.1 Alternativas de solución	12
Tabla 2.2 Definición de criterios de diseño	13
Tabla 2.3 Criterios de diseño	13
Tabla 2.4 Matriz de decisión alternativas de diseño	14
Tabla 2.5 Requerimientos de diseño	16
Tabla 2.6 Características de frutas y verduras	18
Tabla 2.7 Ancho de bandas normalizadas.....	18
Tabla 2.8 Parámetros técnicos de bandas transportadoras	21
Tabla 2.9 Dimensiones del trapecio	22
Tabla 2.10 Dimensión y posición del borde	23
Tabla 2.11 Materiales del brazo oscilante	27
Tabla 2.12 Modelos Raspberry Pi	28
Tabla 2.13 Cámaras disponibles compatibles con Raspberry Pi.....	30
Tabla 2.14 Librerías y recursos utilizados	31
Tabla 2.15 Capas convolucionales	32
Tabla 2.16 Clasificación de sensores de proximidad.....	35
Tabla 2.17 Selección de válvula y final de carrera	35
Tabla 2.18 Selección de PLC, módulos de expansión y fuente de alimentación.....	36
Tabla 2.19 Datos de motores	36
Tabla 2.20 Elementos de protección y fuerza.....	37
Tabla 2.21 Especificaciones técnicas del diseño.....	40
Tabla 3.1 Detalle costo del proyecto	61

ÍNDICE DE PLANOS

DIAKONÍA-001	Vista general del sistema
DIAKONÍA-100	Zona de alineación
DIAKONÍA-200	Zona de clasificación
DIAKONÍA-101	Pieza de entrada
DIAKONÍA-102	Borde en V
DIAKONÍA-103	Estructura de banda transportadora de 1000 mm
DIAKONÍA-104	Estructura de pieza de entrada
DIAKONÍA-105	Posición zona de alineación
DIAKONÍA-201	Tobogán principal
DIAKONÍA-202	Gaveta
DIAKONÍA-203	Tobogán secundario
DIAKONÍA-204	Brazo
DIAKONÍA-205	Soporte de brazo
DIAKONÍA-206	Cámara
DIAKONÍA-207	Estructura de banda transportadora de 2000 mm
DIAKONÍA-208	Soporte de sensor
DIAKONÍA-209	Posición zona de clasificación
DIAKONÍA-300	Pasillo entre bandas
DIAKONÍA-400	Panel de control
DIAKONÍA-500	Diagrama de fuerza
DIAKONÍA-501	Diagrama de control
DIAKONÍA-502	Conexión Raspberry – PLC Logo
DIAKONÍA-600	Diagrama neumático

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, en su informe “Panorama Social de América Latina 2020”, 1 de cada 3 personas son catalogadas como “pobres” y 1 de cada 10 viven en extrema pobreza. Entre el 2019 y 2020, las personas en situación de pobreza aumentaron del 30.5% al 33.7%, y los casos de extrema pobreza del 11.3% al 12.5%. Frente a los datos antes mencionados el rescate y donación de alimentos puede ser una opción lógica para amortiguar esta realidad, aun cuando se registra que el 30% de los alimentos que se producen para consumo humano se pierden o desperdician [1].

Teniendo en cuenta esto, además de, los dilemas de la malnutrición y escasez de recursos, los bancos de alimentos (BA) pueden ser una solución para reducir la brecha entre el hambre (ODS 2) y el desperdicio de comida [1]. Los BA en el Ecuador son el soporte de muchas personas, por ejemplo, solo en Guayaquil, alrededor de 350 mil personas de escasos recursos son beneficiadas por este tipo de organizaciones [2]. Sin embargo, estas se manejan mediante donaciones que otorgan los supermercados, tiendas, civiles, entre otros; usualmente las donaciones son productos que no se han podido vender dentro del tiempo esperado, de manera que antes de su fecha de caducidad son entregados a los bancos de alimentos con el fin de darle una segunda oportunidad antes de ser desechados como merma [1].

Los productos que son entregados a los usuarios finales deben de ser de calidad y estar en óptimas condiciones para el consumo humano, es por ello que, los BA con su red de voluntarios deben clasificarlos y procesarlos para evitar inconvenientes sanitarios, incluso algunos productos son reempacados para su próxima redistribución [3].

En 2020, a nivel nacional algunos bancos de alimentos presentaron un crecimiento de 100 veces su capacidad de entrega con respecto a la registrada en el 2019 [3], año en donde se observó un crecimiento exponencial debido a las necesidades alimenticias. Pese a ello, este incremento de entregas puede traer consigo un

decrecimiento en la calidad de los alimentos entregados, debido a la escasez de personal para clasificar todos los productos que son recibidos.

Entre las donaciones que llegan a los BA se encuentran los perecibles (verduras, legumbres y frutas), las cuales representan un 82% de las donaciones para un BA en la ciudad de Quito [4], y que lamentablemente se descomponen de manera rápida, por lo que, gran parte del trabajo corresponde a clasificar aquellos productos que aun se encuentren aptos para el consumo humano y pueden ser entregados en óptimas condiciones. El presente trabajo se centra en el subproceso de clasificación de frutas y verduras para un banco de alimentos de la ciudad de Guayaquil, se realiza la automatización aplicando inteligencia artificial, diseño mecánico y electrónico para que las instituciones puedan agilizar el trabajo en esta área.

1.1 Descripción del problema

Uno de los principales problemas dentro de los bancos de alimentos es la falta de voluntarios o a su vez la inexperiencia de estos, en contraste a grandes corporaciones como La Favorita y El Rosado, quienes seleccionan y contratan personal que pasan por un periodo de capacitación para pulir sus habilidades. No obstante, los voluntarios en los BA no cuentan con dicho periodo, añadiendo, que su permanencia en la fundación es efímera y rotativa.

El conflicto descrito genera que los BA no tengan la capacidad suficiente en el subproceso de “clasificación de frutas y verduras”, es decir, en los alimentos de Categoría 2, ver tabla 1.1, [5]. Según la entrevista realizada a un BA, este procedimiento se lo realiza manualmente por voluntarios, usualmente operan con un promedio de 8 personas y con una capacidad de clasificación de 600-800 kg en 4 horas, es decir, 1.5 toneladas en un periodo de 8 horas. Sin embargo, el tiempo dedicado a esta tarea al día no es suficiente ya que solo pueden procesar 3/8 de las donaciones totales, por esta razón, todo el alimento que no pasó por dicho procedimiento es entregado tal como llegó a la fundación independientemente de su estado [6].

Es por ello que, se necesita reducir la dependencia de los voluntarios en esta área automatizando la línea de clasificación. Sin embargo, para realizar dicha propuesta

se debe tener claro los requerimientos de las máquinas que estarán en contacto con alimentos, como tipo de material con el cual se construyen, las condiciones a las que se expondrán y el espacio físico en donde se ubicará. Cabe resaltar que los espacios en donde se realizan este tipo de subprocesos tienen ambientes climatizados, debido a que, factores externos como la temperatura y humedad pueden afectar los diseños, por lo cual deben ser tomados en cuenta y utilizar materiales resistentes a la corrosión. Por regulaciones de higiene las máquinas a utilizar no deben absorber olores ni propagar la “contaminación cruzada”, procurando que las superficies que entren en contacto con los alimentos puedan ser correctamente desinfectadas y faciliten la limpieza de los elementos involucrados en el diseño del proyecto [5].

1.2 Justificación del problema

Los bancos de alimentos son fundaciones que ayudan a erradicar el hambre dentro de la sociedad y buscan llevar alimento en condiciones sanitarias a personas que no cuentan con recursos suficientes. Sin embargo, las donaciones recibidas por instituciones pertenecientes al sector alimenticio no siempre se encuentran en buen estado, por esta razón, se necesita realizar una revisión antes de distribuirlos, para ello necesitan de voluntarios en esta labor. No obstante, por la naturaleza de las organizaciones sin fines de lucro no pueden mantener personal fijo para realizar este tipo de trabajo. Los productos de categoría 2, ver tabla 1.1, son afectados por el nivel de humedad y calor presente en el ambiente, lo que provoca una aceleración a la descomposición de los mismos. La mejor opción disponible es congelar estos alimentos para extender su vida útil [7].

Pese a que la mayoría de BA tiene congeladores, estos espacios son reservados para alimentos ya etiquetados y que necesitan refrigeración, como carnes, pollos, mariscos, entre otros, por lo tanto, la contribución principal de este proyecto es agilizar el subproceso de clasificación de frutas y verduras, tomando en consideración los diferentes requerimientos sanitarios, estructurales, funcionales y económicos que involucren el desarrollo de una línea automatizada con visión artificial dirigido a la industria alimenticia. Además, de ser diseñado de manera que

pueda ser modificada para futuros requerimientos, como un cambio de secuencia o de identificación, o inclusive que puede ser transportada de forma sencilla.

De esta manera, se puede disminuir la dependencia de la cantidad de voluntarios y su inexperiencia, y optar por la reubicación del personal hacia otras áreas. La automatización e implementación de IA en la industria alimenticia tiene como objetivo aumentar la eficiencia con respecto al manejo de alimentos [8], teniendo una mejor visión del proceso y en consecuencia un mayor control de calidad, evitando las capacitaciones largas a voluntarios y mitigando sus errores.

Por último, se podría clasificar 3/8 o más de las donaciones para evitar que los usuarios finales reciban alimentos sin su debido control generando la desconfianza en este tipo de organizaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Mejorar la eficiencia y productividad del área de clasificación de frutas y verduras en un BA, mediante el diseño de una línea automatizada que clasifique dichos productos a partir de los requerimientos del cliente para aumentar la capacidad del subproceso.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Disminuir la cantidad de voluntarios para el subproceso de clasificación de frutas y verduras en al menos un 50%, manteniendo la capacidad mínima de 1.5 toneladas diarias clasificadas.
2. Generar el diseño mecatrónico de un clasificador que pueda mejorar al menos un 10% el tiempo de clasificación en comparación al método actual.
3. Disminuir la tasa de contaminación cruzada en los alimentos clasificados por la manipulación humana.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Alimentos perechibles de bajo riesgo

Según AECOC, los alimentos perechibles de bajo riesgo se los denominan "Categoría 2". En este grupo se encuentran las frutas y verduras crudas, por

consecuencia es importante tener estaciones de refrigeración con temperaturas alrededor de los 4 °C para preservarlos. Además, se separan los elementos que estén parcialmente dañados para prevenir malos olores e insectos, por ello se recomienda sacar la basura con frecuencia [5].

Tabla 1.1 Guía de seguridad alimentaria para BA: categorías de alimentos [5]

Categoría de los alimentos para banco de alimentos	
Categoría 1: Productos no perecederos	Alimentos que no requieren refrigeración, como alimentos pre-envasados, enlatados o embotellados y productos secos como harina, pasta entre otros.
Categoría 2: Alimentos perecederos de bajo riesgo	Incluye alimentos como frutas y verduras crudas.
Categoría 3: Alimentos potencialmente peligrosos	Productos potencialmente sensibles, como lácteos, huevos y ovoproductos, carnes y productos cárnicos.
Categoría 4: Alimentos de alto riesgo	Incluye alimentos procesados en el hogar o parcialmente consumidos desde cualquier fuente, pues no se tiene la certeza de cómo fueron procesados, almacenados o contaminados.

1.4.2 Clasificación de frutas y verduras por colores

Las frutas y verduras se pueden clasificar por 5 colores, los cuales son: verde, rojo, blanco, amarillo-anaranjado y azul-morado. Esta clasificación se utiliza para explicar los nutrientes y propiedades que tiene ciertos alimentos o como afectan al cuerpo humano [9]. Las características de cada grupo se mencionan en la siguiente tabla [10].

Tabla 1.2 Clasificación de frutas y verdura por colores [9]

Color	Descripción	Ejemplos
Verde	Grupo poco calórico, rico en vitaminas (A, C, B, E y K). Color característico por la presencia de clorofila.	Lima, uvas verdes, guayaba, brócoli, repollos de brúcelas, cilantro.
Amarillo-Anaranjado	Grupo rico en caroteno, además, se los conoce como una fuente de vitamina C, ácidos fólicos,	Zanahoria, zapallo, choclo, naranja, durazno.
Blanco	Contiene almidones, minerales como potasio. Reconocida por efecto anticancerígeno.	Ajos, cebollas, peras
Azul-Morado	Su color se debe a la antocianina	Coliflor morada, moras, uvas negras.
Rojo	Se asocian en dietas para disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, por su contenido de licopeno.	Tomate, pimentón, ají, frutilla.

1.4.3 Tipos de frutas y verduras comúnmente donadas

Según *Iowa State University*, en su informe “*Top 13 Vegetables to donate to food pantries*”, menciona que, en época de cosecha, las industrias agrícolas suelen tener exceso de vegetales y frutas que no pueden comercializar, por tanto, estas pueden ser donadas a los bancos de alimentos [11]. En la Tabla 1.3, se observan los alimentos que son donados con mayor frecuencia, se debe tomar en cuenta que este listado solo es referencial ya que depende de la ubicación y clima.

Tabla 1.3 Verduras y frutas para bancos de alimentos [11], [12]

Nombre	Tipo	Peso promedio	Dimensión aproximada
Tomate	Vegetal	170 g	6 a 10 cm de diámetro
Calabacín	Vegetal	200 g	14 a 20 cm de largo
Zapallo	Vegetal	5 a 30 kg	20 a 40 cm de diámetro
Papas	Vegetal	184 g	5 a 7 cm de diámetro
Cebollas	Vegetal	200 a 400 g	10 cm de diámetro
Pimientos	Vegetal	170 g	6 cm de largo
Pepinos	Vegetal	250 g	4 cm de diámetro, 15-30 cm de largo
Sandias	Fruta	9 kg	25 cm de diámetro
Broccoli	Vegetal	225 g	10 a 20 cm
Repollo	Vegetal	9.07 kg	20-25 cm de diámetro
Camote	Vegetal	113 g	5-10 cm de diámetro, 15-20cm de largo
Zanahorias	Vegetal	60 g	3 cm de grosor, 15 a 20 cm de largo
Alverja	Vegetal	4 a 10 semillas	5 a 10 cm de largo

1.4.4 Normativa ecuatoriana para la sanidad de alimentos

En la industria alimenticia es indispensable garantizar la correcta manipulación y cuidado de los alimentos destinados a consumo humano, por lo tanto, las maquinarias y equipos que estén en contacto con los alimentos no deben permitir la contaminación y mantener los alimentos íntegros.

Algunas de las normativas que mencionan estas temáticas son:

- ISO 16143-2:2014 – Acero inoxidable resistente a la corrosión
Recomiendan un acero con al menos un 10,5 % (fracción de masa) Cr y un máximo de 1,2 % (fracción de masa) C para evitar la corrosión.
- NTE INEN 3039 – Zonas de manipulación de los alimentos
En zonas de manipulación de alimentos, todas las estructuras y accesorios deben instalarse siempre evitando la contaminación de los alimentos, materias primas y envases, además se debe asegurar que no interfieran en las operaciones de limpieza.

- NTE INEN 3039 – Almacenamiento y refrigeración

La distancia mínima de los alimentos con respecto al piso debe ser mínimo de 20 cm, y de alimentos apilados, como sacos cajas o bolsas, hasta una distancia de 60 cm con respecto al techo y 15 cm entre ellos procurando una correcta circulación de aire.

- ARCSA-DE-067-2015-GGG – Instalaciones Eléctricas y Redes de Agua

Se debe evitar cables colgantes sobre áreas de manipulación de alimentos, las instalaciones eléctricas deben ser abiertas y los terminales adosados en pared o techo, en lugares críticos debe constar por escrito el procedimiento para inspección y limpieza.

1.4.5 Reglas de control de calidad para frutas y verduras

Tanto frutas como verduras en un BA antes de ser redistribuidas pasan por una etapa de control de calidad donde manualmente se las separa en tres grupos:

1. Consumo humano, el alimento se encuentra apto para el consumo humano, no contiene golpes, no muestra crecimiento de bacterias, presenta la madurez y color adecuados.
2. Consumo animal, aquellos alimentos que están en su última etapa de maduración y ya no pueden ser consumidos por el ser humano.
3. Merma, incluye alimentos podridos, cáscaras de frutas no aptas para consumo animal.

1.4.6 Estado del arte

El artículo "*Mechatronic system for fruit and vegetables sorting*" publicado en *IOP conference series: materials science and engineering*, presenta un sistema para clasificar y monitorear la calidad de frutas y verduras en base a la exposición del objeto a una fuente de radiación infrarroja (IR) mientras este se encuentra en movimiento a través de una banda transportadora de rodillos. Se implementó un sistema de visión basado en una cámara termográfica, el cuál a partir de una escala de color se logra diferenciar entre aquellos objetos que estaban sanos de

los que presentaban daños por golpes o algún tipo de enfermedad infecciosa, para ello se implementó el método hiperespectral así como algoritmos para procesar imágenes IR [13].

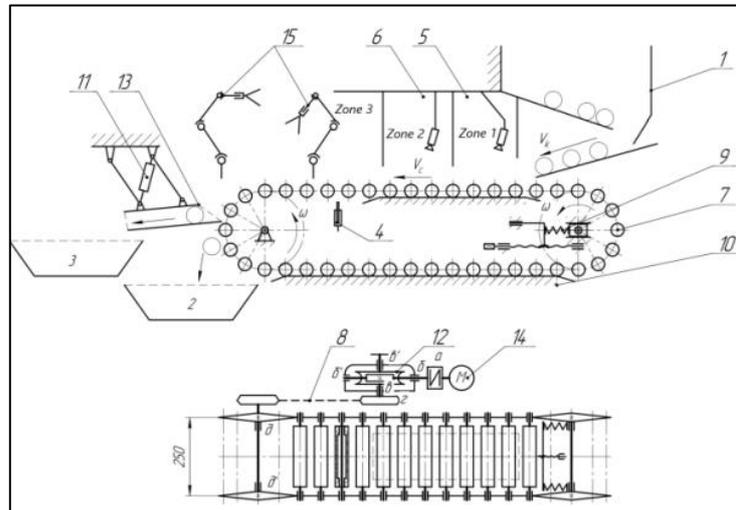


Figura 1.1 Diagrama funcional de un sistema automatizado para control de calidad de papas [13]

El dispositivo mecatrónico mostrado en la Figura 1.1 contiene los principales componentes:

- | | |
|---|--|
| 1. Tolva de carga | 2. Descarga de frutas y verduras defectuosas |
| 3. Descarga de frutas y verduras sanas | 4. Sensor de velocidad |
| 5. Fuente de calor y cámara termográfica | 6. Camera hiperespectral |
| 7. Mesa de rodillo | 8. Accionamiento eléctrico |
| 9. Dispositivo tensor para la cadena de transmisión de la banda de rodillos | 10. Base fija |
| 11. Accionamiento para clasificar objetos defectuosos | 12. Caja de engranajes |
| 13. Dispositivo de rechazo de objetos defectuosos | 14. Actuador eléctrico |

Ashish Bhatnagar, de la India, en su artículo “*Customized sorting and packaging machine*” propone un diseño mecatrónico automatizado de bajo costo, el cual clasifica las frutas y verduras en alta y baja calidad según su apariencia física y peso. Para el desarrollo del algoritmo utilizan OpenCV junto con un Arduino Uno y Raspberry Pi. El diseño mecánico propuesto se muestra en la Figura 1.2, cuenta con tres secciones principales, sección de alineación de la fruta o verdura, sección de inspección y finalmente la sección de clasificación [14].

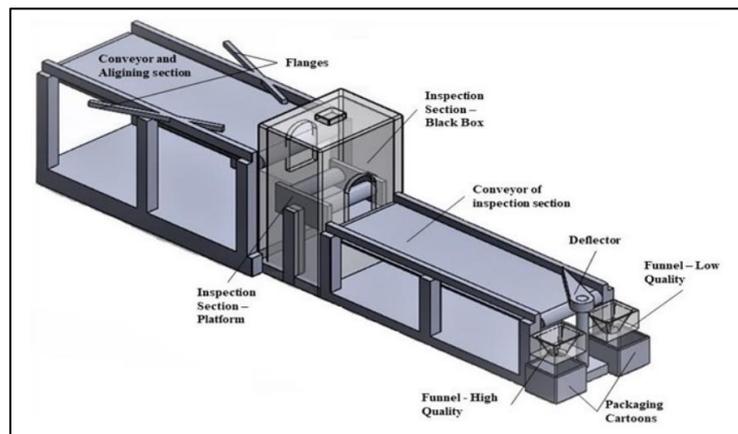


Figura 1.2 Diseño propuesto para clasificación y empaquetado de frutas y verduras [14]

En Ecuador, estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas, desarrollaron e implementaron un sistema de control de calidad para la detección de contaminantes superficiales de diferentes tipos de frutas usando visión artificial, redes neuronales, y librerías como OpenCV y tensorflow [15]. La implementación del sistema mecatrónico se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3 Implementación del prototipo para control de calidad de frutas [15]

Actualmente en el mercado la empresa TAIHO ofrece un sistema inteligente de clasificación de frutas y verduras el cual puede ser adaptado según las necesidades del cliente. El sistema garantiza la identificación precisa de la forma, color y defectos de frutas y verduras, utilizando análisis de imágenes multiespectrales además detecta el peso dinámico a una alta velocidad. Utiliza transporte de rodillos por secciones evitando daños en el producto. Posee secciones de alineación para que los elementos lleguen correctamente posicionados a las diferentes estaciones utilizando paredes con pendientes alrededor de bandas transportadoras angostas [16].

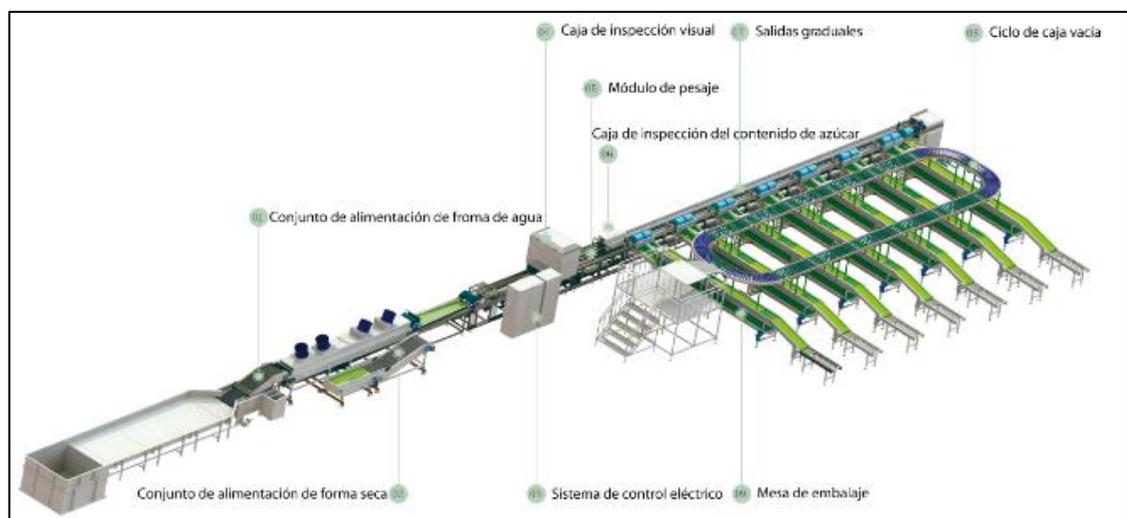


Figura 1.4 Sistema inteligente de clasificación de frutas por TAIHO [16]

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica el procedimiento usado para realizar el proyecto, cumpliendo con los objetivos planteados. Se detallan los pasos seguidos desde la selección de la alternativa de acuerdo con los requerimientos del cliente, funcionalidad y capacidad, pasando por la identificación de los parámetros de diseño, hasta llegar a la selección de los elementos de control, eléctricos y mecánicos.

2.1 Selección de la alternativa de solución

A partir de la problemática descrita en el capítulo 1, se describen 3 alternativas de solución para el sistema clasificador de frutas y verduras, las cuales, se detallan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Alternativas de solución

Alternativa 1	Diseño de un sistema automatizado con estructura en línea, compuesto por 2 bandas transportadoras, para alinear y transportar las frutas o verduras respectivamente. Clasificando los elementos con una cámara asistida por inteligencia artificial para luego accionar compuertas neumáticas y enviar el producto al depósito correspondiente.
Alternativa 2	Diseño de un sistema automatizado conformado por un mecanismo de bordes móviles, los cuales, se accionarán mediante un panel de control donde se selecciona la fruta a clasificar, para que las paredes se ajusten al tamaño del producto, además, la clasificación se realiza con inteligencia artificial.
Alternativa 3	Diseño de un sistema automatizado clasificador de frutas y verduras compuesto de una tolva conectada a un compartimiento para su respectiva identificación, luego el objeto es impulsado hacia la banda transportadora por un sistema biela manivela corredera, donde se accionan las compuertas ubicadas lateralmente y al final.

Para la selección de la alternativa basada en los requerimientos del cliente, se realizó un análisis utilizando los criterios de diseño que se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Definición de criterios de diseño

Viabilidad	El sistema debe de ser construido con piezas y elementos disponibles dentro del mercado nacional, con una minoría en el internacional.
Facilidad de uso y limpieza	El sistema debe ser fácil de desmontar para la desinfección y el mantenimiento.
Económico	Se debe minimizar los costos del proyecto sin afectar la funcionalidad de este.
Compacto	El proyecto debe de estar dimensionado de tal manera que se pueda ubicar dentro de un espacio limitado.
Capacidad	Cantidad de frutas y verduras clasificadas por hora (flujo másico).
Semi-Automático	Capacidad del proyecto en disminuir el número de operarios para realizar la clasificación.
Seguridad	El proyecto debe ser seguro para los operarios, debe disminuir el riesgo de accidentes.
Confort del producto	Las frutas y verduras no deben de recibir ningún tipo de daño que comprometa la integridad de estos.

En la Tabla 2.3, se muestra los resultados del estudio realizado para saber la prioridad y peso que tiene cada criterio al momento de realizar la selección de las 3 diferentes alternativas propuestas.

Tabla 2.3 Criterios de diseño

Seguridad>Confort del producto=Facilidad de uso y limpieza>Viabilidad=Semi-Automático>Económico=Capacidad>Compacto										
Criterio	Viabilidad	Facilidad de uso y limpieza	Económico	Compacto	Capacidad	Seguridad	Semi-Autónomo	Confort del producto	$\Sigma+1$	Ponderación
Viabilidad		0	0.5	1	0.5	0	0.5	0	3.5	0.10
Facilidad de uso y limpieza	1		1	1	1	0	1	0.5	6.5	0.18
Económico	0.5	0		0.5	0.5	0	0.5	0	3	0.08
Compacto	0	0	0.5		1	0	0	0	2.5	0.07
Capacidad	0.5	0	0.5	0.5		0	0.5	0	3	0.08
Seguridad	1	1	1	1	1		1	1	8	0.22
Semi-Autónomo	0.5	0	0.5	1	0.5	0		0	3.5	0.10
Confort del producto	1	0.5	1	1	1	0	1		6.5	0.18
								Suma	36.5	1

Se evaluó cada una de las alternativas tomando como referencia los criterios definidos previamente. Después de dicho estudio, se decidió que la alternativa 1 cumple con los parámetros de solución propuestos, por lo cual, es la óptima para resolver la problemática, debido a que es una alternativa segura que reduce el riesgo de accidentes laborales, también que es de fácil mantenimiento y no perjudicará el estado del producto a tratar. Además, que propone el uso de elementos que están disponibles dentro del mercado nacional en su mayoría por lo que puede resultar en una solución económica. En la Tabla 2.4, se puede observar los resultados obtenidos como evidencia de los propuesto.

Tabla 2.4 Matriz de decisión alternativas de diseño

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3										
Conclusión	Viabilidad	Facilidad de uso y limpieza	Económico	Semi-Autónomo	Capacidad	Seguridad	Compacto	Confort del producto	$\Sigma+1$	Prioridad
Alternativa 1	0.040	0.074	0.041	0.032	0.041	0.091	0.011	0.074	0.405	1
Alternativa 2	0.024	0.074	0.014	0.032	0.014	0.091	0.034	0.074	0.357	2
Alternativa 3	0.032	0.030	0.027	0.032	0.027	0.037	0.023	0.030	0.237	3

2.2 Proceso de diseño

Para la resolución de la problemática fue indispensable pasar por ciertas etapas de diseño y sus respectivas áreas hasta que se cumplió los requerimientos del cliente. En la Figura 2.1, se puede observar un diagrama de flujo con la metodología seguida.

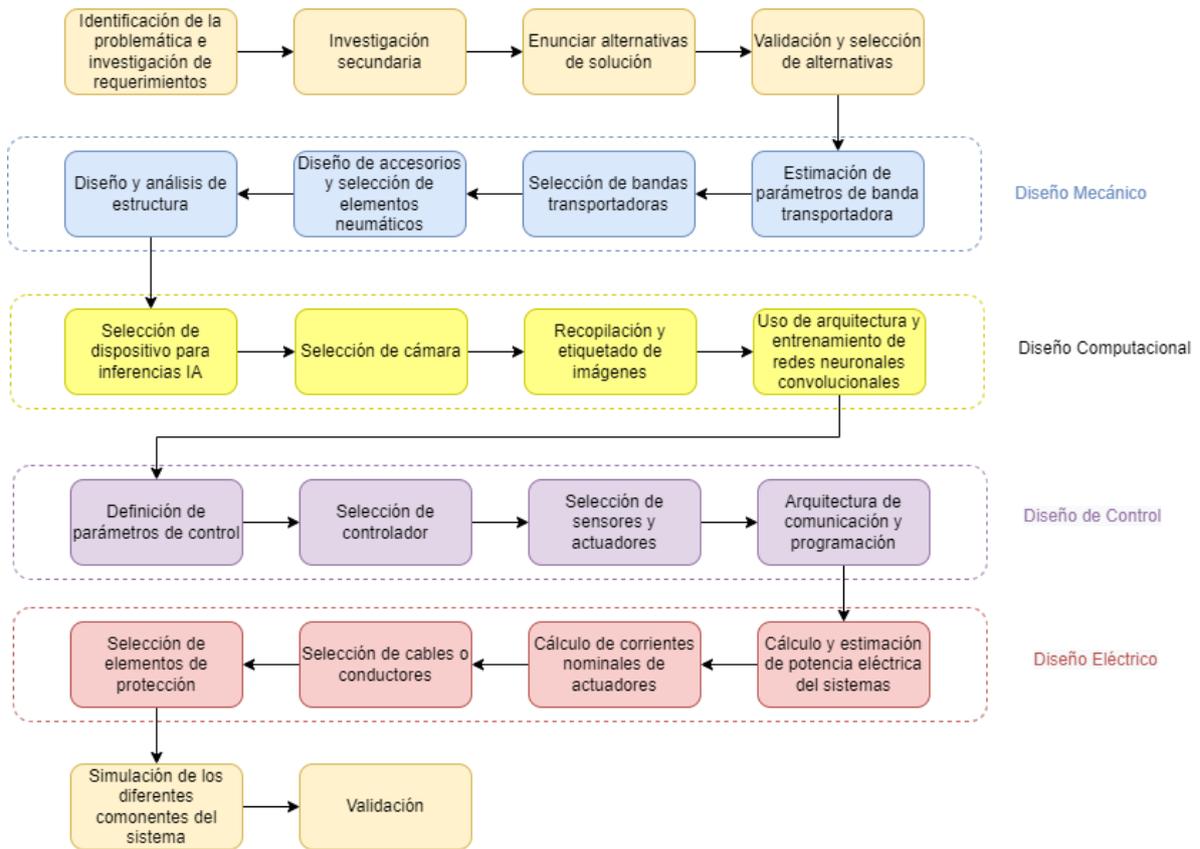


Figura 2.1 Metodología de diseño

2.3 Requerimientos de diseño

Para el desarrollo de una línea semiautomatizada para clasificación de frutas y verduras, la cual, operará dentro de un banco de alimentos, se deben cumplir con ciertos requerimientos propuestos por normativas y el usuario final. Estos parámetros se detallan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Requerimientos de diseño

Funcionalidad	El sistema debe realizar la clasificación de productos aptos para consumo humano, animal o merma, de manera continua.
Capacidad de operación	Se debe clasificar 1.5 toneladas en una jornada de trabajo de 8 horas
Semi-Autonomía	El sistema debe operara con 4 o 5 operadores
Tiempo de operación	8 horas diarias, por 6 días a la semana
Material de elementos	Los elementos estructurales deben de ser de acero inoxidable y las bandas deben de ser de categoría A (aptas para transportar alimentos).
Mantenimiento	Limpieza de bandas al menos semanales, y mantenimiento preventivo cada 3 meses.
Tamaño	Se debe adaptar a un espacio del subproceso Fruver con una dimensión de 3.37x5m.
Costos	La inversión debe ser lo menor posible sin afectar la funcionalidad.
Facilidad de uso	El sistema debe ser intuitivo para los voluntarios.

2.4 Diseño conceptual

En la Figura 2.2, se puede observar un esquemático inicial del sistema, donde destacan los elementos principales, por ejemplo, la cinta transportadora de alineación, la cámara asistida por inteligencia artificial y los diferentes compartimientos para la clasificación de los productos. Además, se especifica el perfil en “V” que se desea ubicar en los bordes de la banda alineadora y el tobogán para transportar el producto a los distintos depósitos de clasificación.

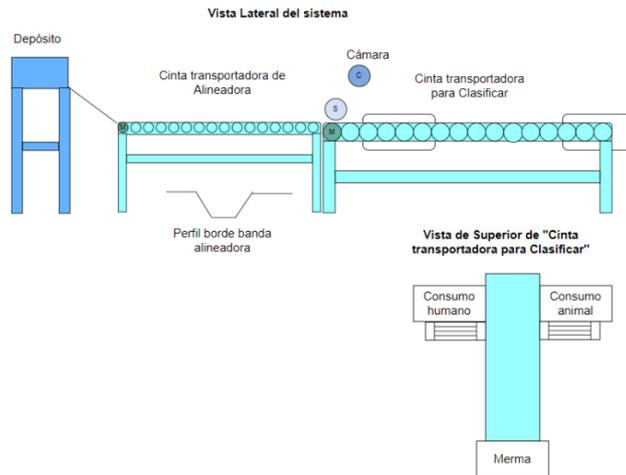


Figura 2.2 Esquemático del sistema

Para el desarrollo del proyecto, se necesitó un modelo conceptual que muestre el flujo que seguirán las frutas y verduras por sus tres etapas alineación, reconocimiento y clasificación, tomando en consideración los requerimientos de la Tabla 2.5, en donde se menciona que el sistema debe estar asistido por voluntarios, se busca que la solución sea segura e intuitiva para evitar accidentes y problemas. En la Figura 2.3, se puede observar el sistema dentro de un ambiente de simulación que permite consolidar la idea de la solución final.

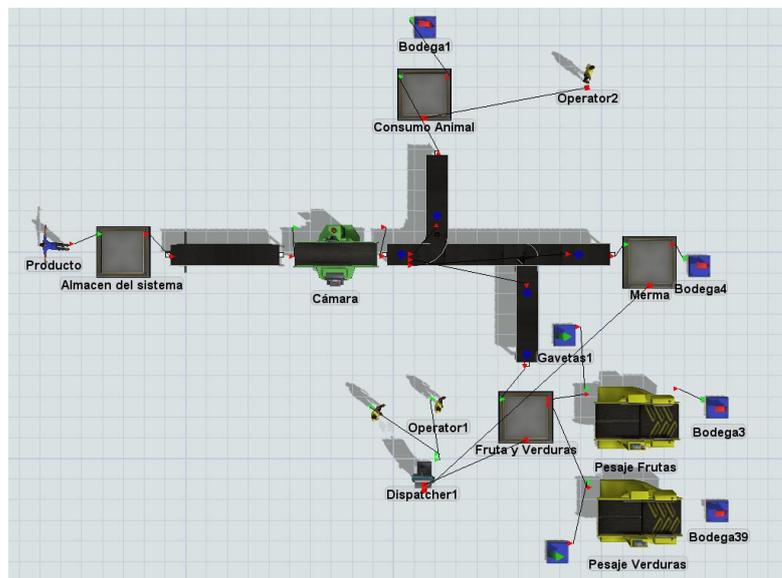


Figura 2.3 Diseño conceptual

Debido a la gran variedad de frutas y verduras que son receptadas por los BA, se realizó un primer proceso que incluyó la recolección de datos y el análisis

estadístico de diferentes elementos a clasificar, el cual, se puede observar en el Apéndice A, con el fin de trabajar con un solo valor de dimensión y masa durante el diseño. Los resultados finales se encuentran en la Tabla 2.6, en este caso se consideró elegir la mediana por cómo es la distribución de los datos. Además, se tomó en cuenta que se desea tener un flujo másico de producto clasificado de 0.0556 kilogramos por segundos, dato de referencia que se obtuvo luego de hablar con el cliente y se relaciona con la capacidad de clasificación manual que se realiza al día.

Tabla 2.6 Características de frutas y verduras

Diámetros (cm)	10
Masa (g)	170

2.5 Diseño mecánico

2.5.1 Selección de banda transportadora

Por efectos del espacio se decidió realizar el siguiente dimensionamiento de las bandas: la banda de alineación será de 1000 mm, mientras que la banda de transporte constará de 2000 mm. Tomando en cuenta que con estas longitudes se dará a los operarios el espacio suficiente para monitorear el proceso. Luego que se definió el ancho de la banda para lo cual, se utilizará las medidas normalizadas por la empresa “*Monk Conveyors*”, que se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Ancho de bandas normalizadas

Anchos de bandas normalizadas (mm)						
100	150	200	300	400	500	600

Usando el diámetro del producto a clasificar especificado en la Tabla 2.4 se realizó la selección del ancho de las bandas, sin embargo, se le sumó un tercio de dicha cantidad como un factor de flexibilidad del sistema solo para la banda transportadora, más no para la banda alineadora, como se muestra en la ecuación 2.1.

$$a_2 = a_f \left(1 + \frac{1}{3} \right) \quad 2.1$$

$$a_2 = 10 \text{ cm} + \frac{10}{3} \text{ cm}$$

$$a_2 = 13.34 \text{ cm}$$

$$a_2 = 133.4 \text{ mm}$$

Teniendo el ancho calculado se pudo seleccionar el inmediato superior que es 150 mm y para la banda alineadora 100 mm. Además, para conocer la capacidad de elementos que puede transportar cada banda se realiza una relación entre la longitud con el diámetro del producto, como se indica en la ecuación 2.2, de esta manera se pudo obtener el número de frutas máximo que se pueden albergar en su longitud.

$$n = \frac{L}{D} \tag{2.2}$$

$$n_1 = \frac{1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} \quad n_2 = \frac{2000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}}$$

$$n_1 = 10$$

$$n_2 = 20$$

Para poder obtener la velocidad de las bandas, se utilizó el flujo másico que se mencionó en secciones anteriores junto a los parámetros de frutas y verduras, tal y como se muestra en la ecuación 2.3.

$$v = 0.0556 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{1 \text{Fruta}}{0.17 \text{ kg}} * \frac{0.1 \text{m}}{1 \text{Fruta}} = 0.0327 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1.962 \frac{\text{m}}{\text{min}} \tag{2.3}$$

Dentro del catálogo de “*Monk conveyors*”, se selecciona una velocidad fija, además, se le ubica un factor de seguridad de 2 con el propósito aumentar la capacidad de producción, como se observa en la Figura 2.4.

FIXED SPEED

BELT SPEED M/min
42*
35*
28*
21
18*
14
10*
8
7*
4*
2.8*
2.1
1.7
1.4

VARIABLE SPEED

BELT SPEED M/min	
Min	Max
8*	42*
7*	35*
6*	28*
4	21
18*	18*
3.6	14
2.0*	10*
1.6	8
1.4*	7*
0.8*	4*
0.4*	2.8*
0.4	2.1
0.3	1.7
0.2	1.4

NOTES:

- 1). * PREFERRED SPEEDS.
- 2). MANY OTHER SPECIFICATIONS ARE AVAILABLE.

Figura 2.4 Velocidad de bandas

Se selecciona el modelo “*standard belt conveyor M1950-ED*” para ambas bandas, debido a que está diseñada para el manejo de alimentos y en sus componentes son de acero inoxidable. El plano de la banda transportadora se observa en la Figura 2.5.

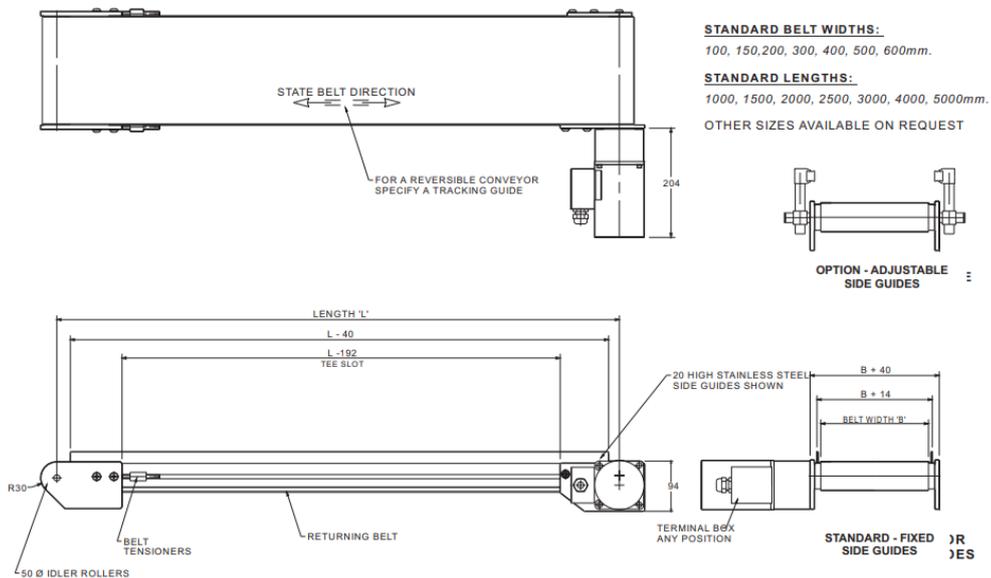


Figura 2.5 Plano de banda transportadora M1950-ED

En Tabla 2.8, se especifican los datos técnicos que tiene la banda seleccionada, resaltando que la única diferencia entre la banda alineadora y la transportadora son la longitud y ancho de estas.

Tabla 2.8 Parámetros técnicos de bandas transportadoras

Ancho	<ul style="list-style-type: none">• Banda alineadora 100 mm• Banda Transportadora 150 mm
Longitud	<ul style="list-style-type: none">• Banda alineadora 1000 mm• Banda Transportadora 2000 mm
Velocidad	4 m/min
Capacidad	10-20 kg
Material	Acero inoxidable
Motor	3ph/230v/90W (0.12 HP)
Característica	<ul style="list-style-type: none">• Ranuras en T para fijaciones M8• Calidad de cinta azul para alimentos con cobertura TPU• Caja de bornes según IP54• Trabajo continuo

Los códigos de las bandas son los siguientes:

- Banda alineadora: M1950-100-1000-EDDF4-R
- Banda transportadora: M1950-150-2000-EDDF4-R

Según la normativa de CCOHS con respecto a la ergonomía de las bandas transportadoras, para realizar un trabajo fuerte se debe tener una estación de trabajo entre 65-95 cm y para trabajos ligeros de 85-110 cm. Como se desea realizar un trabajo de clasificación que involucra caga se eligió que las estructuras de las bandas deben tener 85 cm de alto. Además, se elige un perfil cuadrado de acero inoxidable y se utilizó el catálogo de Dipac para la selección de un tubo 20mm con un espesor de 0.75 mm, como se muestra en la Figura 2.6.

Pulg.	DIMENSIONES		PESO		EJES X-X E Y-Y		
	H	e	P	AREA			
	mm.	mm	Kg/6m	A	I	W	I
				cm2	cm4	cm3	cm
1/2	12	0.60	1.32	0.27	0.06	0.10	0.47
		0.75	1.86	0.32	0.07	0.12	0.47
		0.95	2.28	0.40	0.08	0.13	0.45
5/8	15	0.60	1.74	0.35	0.12	0.16	0.59
		0.75	2.16	0.41	0.14	0.19	0.58
		0.95	2.70	0.51	0.16	0.21	0.56
3/4	20	0.60	2.22	0.47	0.29	0.29	0.79
		0.75	2.88	0.56	0.34	0.34	0.78
		0.95	3.60	0.70	0.41	0.41	0.77
1	25	1.10	4.20	0.80	0.47	0.47	0.77
		1.50	5.64	1.05	0.58	0.58	0.74
		0.75	3.60	0.71	0.69	0.55	0.99
1 1/4	30	0.95	4.50	0.89	0.84	0.67	0.97
		1.10	5.22	1.02	0.95	0.76	0.97
		1.50	7.08	1.35	1.21	0.97	0.95
1 1/2	40	0.95	5.40	1.08	1.50	1.00	1.18
		1.10	6.24	1.24	1.70	1.13	1.17
		1.50	8.46	1.65	2.19	1.47	1.15
2	50	0.95	7.20	1.46	3.68	1.84	1.59
		1.10	4.34	1.68	4.20	2.10	1.58
		1.50	11.28	2.25	5.48	2.74	1.56
		1.50	14.04	2.85	11.06	4.42	1.97

Figura 2.6 Catálogo de Dipac

2.5.2 Diseño de borde en V para banda alineadora

Para el diseño del borde de la banda alineadora lo que se utilizó fue la geometría de un trapecio isósceles invertido. Para ello la base mayor tiene un factor de 4 con respecto a la base menor y la altura será el doble del diámetro de la fruta, Figura 2.7.

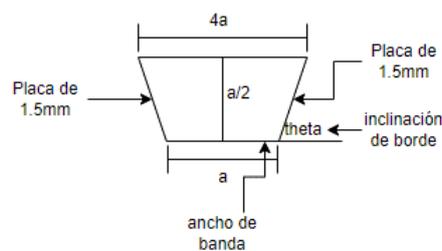


Figura 2.7 Borde en V

Los parámetros del trapecio se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Dimensiones del trapecio

Base menor (mm)	100
Base mayor (mm)	400
Altura (mm)	50

Para obtener la longitud e inclinación del borde se realizó un análisis utilizando teorema de Pitágoras y relaciones trigonométricas en términos de la base menor del trapecio (ancho de la cinta) como se muestra a continuación.

$$c = \frac{\sqrt{10}a}{2} \quad 2.4$$

$$\theta = 180 - 90 - \sin^{-1}\left(\frac{\frac{3a}{2}}{\frac{\sqrt{10}a}{2}}\right) \quad 2.5$$

Luego de realizar los cálculos respectivos se dimensiona la longitud (hipotenusa) e inclinación (theta) que debe de tener el borde, además, el espesor de este se seleccionó por el catálogo comerciales. En la Tabla 2.10, se muestran las dimensiones.

Tabla 2.10 Dimensión y posición del borde

Longitud (mm)	158.114
Theta	18.435°
Espesor (mm)	1.5

2.5.3 Diseño de compuerta y rampa

Para dimensionar la compuerta se realizó un proceso de ingeniería inversa, se propuso 200 mm como ancho de boca, el cual es dos veces el diámetro del producto a tratar. Para la sección de productos aptos para el consumo humano, la entrada de la rampa cuenta con dos secciones, la primera fue de 100 mm con una inclinación 5°, posteriormente, la segunda sección fue de 1400 mm con una inclinación de 2°. Luego se definió un borde de 100 mm. Se diseñó esta pieza tomando en cuenta las recomendaciones de CCOHS con respecto a la ergonomía de las bandas transportadoras, lo cual recomienda que las estaciones de trabajo deben estar a más de 800 mm del suelo. Además, se toma en cuenta que esta pieza tiene un espesor de 1.5 mm y debe sujetar el brazo clasificador. En la Figura 2.8, se muestra la pieza con sus respectivas secciones:

1. Sección 1
2. Sección 2
3. Borde

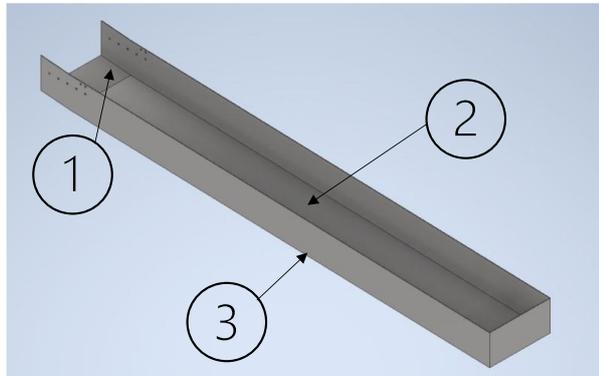


Figura 2.8 Rampa para alimentos aptos en buen estado

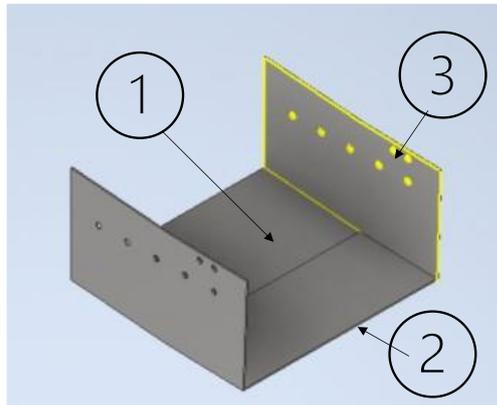


Figura 2.9 Rampa para alimentos aptos para consumo animal

En la Figura 2.9, se muestra la rampa que se utilizó para la sección de producto aptos para consumo animal. Esta pieza tiene características similares a la pieza de la Figura 2.8, no obstante, la sección de 2º tiene 80 mm de largo. Cabe resaltar que ambas piezas están hechas de acero inoxidable debido a la norma ISO 16143-2:2014.

2.5.4 Diseño de contenedor y entrada de productos

Para el dimensionamiento de la pieza se tomó en cuenta que para cumplir la longitud límite de 5000 mm solo faltaban 684 mm. Sin embargo, el depósito se dimensionó de la misma manera que una gaveta de 500 x 447 x 190 mm. Luego con relaciones trigonométricas se dimensionó con la rampa, tomando como datos

una longitud restante de 237 mm y se propone un ángulo de 15°. En la Figura 2.10, se muestra la pieza desarrollada en un CAD.

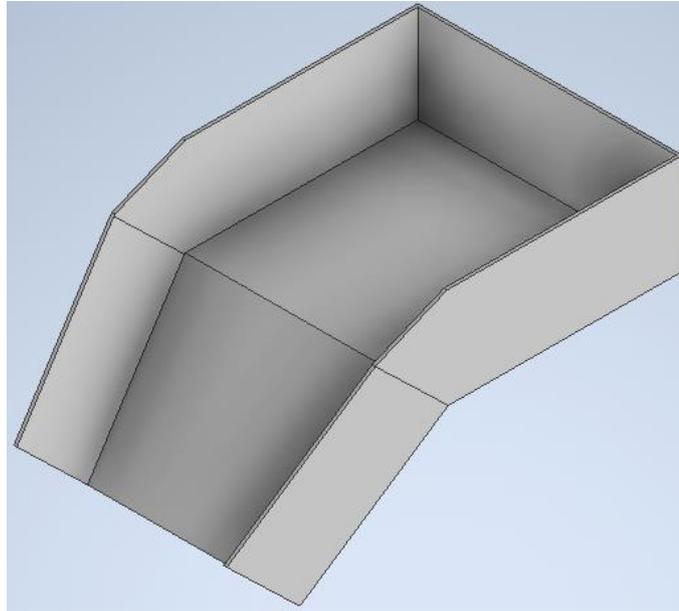


Figura 2.10 Entrada y rampa de productos

2.5.5 Diseño del brazo oscilante clasificador

Para el diseño del brazo clasificador lo que se decidió fue realizar un diseño que integre un actuador neumático, el cual, impulse un mecanismo con un solo pivote, tomando en cuenta los 200 mm de longitud y el desplazamiento angular de 40.54°, el diseño conceptual se muestra en la Figura 2.11.

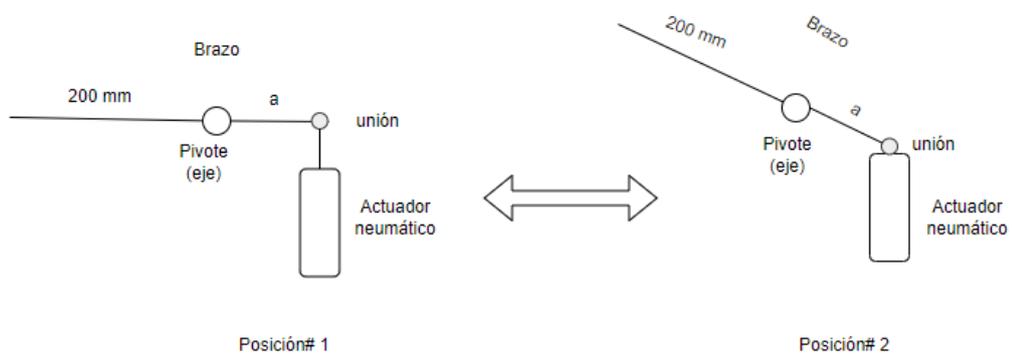


Figura 2.11 Diseño conceptual de brazo oscilador

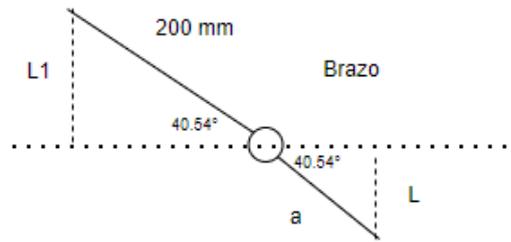


Figura 2.12 Relaciones del brazo

En la Figura 2.12, el brazo está en la posición# 2, donde se realiza una relación de ángulos opuesto (40.54°) tomando como origen el pivote y por operaciones trigonométricas se puede deducir la ecuación 2.6, donde se puede calcular la longitud "L", cuando se asume que "a" es 33.146 mm.

$$L = a \sin 40.54^\circ \quad 2.6$$

$$L = 21.54 \text{ mm}$$

Se aproximó el valor a 20 mm, por esta razón el ángulo cambió a 37.11° y L1 es menor a 130 mm.

Una vez dimensionado las longitudes del elemento se observó los requerimientos dinámicos del mecanismo, la Figura 2.13, se muestra el DCL del mecanismo tomando a F como si fuera el peso del producto, además que se toma el peor de los casos, donde el vector de fuerza es paralelo al eje de las abscisas y sea aplicada en el extremo del brazo.

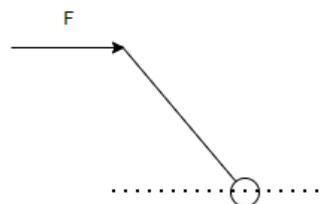


Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del brazo

Realizando las operaciones se encuentra que se produce 201.24 Nmm, sin embargo, se ubica un factor de seguridad de 2 debido a las incertidumbres de las cargas. Para que se produzca el movimiento deseado se debe de cumplir el que el torque producido por el producto al brazo debe ser menor al que produce el actuador neumático como se muestra en la ecuación 2.7.

$$402.48 \leq F_{retracción} * 33.146 \cos 37.11^\circ$$

2.7

$$15.226N \leq F_{retracción}$$

Se seleccionó el cilindro doble efecto CRDSNU-12-20-P-A del catálogo de FESTO con una fuerza de retracción de 51 N a 6 bares y con una longitud de carrera de 25 mm. Además, se seleccionó los accesorios de fijación:

- Caballete: CRLBN-12/16
- Horquilla: CRSG-M6

Debido al ancho de la horquilla las piezas del brazo y soporte de este tienen 14 mm de espesor. Añadiendo, que los elementos de unión y eje tienen 6 mm de espesor de acero inoxidable. El diseño final se observa en la Figura 2.14.

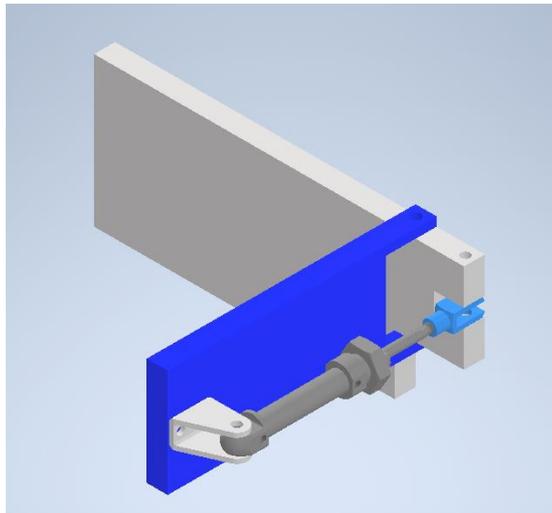


Figura 2.14 Brazo oscilante clasificador

Los materiales de las piezas del brazo se mencionan en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Materiales del brazo oscilante

Brazo	Plástico ABS (<i>Elix Polymers M545TF</i> - Para alimentos)
Soporte	Plástico ABS (<i>Elix Polymers M545TF</i> - Para alimentos)
Cilindro	Acero inoxidable
Horquilla	Acero inoxidable
Caballete	Acero inoxidable

2.6 Diseño del sistema computacional

En esta sección se detallan los elementos, recursos y hardware utilizado en el desarrollo del sistema inteligente de detección de nivel de madurez de frutas y verduras las cuales son clasificadas posteriormente.

2.6.1 Selección de Raspberry Pi

Como paso inicial se seleccionó entre microcontroladores, microcomputadoras (*Single Board Computer*) y microcomputadoras con GPU (*Graphics Processing Unit*), como la serie Jetson de Nvidia, el hardware que mejor se adapte al proyecto tomando en cuenta precio y nivel de procesamiento. Es por ello que, entre la categoría de SBC se escogió el uso de Raspberry Pis, las cuales poseen un mejor nivel de procesamiento que los microcontroladores con respecto a clasificación y detección de objetos. Por otro lado, si bien la *Jetson* es superior por integrar GPU el precio es mucho más elevado. La tabla 2.9, muestra los modelos de Raspberry Pi que se consideraron para la selección final.

Tabla 2.12 Modelos Raspberry Pi [17]

	GPU	Núcleos	RAM	CPU	Frecuencia	Precio
Raspberr y Pi 4 B	VideoCore VI	4	1 GB, 2 GB, 4 GB, 8GB LPDDR4	Quad-core Broadcom BCM2711 (Cortex- A72)	1.5 GHz	4GB \$55
Raspberr y Pi 3 Model A+	VideoCore IV	4	512 MB DDR2	Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	1.4-GHz	\$25
Raspberr y Pi 3 B+	VideoCore IV	4	1 GB DDR2	Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	1.4-GHz	\$35
Raspberr y Pi 3 B	VideoCore IV 1080p@30	4	1 GB DDR2	Broadcom BCM2837 (Cortex- A53)	1.2-GHz	\$35

Además de estos modelos se tomó en cuenta el uso Google Colar USB Accelerator, el cual permite acelerar inferencias en procesos de ML y se adapta muy bien con Raspberry Pi.



Figura 2.15 Google colar USB accelerator [18]

Finalmente, se seleccionó el modelo Raspberry Pi 3B+ junto con el módulo USB Google Colar, considerando costos y nivel de procesamiento de imágenes en cuanto a ML.

2.6.2 Selección de la cámara para reconocimiento

Para conseguir que el modelo de inteligencia artificial realice correctamente la inferencia se le debe proporcionar una imagen con la suficiente calidad de tal manera que sea capaz de reconocer objetos y no se pierdan detalles imprescindibles para la clasificación. La Raspberry Pi puede hacer uso de múltiples modelos de cámara tipo USB, denominadas en su mayoría de tipo *web cam*, sin embargo, se encuentran disponibles cámaras con cable plano, algunas de las opciones consideradas se mencionan en la Tabla 2.13, entre las potenciales opciones se encontraban la Rpi Spy Zero por su ángulo de visión y precio, y la PiNoir V2 por su resolución, sin embargo debido a que la primera mencionada se encuentra escasa en el mercado se optó por la PiNoir V2 de Raspberry Pi.

Tabla 2.13 Cámaras disponibles compatibles con Raspberry Pi [19]

	Auto focus	Resolución	FPS max resolution	Ángulo de visión	Precio
HQ Camera Raspberry Pi	No	12.3 MP	30	Depende del lente	\$72.67 – Sin lente
Cámara RPi Spy Zero	No	5 MP	30	120°	\$19.95
PiNoir Camera Module V2	No	8 MP	30	62.2°	\$31.13
Hawk-Eye camera	Si	16 – 64 MP	30	84°	\$59.99
Cámaras USB compatibles con Raspberry Pi	Algunas	5 – 8 MP	30	-	\$30 - \$60

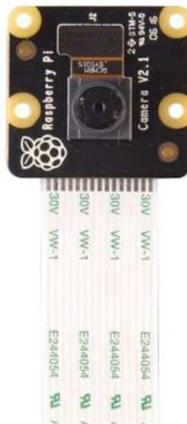


Figura 2.16 PiNoir Camera Module V2

2.6.3 Lenguaje, librerías y recursos utilizados

Se utilizó como lenguaje principal python por su facilidad de uso y por ser la base de librerías desarrolladas en el campo de la inteligencia artificial, además, viene preinstalado cuando se le coloca el sistema operativo raspbian a nuestra SBC. Los recursos y librerías utilizadas se muestran en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Librerías y recursos utilizados

Librerías	
Tensorflow	El modelo de clasificación se realizó utilizando Tensorflow, el cuál es una librería de software gratuito y de código abierto para el aprendizaje automático e IA enfocado en la inferencia de redes neuronales profundas, además cuenta con una versión ligera para SBC.
OpenCV	Proporciona herramientas para el desarrollo de aplicaciones en tiempo real de visión por computadora, en nuestro caso procesamiento y análisis de imágenes.
Recursos	
Google Colab	Permite realizar la programación y ejecución de código con la ventaja del uso de recursos de la nube de Google.
Kaggle	Tiene su entorno de ejecución de códigos y de donde se descargaron imágenes para entrenar el modelo de inteligencia artificial.

2.6.4 Descripción de la inteligencia artificial a utilizar

El modelo de clasificación inteligente que se desarrolló se fundamenta en redes neuronales convolucionales, para la primera etapa de procesamiento de imágenes durante el entrenamiento, el algoritmo aprende características comunes entre las imágenes proporcionadas debidamente etiquetadas, de esta manera, cuando se le pregunte al modelo sobre una nueva imagen este es capaz de clasificarla entre una de las etiquetas con cierto porcentaje de precisión.

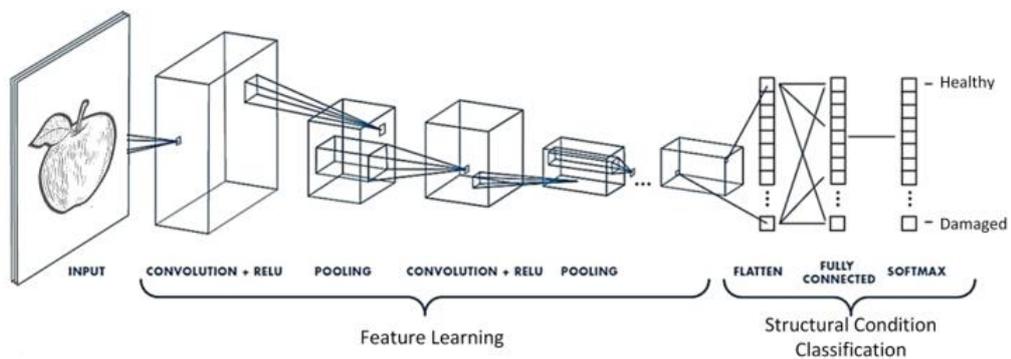


Figura 2.17 Redes neuronales convolucionales

Un modelo consta de múltiples capas convolucionales y capas de activación intercaladas por capas de agrupación hasta lograr capas completamente

conectadas las cuales se utilizan para obtener el resultado final de la predicción. Estas se muestran en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Capas convolucionales

Capas convolucionales	Las activaciones de las capas anteriores son convolucionadas con filtros parametrizados de tamaño 3x3 usualmente.
Capa de activación	Alimentar a los mapas de características con esta capa produce nuevos tensores, es decir, nuevos mapas. La más utilizada es la de ReLUs o sus variantes [20].
Pooling	Se toman regiones pequeñas como entradas y se produce un valor único para cada región, utilizando funciones como el máximo max-pooling o el promedio average-pooling.
Dropout regularization	Técnica basada en el muestreo estocástico de redes neuronales, basado en la eliminación de neuronas aleatorias durante el entrenamiento permitiendo el uso de redes diferentes provocando un ajuste en los pesos de la red y como consecuencia obteniendo un modelo más robusto.
Batch normalization	Capas que se colocan por lo general después de una capa de activación, se realiza restando la media y dividiendo por la desviación estándar cada uno de los lotes de entrenamiento, funcionan igual que un regularizador.

2.6.5 Diseño de la recámara para detección de imágenes

Para el diseño se consideraron factores como la necesidad de obtener una imagen clara, iluminada y con el menor ruido posible, y garantizar que dichos factores se mantengan para obtener una calidad de imagen constante durante todo el tiempo de operación. El diseño cuenta con dos luces led de panel a los costados de la caja y se posiciona la cámara en la parte superior, el resto de la estructura es de acero inoxidable y se la posiciona al inicio de la segunda banda, la banda clasificadora, evitando algún contacto con los alimentos.

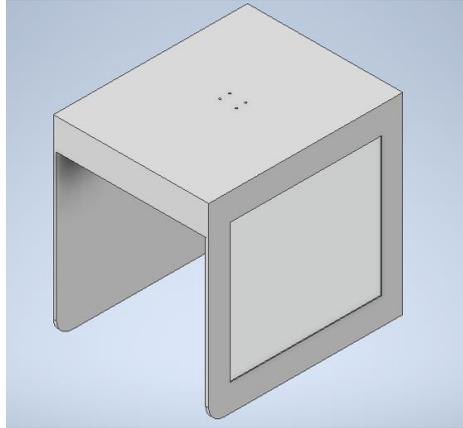


Figura 2.18 Diseño caja de inspección visual

2.6.6 Flujo de proceso creación del modelo de IA

En la figura 2.18 se muestran los pasos que se siguieron para la realización del modelo de inteligencia artificial que permite clasificar frutas y verduras en tres categorías, consumo humano, consumo animal y merma. Como primer paso es importante la selección de imágenes y su correcto etiquetado ya que el algoritmo aprenderá de aquella información proporcionada, caso contrario el modelo predecirá con un bajo rendimiento o se tendrá predicciones erróneas. Lo siguiente realizado fue el de preprocesado de las imágenes, esto quiere decir, que se ajustó el tamaño de todas las imágenes para que sean uniformes. Posteriormente se seleccionó como base una arquitectura para el modelo de DL, se entrenó el modelo y se realizaron las pruebas correspondientes, se ajustó la arquitectura y se volvió a entrenar hasta que se consiguió una precisión considerable. Finalmente se guardó el modelo entrenado para colocarlo en la Raspberry Pi la cual se encarga de realizar las inferencias en tiempo real.

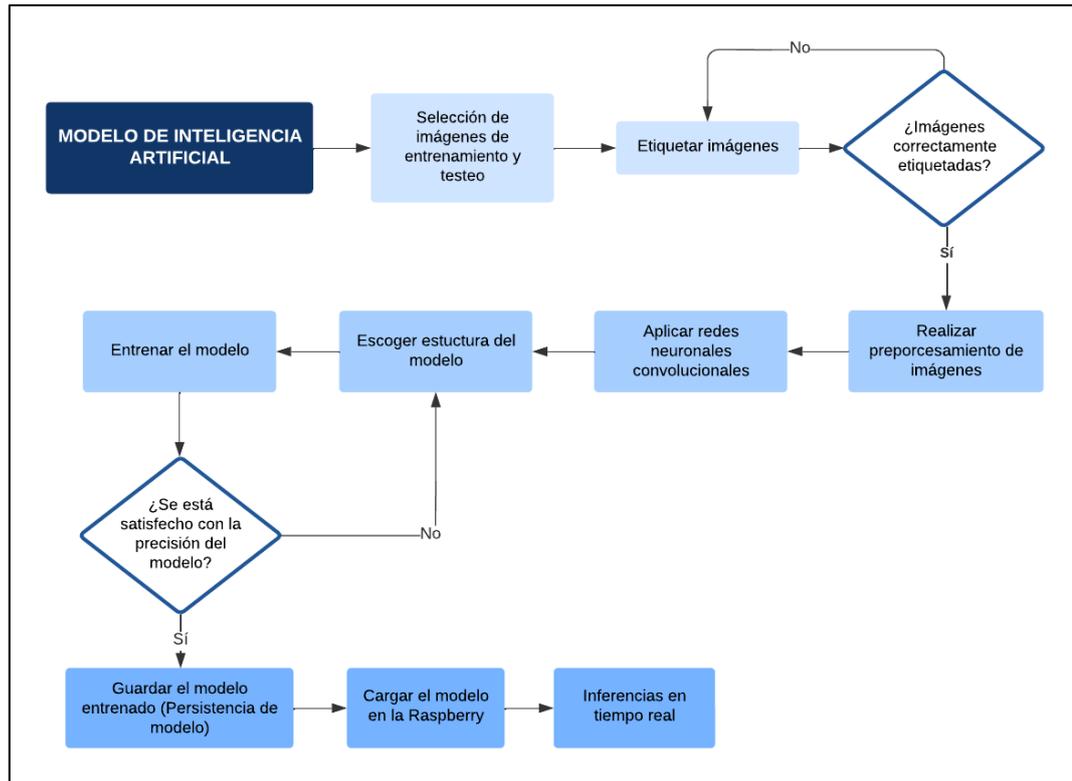


Figura 2.19 Diagrama de flujo modelo de inteligencia artificial para clasificación

2.7 Diseño de panel de control

En esta sección se indica los parámetros de control, los sensores y el controlador industrial que se seleccionaron para el diseño del panel de control. Los parámetros que se monitorean dentro del proyecto será el estado de los actuadores (motores y cilindros), donde se pretende accionarlos mediante la decisión que la IA proponga.

2.7.1 Selección de sensores

Para la selección de sensores de proximidad se analizó diferentes tipos que son utilizados a nivel de industria, para observar la eficacia que tienen al momento de detectar los diferentes objetos. En la tabla 2.16, se puede observar la clasificación.

Tabla 2.16 Clasificación de sensores de proximidad [21]

	Inductivos	Capacitivos	Magnéticos	Ultrasónicos	Fotoeléctricos
Alcance	<80 mm	<60 mm	<100 mm	<15 m	<200 m
Materiales detectados	Piezas metálicas	Cualquier material	Piezas imantadas	Cualquier material, sin importar su naturaleza	Piezas reflectantes



Figura 2.20: Selección detector capacitivo KI6001 con alcance de 40 mm

Para el accionamiento de los cilindros se ubicó la válvula y los finales de carrera de la Tabla 2.17.

Tabla 2.17 Selección de válvula y final de carrera

Válvula Festo	
Modelo	VSVA-B-B52-H-A2-2AC1
Tipo accionamiento	Eléctrico
Tensión de funcionamiento	110V AC
Función de la válvula	5/2
Presión	6 bares
Final de carrera con rodillo	
Alimentación del switch	110V AC

2.7.2 Selección de controlador industrial

El proyecto se basa en un ámbito industrial y la naturaleza de los actuadores a controlar requieren de un controlador que maneje el proceso de manera continua

y eficiente, por esta razón se selecciona un PLC (programador lógico controlable). Este elemento se lo selecciona en base a las entradas y salidas necesarias, añadiendo la naturaleza del procedimiento. En la Tabla 2.18, se muestran las características de los productos seleccionados.

Tabla 2.18 Selección de PLC, módulos de expansión y fuente de alimentación

Siemens LOGO!	
Módulo	6ED1052-1MD08-0BA1
Fuente de alimentación	12/24VDC
Entradas y salidas	8di (4ai) 0-10V / 4dq (relé 10A)
Memoria	800 blocks
Compatibles con módulos de expansión	Si
Comunicación ethernet	Si
Web server integrado	Si
Módulo de expansión Siemens	
Modelo	6ED1055-1MB00-0BA2
Fuente de alimentación	12/24VDC
Entradas y salidas	4 di 0-10V / 4do (relé 10A)
Fuentes de alimentación	
Elementos de control	Entrada 110Vac-12Vdc / 10A
Elementos de computo	Entrada 110Vac-5Vdc / 3A

2.7.3 Cálculo y selección de elementos de protección en fuerza

Para la alimentación se decidió utilizar una fuente trifásica debido a los motores que impulsan a las bandas transportadoras. En la Tabla 2.19, muestra los datos de los actuadores, los mismos que se utilizaron para calcular las corrientes nominales y de sobrepico.

Tabla 2.19 Datos de motores

Voltaje L-L (V)	220
Potencia (W)	90
Eficiencia	0.94
Factor de Potencia	0.86
Factor de servicio	0.6

La potencia de 90 W, opera con una corriente nominal de 0.2921 A y una corriente sobrepico de 0.4675 A. En la Tabla 2.20, muestran los componentes que se utilizaron para la etapa de fuerza del sistema, además de sus características.

Tabla 2.20 Elementos de protección y fuerza

Elemento	Característica	Código
Breaker termomagnético	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente nominal: 1A. • Voltaje de aislamiento: 500V 	Marca CHNT: CHI0016A-EBC 3KA 3P C1
Contactores	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente nominal: 9A AC3. • Voltaje de control: 110Vac 50/60 Hz 	Marca Denor: CJX2-D0910-F7
Relés térmicos	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente: 0.25-0.40A 	Marca Schneider: LR2-D1303.
Número de Cable	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente soportada: 2A 	20 AWG

2.7.4 Elementos de control

Los elementos de control que se implementaron en el proyecto fueron los siguientes:

- Botonera de paro de emergencia
- Pulsador de marcha y paro
- Luces pilotos

Las luces piloto deben de ser aptas para trabajar a 110 Vac y las botoneras deben trabajar a 12 Vdc.

En la figura 2.19 se presenta el circuito de fuerza diseñado donde se identifica cada uno de los motores que accionan las bandas transportadoras junto con sus protecciones, como los guardamotores. Además, se tiene una alimentación de 110 V AC para los elementos antes mencionados y alimentación de 5 V a partir de un convertidor para proveer energía a la Raspberry Pi.

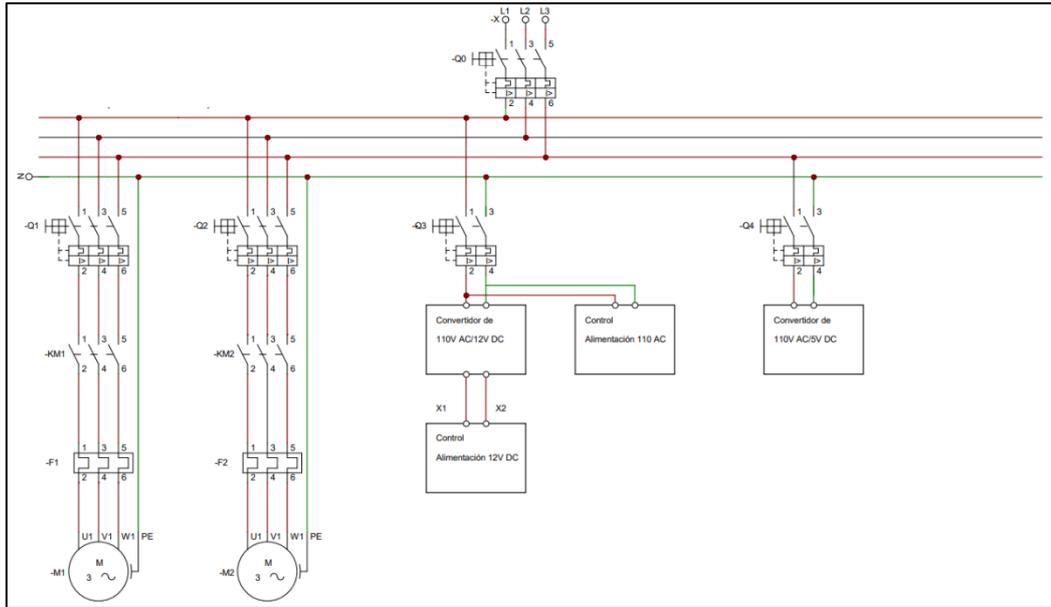


Figura 2.21 Circuito de fuerza del diseño

En la figura 2.20, se muestra en detalle las conexiones al PLC seleccionado junto con el módulo de expansión, se tiene un botón de marcha, otro como paro de emergencia y las protecciones térmicas, además se agregó 2 pines de entrada conectados a la Raspberry los cuales enviarán el estado de la fruta o verdura que se ha clasificado y de esta manera activar los actuadores, 2 cilindros doble efecto.

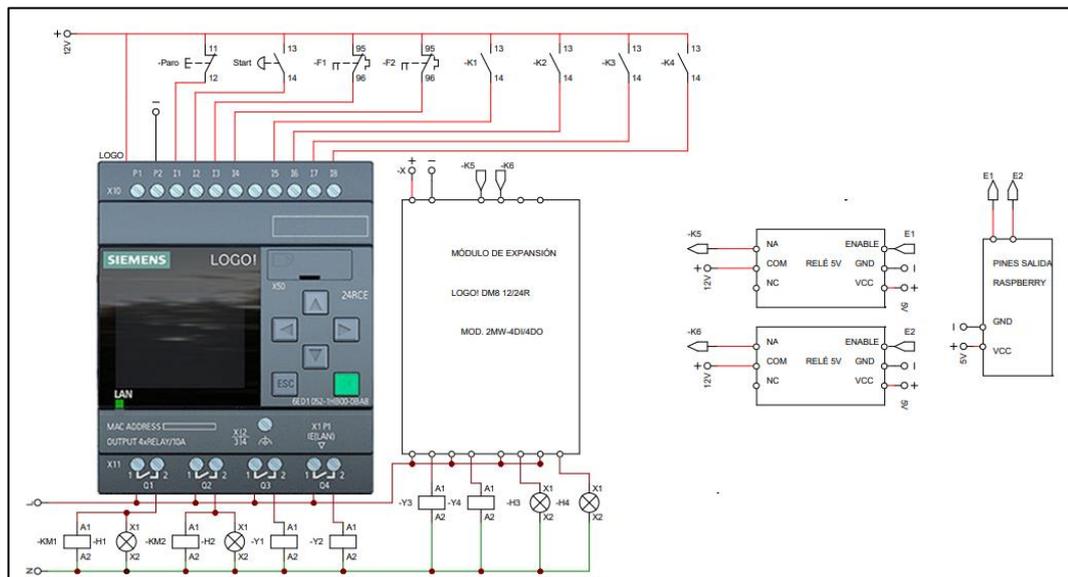


Figura 2.22: Circuito de control del diseño

En la Figura 2.23, se puede observar las conexiones de la raspberry con la cámara, además, se observa los pines que se utilizaron.

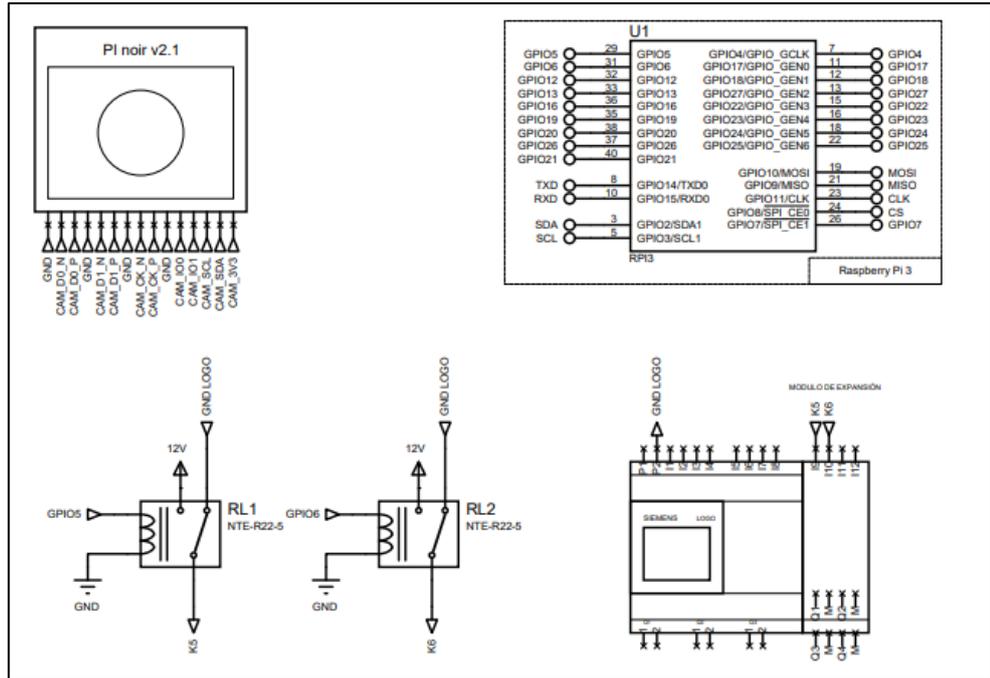


Figura 2.23 Conexiones Raspberry

2.8 Especificaciones técnicas del producto final

En la siguiente tabla, se detallan las especificaciones técnicas del diseño final.

Tabla 2.21 Especificaciones técnicas del diseño

ESPOL		Producto: Máquina clasificadora de frutas y verduras	
Especificaciones			
Área	Concepto	Valor	Detalle
Electrónica	Alimentación	110 V AC	
	Corriente nominal motores	0.2921 A	
	Corriente sobrepico motores	0.4675 A	
Computacional y control	Procesador	Broadcom BCM2837B0 (Cortex-A53)	
	Número de núcleos	4	
	Velocidad de inferencia IA	~500 ms	
	Resolución cámara	8 MP	
	PLC	LOGO modelo 6ED1052-1MD08-0BA1	
Mecánica	Carga soportada	10-20 kg	
	Capacidad de clasificación	0.556 kg/s	
	Material	Para alimentos	Acero inoxidable, plástico ABS (Elix Polymers M545TF), cinta con cobertura PU
	Dimensiones		
	Velocidad banda	1.962 m/min	
Otros	Tamaño frutas y verduras a clasificar	Entre 3 a 10 cm de diámetro o ancho en caso de frutas o vegetales largos	Frutas como mandarina, naranja, manzanas, bananas, fresas entre otras, y vegetales tales como pimiento, aguacate, remolacha, rábano
	Botonera de emergencia	SI	
	Pulsador marcha y paro	SI	
	Luces piloto	SI	
	Requiere internet	NO	Realiza inferencias y clasifica sin necesidad de internet
	Sensor de proximidad	SI	2 sensores colocados al inicio y final de la recámara de IA
	Categorías de clasificación	Merma, consumo humano y consumo animal	

2.9 Consideraciones éticas y legales

Se desarrolló este proyecto tomando en consideración la manipulación de alimentos y los riesgos a la salud humana en caso del uso de materiales no adecuados, por ellos para el diseño de la banda se utiliza acero inoxidable y para la cinta PU, ambas aprobados por la FDA y UE.

Se diseñó el panel de control con un botón de emergencia para garantizar la protección de los operadores, con un diseño sencillo para ser usado con facilidad. Además, se consideró la ergonomía, como la altura de la banda y distancias entre las estaciones de trabajo para cada operador asegurando confort y prevención de accidentes.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se mostrará el diseño 3D del sistema clasificador de frutas y verduras, el cual, está conformado por las bandas seleccionadas y los diferentes mecanismos diseñados en la sección 2.5. Además, se mostrará el análisis de elementos finitos de los componentes principales del sistema. Añadiendo, que se ubicará el resultado de la precisión y eficacia de la IA para clasificar los productos, asimismo, se ubicará el diagrama de flujo que muestre la logística del programa. En la parte eléctrica y control, se muestra el modelo CAD del tablero junto con las simulaciones de funcionamiento y diagrama de flujo del PLC. En la Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3, se puede observar el diseño general del sistema y sus elementos.

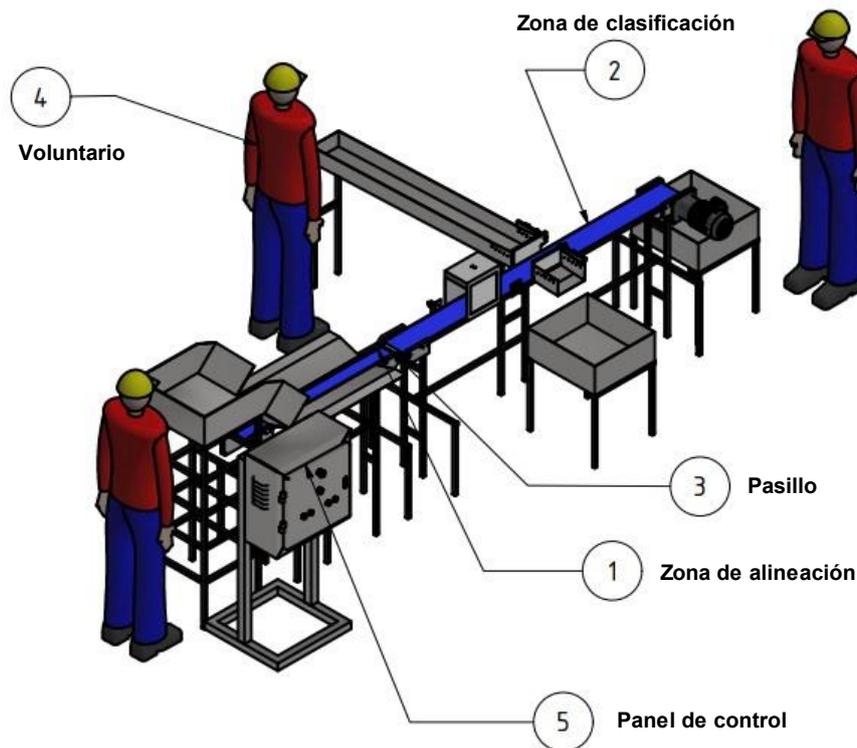


Figura 3.1 Vista general del sistema

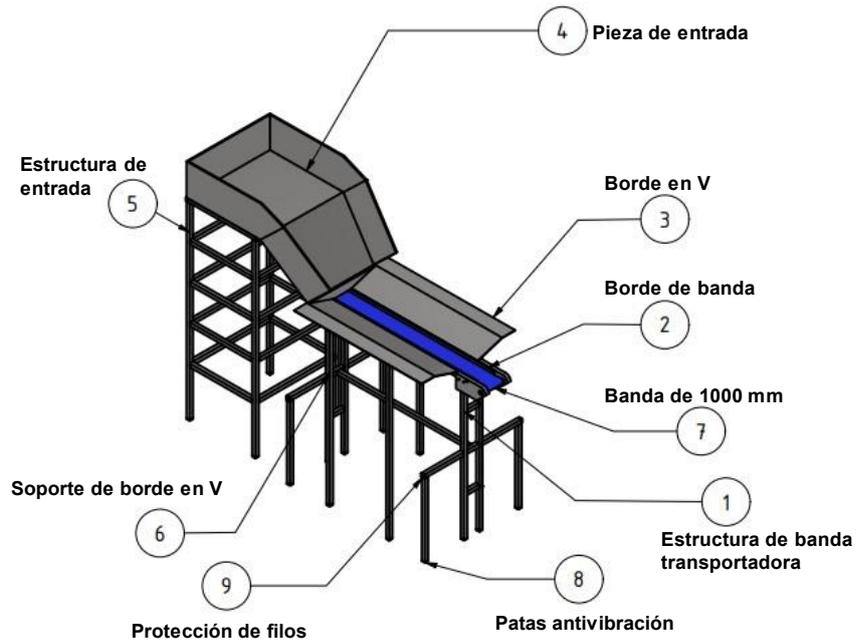


Figura 3.2 Zona de alineación

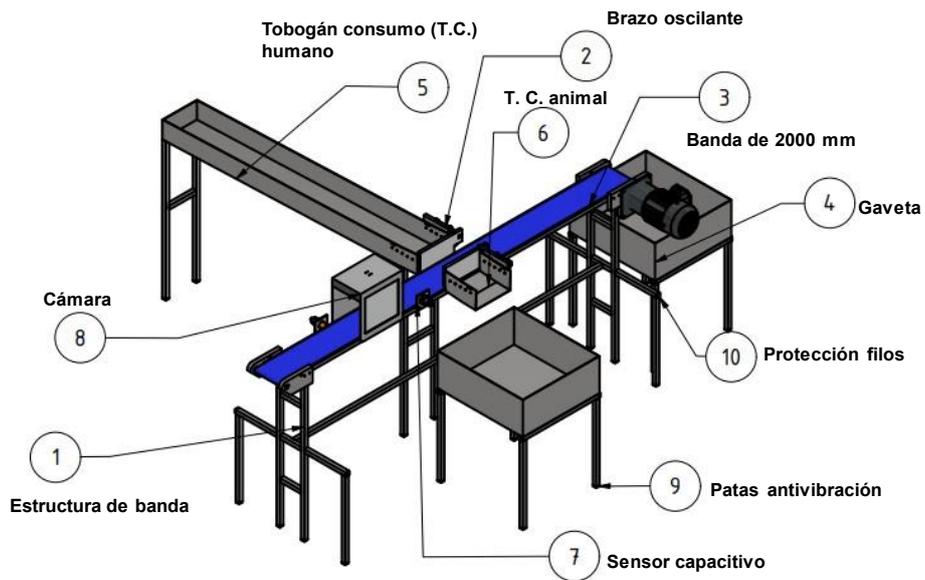


Figura 3.3 Zona de clasificación

3.1 Diseño mecánico

3.1.1 Pieza de entrada

Para validar la resistencia de este elemento se realizó una relación de volúmenes entre la pieza y el producto para poder obtener un factor de 400. Luego, utilizando el peso del alimento multiplicado por el número mencionado se obtuvo la magnitud

del vector de fuerza. Por último, se aplicó a las caras de la pieza como se muestra en la Figura 3.4.

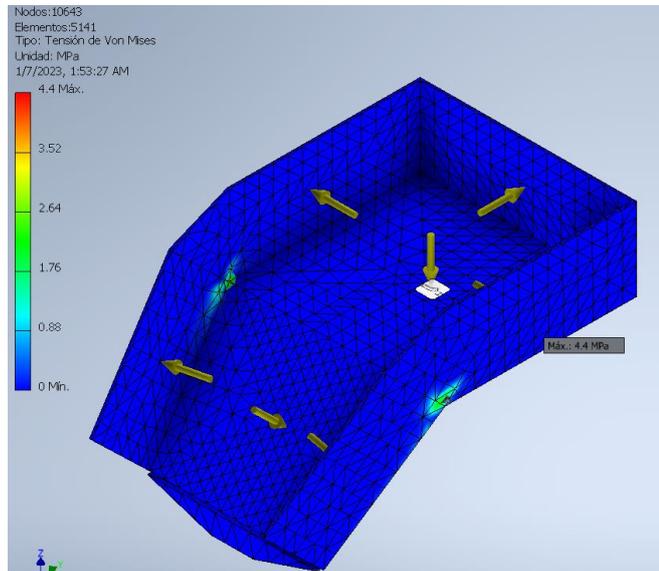


Figura 3.4 Análisis de elementos finitos de la pieza de entrada

Esta pieza tiene un máximo desplazamiento de 0.05856 mm, con un factor de seguridad elevado mayor a 15 y con un esfuerzo de von mises de 4.4 MPa. De manera que la pieza estará albergando y desalojando productos se puede considerar una carga oscilante de tipo repetida, donde el esfuerzo máximo será 4.4 MPa en tensión, la carga fluctuante será similar a la Figura 3.5.

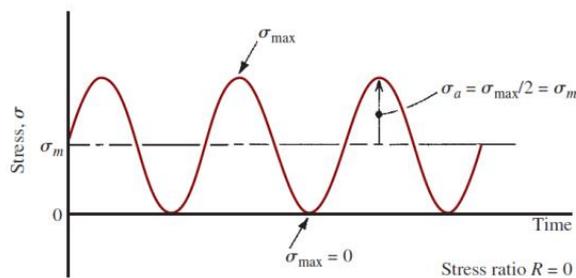


Figura 3.5 Gráfica de carga oscilante repetida

El factor de seguridad con una carga dinámica será de 61.23, por esta razón se considera que la pieza tiene vida infinita. El procedimiento se encuentra en el Apéndice D.

3.1.2 Borde en V

Utilizando el mismo factor de 400 multiplicado por el peso de fruta se obtuvo la magnitud del vector de fuerza como se muestra en la Figura 3.6.

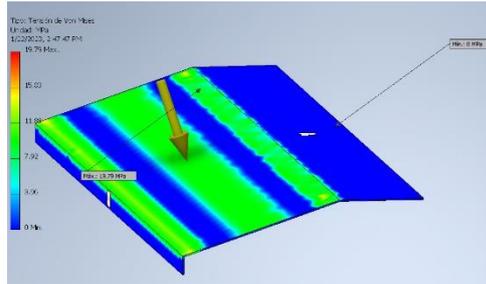


Figura 3.6 Análisis de elementos finitos de borde en v

El factor de seguridad es aproximadamente de 12.63, asegurando que la pieza resiste a cargas estáticas. De la misma manera se realizó el análisis con una carga dinámica, con una carga máxima de 19.79 MPa a compresión. Se tiene un factor de seguridad de 18.12, por lo que tiene vida infinita.

3.1.3 Brazo oscilante

Para garantizar que el diseño del brazo clasificador sea apto para realizar la tarea, se realizó el análisis de elementos finitos tomando en cuenta la fuerza que ejercerá el producto, por lo cual, se aproxima esta fuerza ubicando el peso de la fruta o verdura multiplicado por un factor de 2. En la Figura 3.7, se puede observar el esfuerzo de von mises máximo, tomando en cuenta todo el ensamble como un cuerpo, de 9.197 MPa con un factor de seguridad de 23.92.

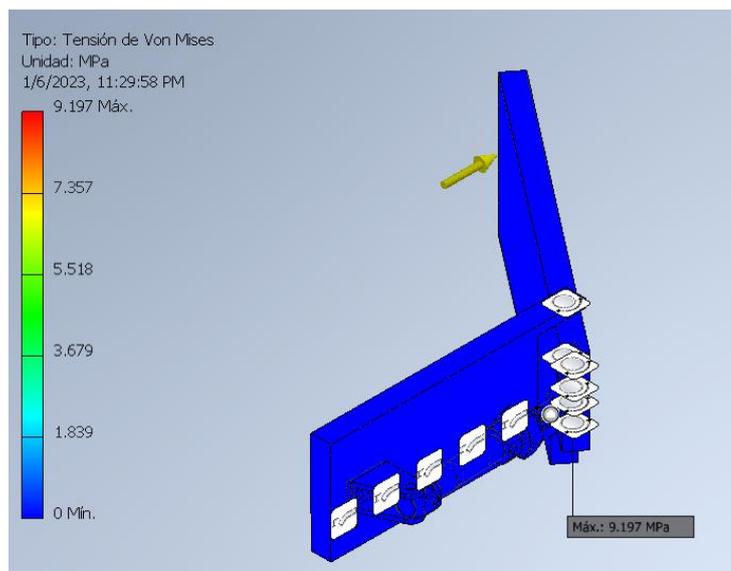


Figura 3.7 Análisis de brazo oscilante como un sólido completo

Por efectos de diseño se analizó la pieza que hace de soporte y la pieza de brazo, no obstante, para obtener las cargas se ubicó una simulación dinámica donde se le otorgó el movimiento que se muestra en la Figura 3.8. Además, se le ubicó una carga para simular los productos, tomando en cuenta que el rango de tiempo a analizar será de 0.5-1 segundo.

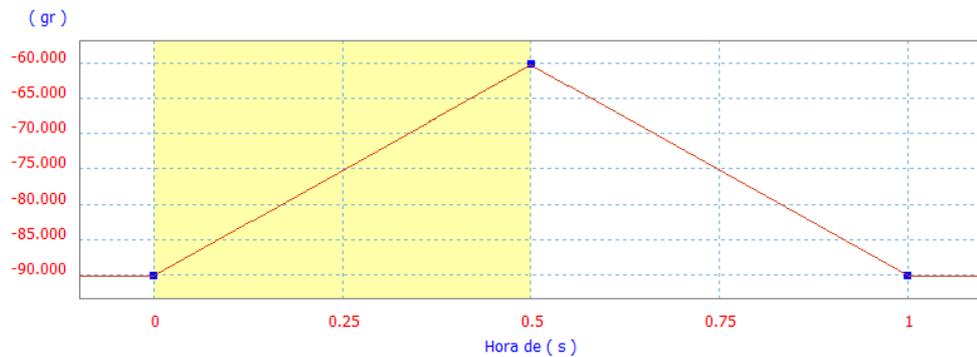


Figura 3.8 Gráfica de movimiento de brazo oscilante

En la Figura 3.9, se muestra el análisis a la pieza que entrará en contacto con el alimento. Se observa los esfuerzos al que será sometido dicho elemento, además, que se obtuvo un factor de seguridad elevado con un desplazamiento de 0.02799 mm como máximo.

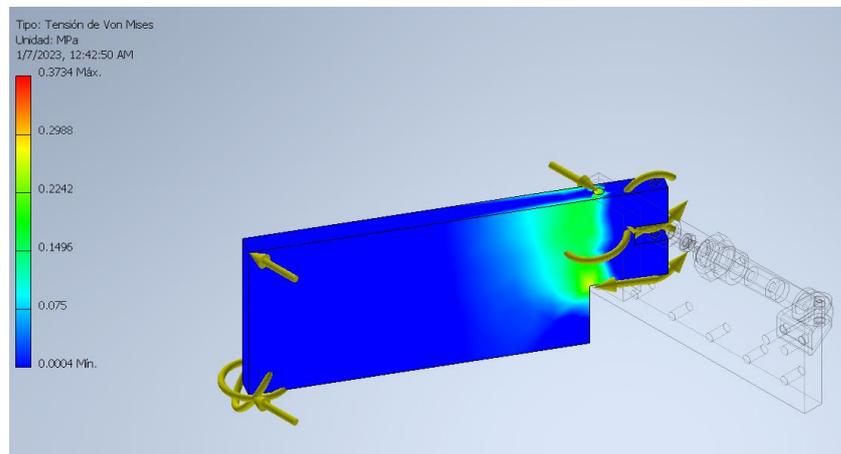


Figura 3.9 Von mises de brazo

Se realizó el mismo análisis al soporte del brazo, donde se obtuvo con un máximo esfuerzo de 1.617 MPa, un máximo desplazamiento de 0.0855 mm y un factor de seguridad de 12.37. En la Figura 3.10, se puede observar el análisis estático.

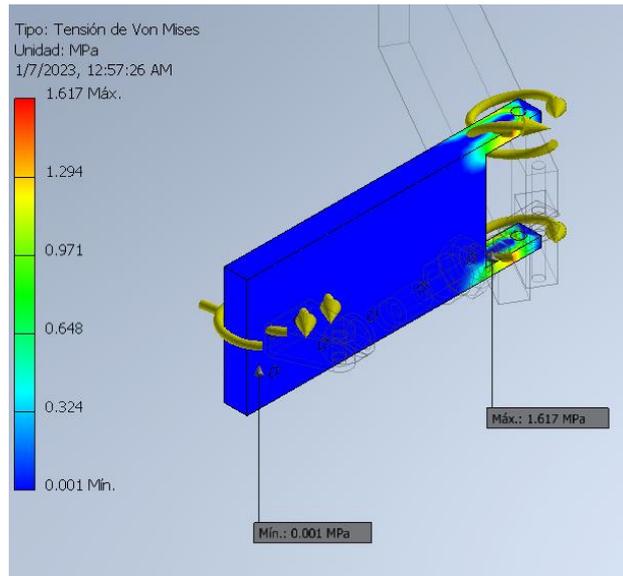


Figura 3.10 Von mises de soporte de brazo

3.1.4 Estructura de bandas transportadoras y pieza de entrada

Se realizó el análisis de elementos finitos a la estructura que soportará la banda transportadora para alinear los elementos. Se le ubicó 10 cargas en compresión equivalentes al doble del peso del producto, además, se simuló una fuerza en el eje axial para estudiar la estabilidad de la estructura. En la Figura 3.11, se puede observar que se encontró un von mises de 78.97 MPa, dando un factor de seguridad de 3.17. Añadiendo, que se obtuvo un desplazamiento de 1.908 mm como se muestra en la Figura 3.12.

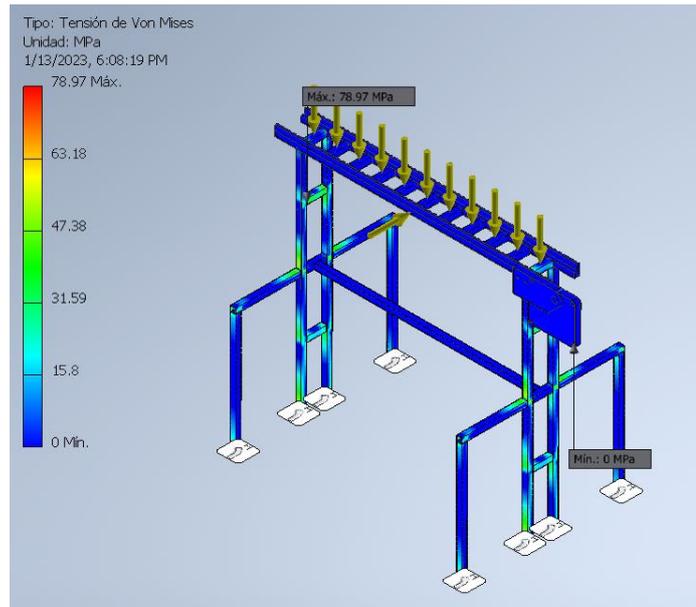


Figura 3.11 Von mises de banda alineadora

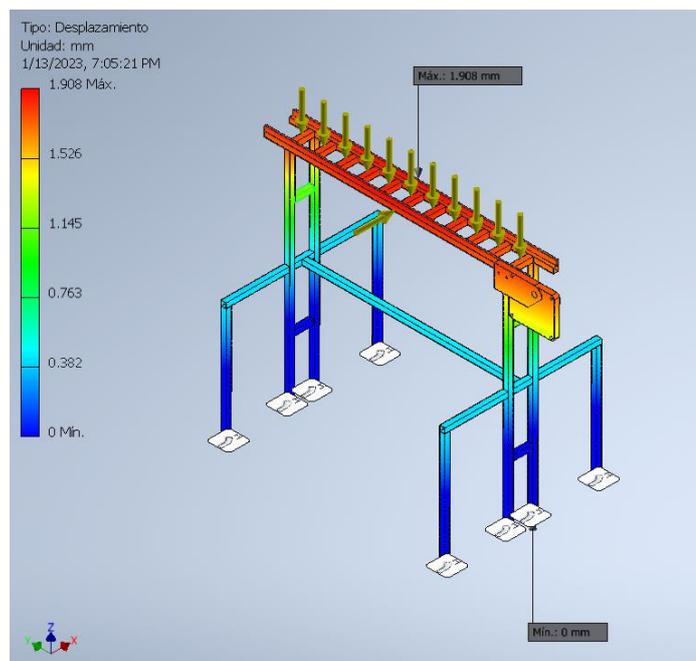


Figura 3.12 Desplazamiento de banda alineadora

Cabe resaltar que este estudio se lo realizó con un caso muy extremo, por lo cual, los resultados fueron aceptables. De la misma manera, se realizó el análisis a la banda clasificadora, no obstante, se ubicó 20 cargas en vez de 10, a diferencia del caso antes mencionado. En la Figura 3.13, se puede observar los resultados, donde se obtuvo que el esfuerzo máximo equivalente de 96.59 MPa y un factor

de seguridad de 2.59. En la Figura 3.14, se muestra que el desplazamiento máximo obtenido fue de 2.574 mm.

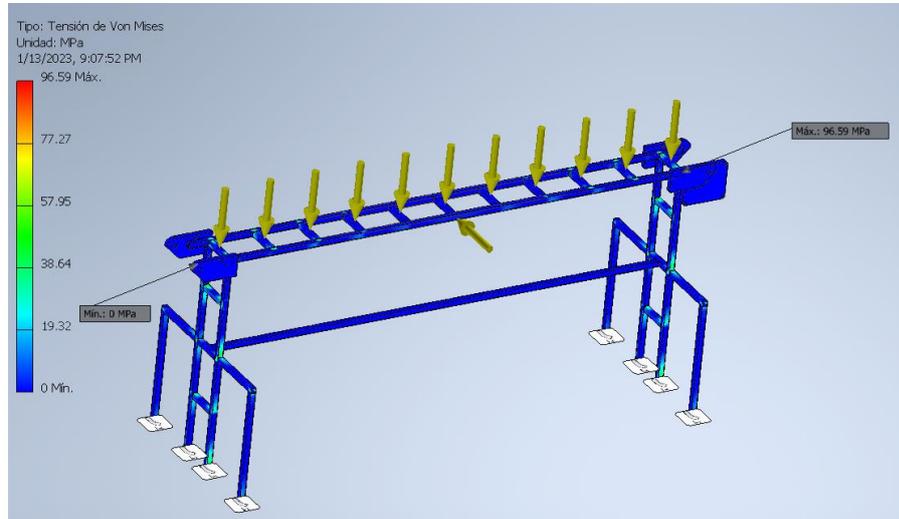


Figura 3.13 Von mises de banda clasificadora

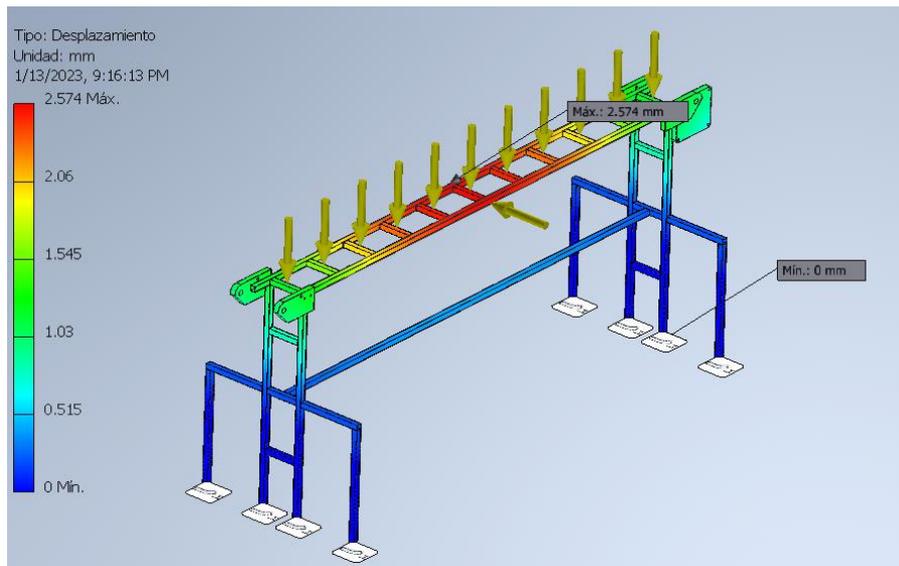


Figura 3.14 Desplazamiento de banda clasificadora

En la Figura 3.15, se puede observar que la estructura que se diseñó para sostener la pieza de entrada tiene un von mises de 97.94 MPa, dando como resultado un factor de seguridad de 2.55. Cabe resaltar que se utilizó las mismas condiciones propuestas en análisis anteriores.

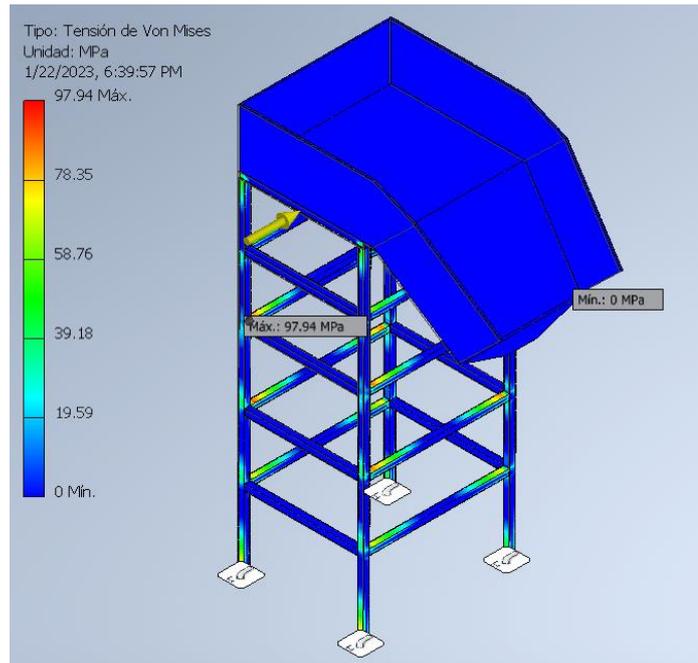


Figura 3.15 Von mises de estructura para pieza de entrada

3.2 Diseño Computacional

3.2.1 Resultados IA

El código con respecto al entrenamiento del modelo fue realizado en google colab, mientras que el código encargado de realizar las inferencias fue desarrollado en visual code, ambos códigos y recursos utilizados se encuentran subidos en un repositorio en github.

De las imágenes recopiladas de frutas y verduras se destinó un porcentaje para entrenamiento y el resto para testear la precisión del modelo. En el apéndice B, se puede observar las curvas sobre el modelo entrenado con 12 épocas, número el cual garantizó una precisión del 98%.

La precisión global real del modelo es del 95% y fue obtenida a partir de una matriz de confusión, Figura 3.16, e indica que tan robusto es nuestro modelo, por otro lado, después de realizar varios entrenamientos, la precisión dependió de la cantidad de imágenes asignada a la IA para que pueda aprender. Para un modelo categórico se prefiere utilizar una gran cantidad de imágenes, en este caso se

utilizaron alrededor de 10,000 imágenes entre ellas de manzanas, bananas, pimientos y naranjas o mandarinas.

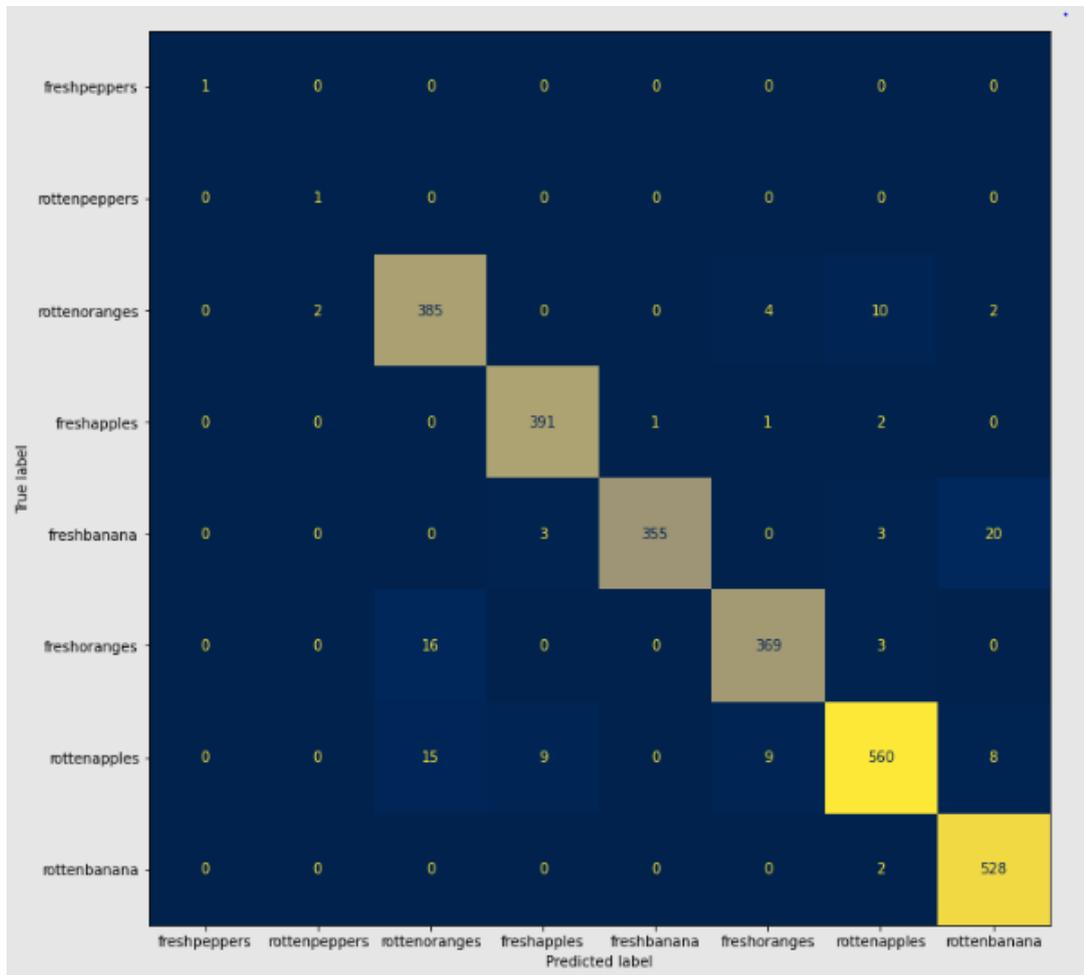


Figura 3.16: Matriz de confusión del modelo de IA

Para categorizarlas entre consumo humano, consumo animal y merma, se optó por colocar un límite, es decir, si la IA predice con una precisión igual o mayor al límite se considera que pertenece ya sea a una fruta fresca en este caso para consumo humano o podría en este caso merma, cualquier otro caso será destinada a consumo animal.

Una vez construido el modelo se subieron fotos tomadas con cámara de celular de frutas y vegetales para observar la clasificación, Figura 3.17.



Figura 3.17: Predicción para pimiento

Posteriormente, se realizaron pruebas dentro de un ambiente más real tomando en consideración el color de la banda a utilizar además se utilizó una cámara con una resolución igual a la escogida (Pi noir V2.1) de 5MP.



Figura 3.18: Predicción para pimiento dañado

El modelo logra clasificar correctamente, Figura 3.19, con una precisión del 85.80%, en menos de un segundo, sin considerar el tiempo que le toma para realizar el preprocesado de la imagen.

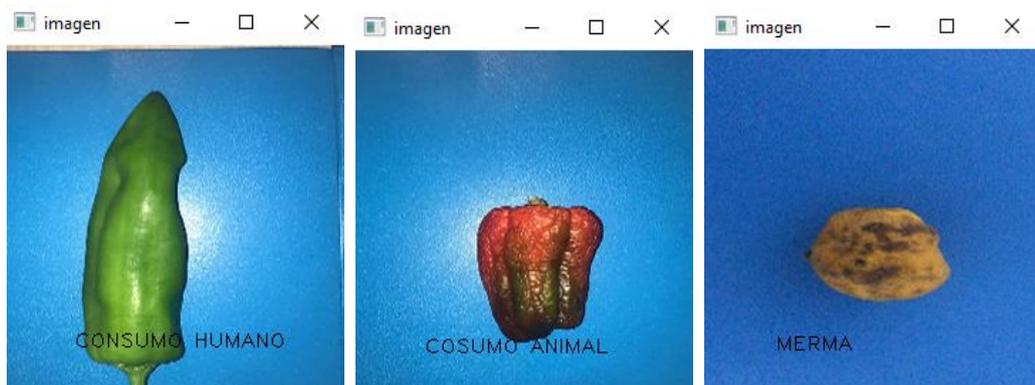


Figura 3.19 : Predicciones de la IA

Las diferentes pruebas y entrenamientos realizados del modelo están disponibles en un repositorio anexo en el Apéndice B.

3.3 Diseño eléctrico, neumático y control

En la Figura 3.20 y Figura 3.21, se muestra el modelo 3D del panel de control diseñado para accionar el sistema. Este cuante con una botonera de inicio la cual accionará todo el sistema, además, contiene una botonera de paro de emergencia. Se tiene luces piloto que indican el funcionamiento de los motores y también el accionamiento de los relés térmicos.

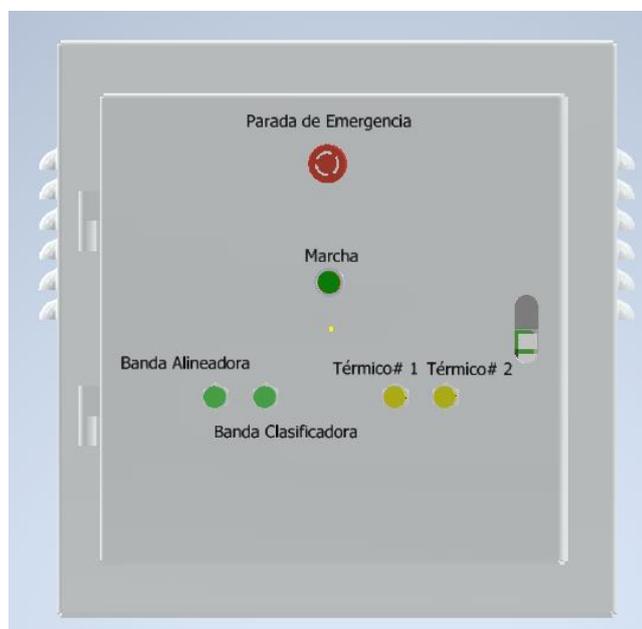


Figura 3.20 Panel de control (cara externa)

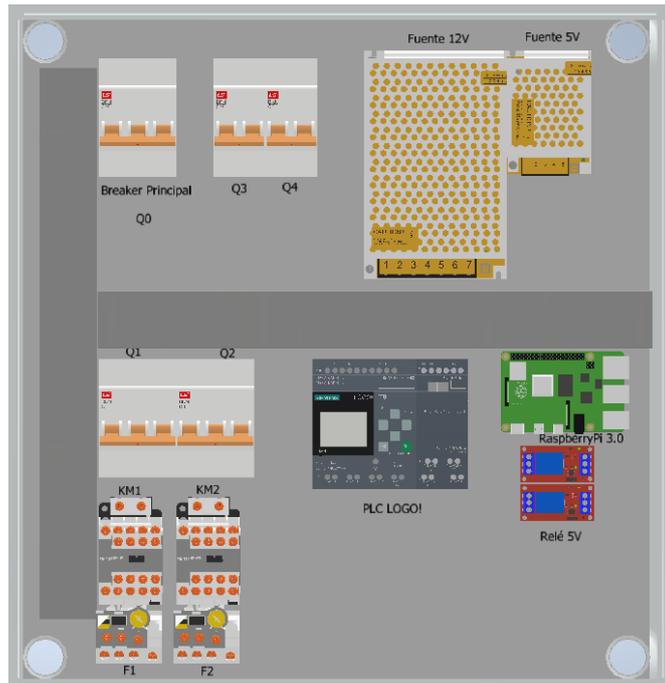


Figura 3.21 Panel de control (internamente)

En la Figura 3.22, se muestra el diagrama de flujo con la logística que tiene cargado el PLC para el correcto funcionamiento del sistema.

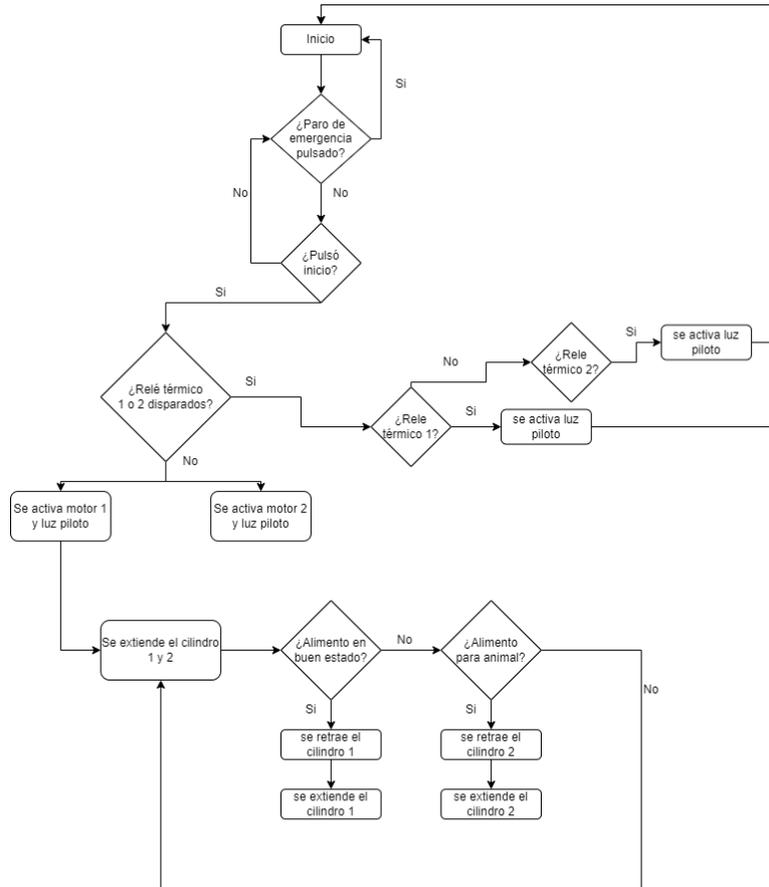


Figura 3.22 Diagrama de flujo PLC

3.3.1 Esquemático de fuerza y control

Para la validación de las conexiones eléctricas de fuerza y control, se utiliza un programa que permite realizar los diferentes esquemáticos (eléctricos, neumáticos, programación Ladder) y simularlos en tiempo real. Cabe resaltar que las señales enviadas por la raspberry se simularon con interruptores directamente condenados a 12V y conectados a las entradas del PLC. Los planos de conexiones y programación se encuentran en el Apéndice C.

En la Figura 3.23, se puede observar el funcionamiento de los actuadores al momento de energizar el sistema. En la Figura 3.24, se muestra el circuito de control al momento de iniciar el sistema.

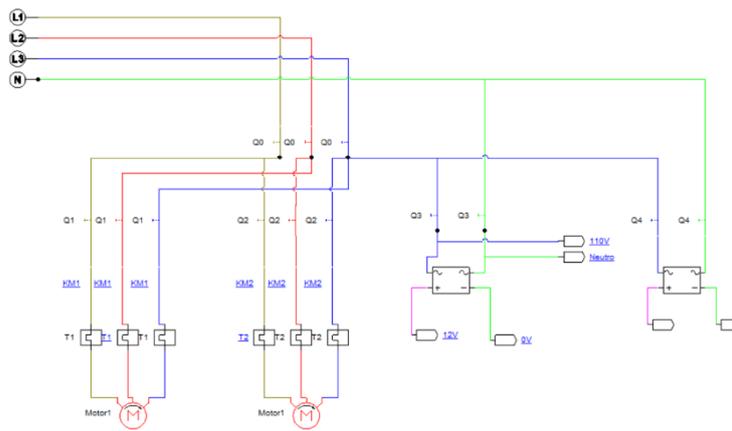


Figura 3.23 Accionamiento de circuito de fuerza

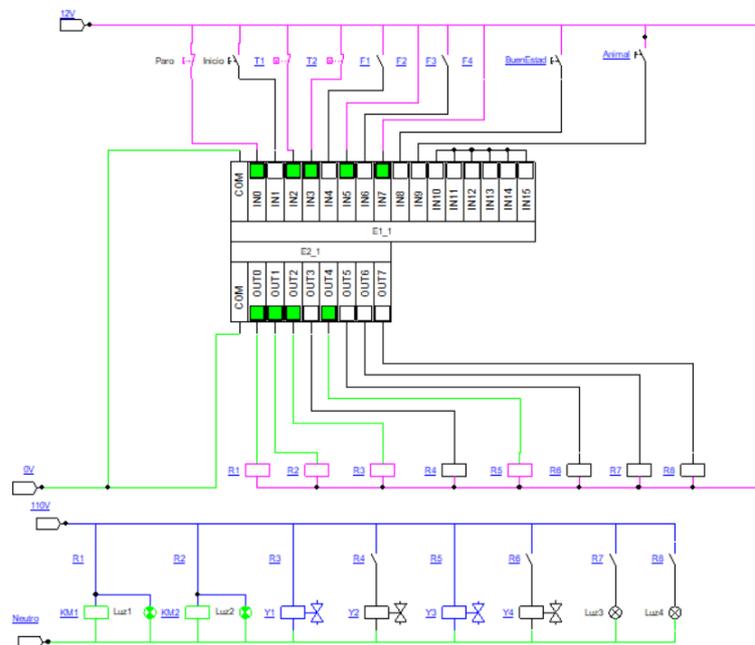


Figura 3.24 Accionamiento de botonera de inicio

En la Figura 3.25 y Figura 3.26, se muestra el funcionamiento del paro de emergencias que desactiva todo el sistema.

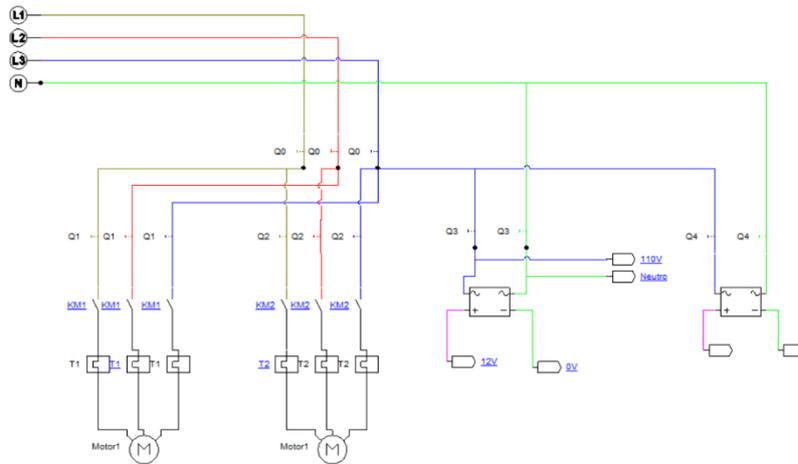


Figura 3.25 Paro de emergencia en circuito de fuerza

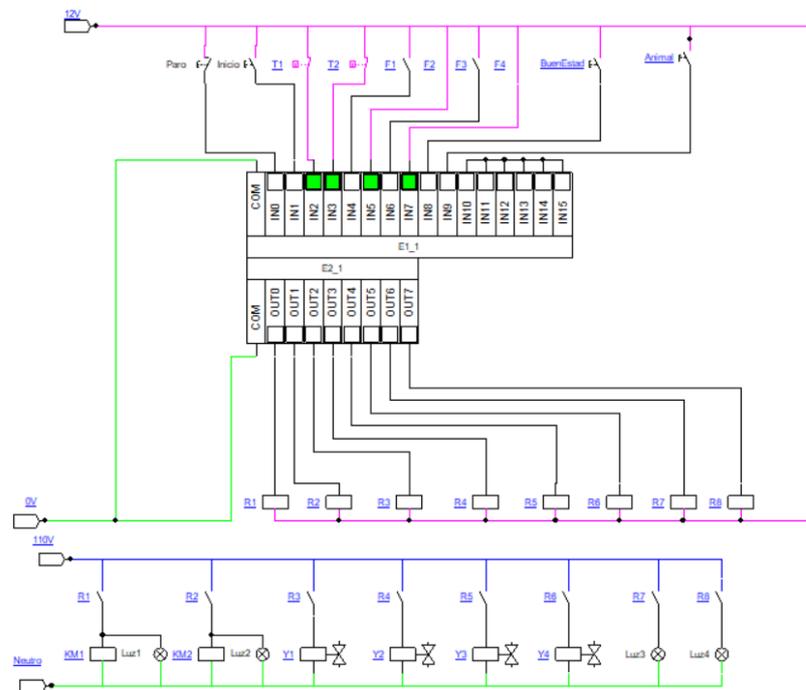


Figura 3.26 Paro de emergencia circuito de control

3.3.2 Esquemático neumático y control

En la Figura 3.27, se muestra los cilindros en su posición estable (extendido) cuando no se recibe la señal de accionamiento para empezar el ciclo, mientras que en la Figura 3.28, se ejemplifica una situación cuando se recibe la señal de que el alimento está en buen estado. En la Figura 3.29, se muestra el diagrama de fase que realizará cada cilindro, resaltando que es el mismo para ambos.

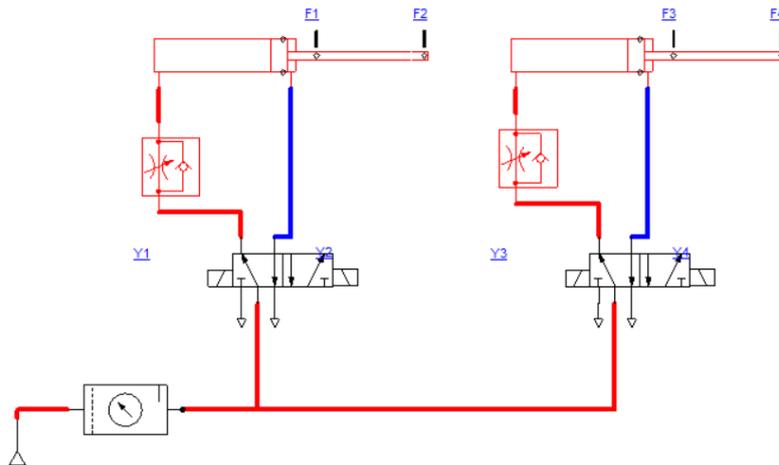


Figura 3.27 Esquemático neumático

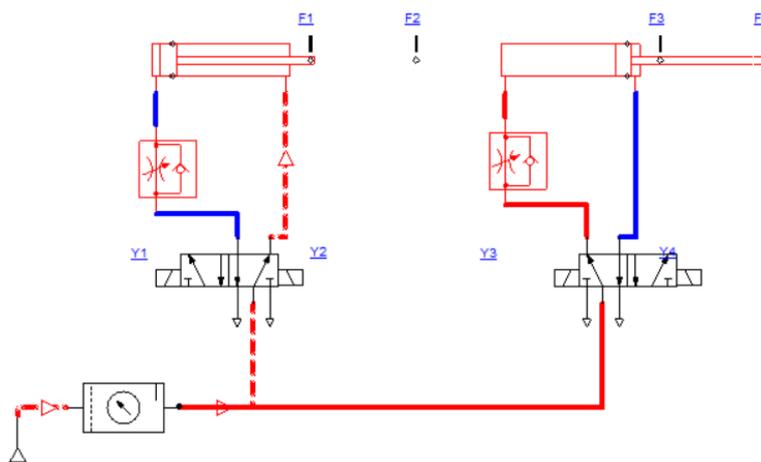


Figura 3.28 Accionamiento alimentos en buen estado

Cilindro	1	2
A o B	/	/

Figura 3.29 Diagrama de fase

3.4 Validación de capacidad del sistema

Se realizó una aproximación de la capacidad del sistema usando recursos computacionales y se obtuvo que, en una jornada de 8 horas, se tiene una capacidad de procesar aproximadamente 1700 kg usando 4 operadores. En la

Figura 3.30 y Figura 3.31, se observa los resultados del programa con las distintas escalas. Una vez convertidas en unidades de masa se suma el total. Esto debido a que cada elemento se consideró un producto, sin embargo, en el caso de frutas y verduras se las agrupó en conjuntos de 59 elementos que representa una gaveta (10 kg). Los detalles de la simulación se encuentran en la sección de apéndice.

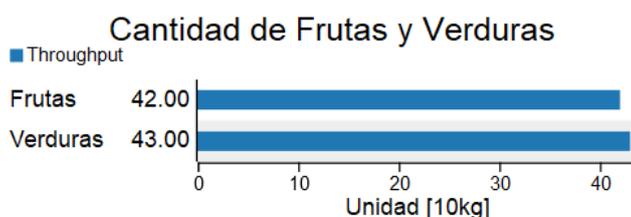


Figura 3.30 Cantidad de frutas y verduras

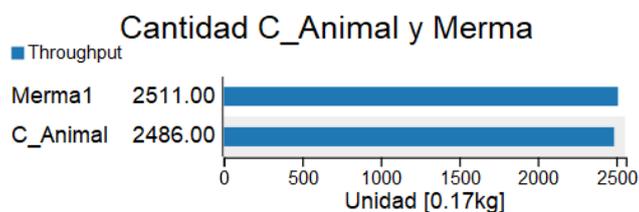


Figura 3.31 Cantidad de merma y alimento para animales

Se aproximó el comportamiento de los operarios con respecto al aprovechamiento del tiempo dentro de la jornada de trabajo. En la Figura 3.32, se puede observar los distintos porcentajes donde destacó que un operario trabaja 51.26% del tiempo, sin embargo, los otros operarios tienen mucho tiempo de ocio, por lo cual, este tipo de trabajo no es pesado y concuerda con el perfil de los voluntarios que operarán el sistema.



Figura 3.32 Rendimiento de los operarios

En la Figura 3.33, se muestra la simulación del sistema.

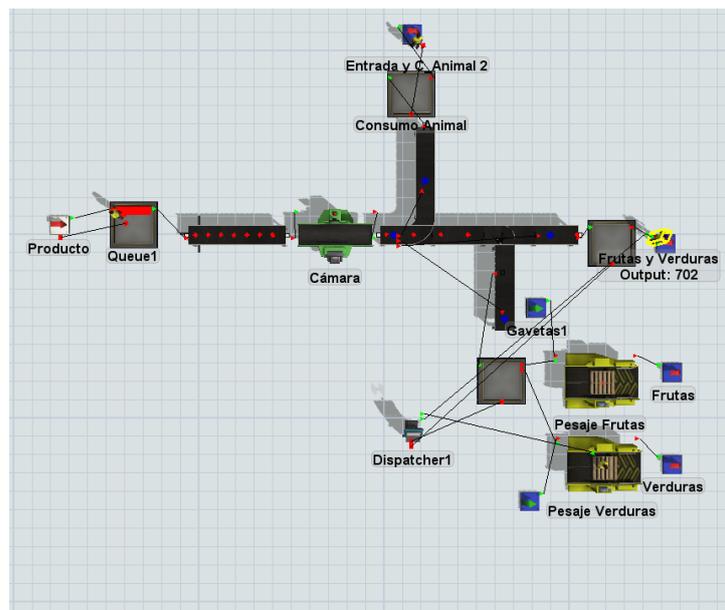


Figura 3.33 Simulación del sistema

3.5 Análisis de costos

A continuación, se muestra el detalle de los rubros considerados para realizar una cotización aproximada del costo total del proyecto, se toman en cuenta valores como materiales, hardware, software, mano de obra e instalación.

Tabla 3.1 Detalle costo del proyecto

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR UNIDAD	TOTAL
1	Raspberry Pi 3 B+	\$35.00	\$35.00
1	Google Coral Edge TPU Coral USB Accelerator	\$61.00	\$61.00
1	Official Raspberry Pi Power Supply - US Plug	\$9.88	\$9.88
1	Accesorios DFRobot Raspberry Pi Dual Cooling Fans Kit	\$6.50	\$6.50
1	PiNoir Camera Module V2	\$31.13	\$31.13
1	Banda transportadora M1950-100-1000-EDDF4-R	\$250.00	\$250.00
1	Banda transportadora M1950-150-2000-EDDF4-R	\$250.00	\$250.00
1	Plancha acero inoxidable 304 1220x2440	\$217.48	\$217.48
2	Cilindro doble efecto FESTO CRDSNU-12-20-P-A	\$44.72	\$89.44
2	Caballote CRLBN-12/16	\$16.25	\$32.50
2	Horquilla CRSG-M6	\$41.42	\$82.84
2	Electroválvula VSVA-B-B52-H-A2-2AC1	\$215.00	\$430.00
1	PLC Logo 6ED1052-1MD08-0BA1	\$163.15	\$163.15
1	Módulo de expansión 6ED1055-1MB00-0BA2	\$71.85	\$71.85
2	Breaker térmico CHI0016A-EBC 3KA 3P C1	\$8.75	\$17.50
2	Contactador CJX2-D0910-F7	\$9.31	\$18.62
2	Relé termino LR2-D1303	\$41.27	\$82.54
1	Botonera de paro de emergencia	\$5.90	\$5.90
1	Pulsador marcha verde	\$8.77	\$8.77
1	Pulsador paro rojo	\$8.77	\$8.77

1	Luces piloto roja	\$4.13	\$4.13
2	Sensor capacitivo KI6001	\$169.99	\$339.98
1	Instalación	\$100.00	\$100.00
1	Mano de obra estructura y perfiles	\$1000.00	\$800.00
1	Impuesto por usar DHL International Mouser.ec	\$30.00	\$30.00
1	Desarrollo de software y soporte	\$1000	\$1000
			\$4,146.98

Se estima que el costo de mano de obra para la fabricación de los perfiles de alienación, para la pieza de entrada y toboganes es de aproximadamente \$1000 tomando en cuenta el salario promedio de un soldador en Ecuador [22] con un tiempo máximo de 1 mes para la fabricación de piezas.

Dentro del presupuesto no se toma en cuenta el costo de instalación de la acometida para una red trifásica, sin embargo, se considera la instalación del panel del circuito de fuerza junto con sus elementos como breakers, relés térmicos y contactores, así como el panel de control, actuadores, bandas transportadoras y sensores.

En el mercado existen soluciones que permiten clasificar frutas o vegetales según su tamaño y estado, sin embargo, estas soluciones por lo general están enfocadas a un solo tipo de fruta o vegetal para clientes productores en grandes cantidades, estas máquinas clasificadoras, como las que ofrece la marca TAIHO, rondan entre los 10 mil, 55 mil e incluso 99 mil dólares [23] dependiendo de la personalización sin incluir envío, además, requieren por lo general de espacios amplios para su instalación. Se debe tener en cuenta que TAIHO ofrece productos certificados generando confiabilidad al cliente que desea adquirir su producto.

Nuestro diseño final está cotizado alrededor de \$4,200 cuenta con un sistema de clasificación con inteligencia artificial para frutas y verduras en tres categorías,

consumo humano, consumo animal y merma, enfocado a las necesidades de los bancos de alimentos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema automatizado para la clasificación de frutas y verduras que posean como máximo una dimensión de 10 cm de diámetro. El sistema propuesto tiene 80 cm de altura, garantizando la ergonomía y comodidad para los voluntarios. La estructura posee una vida infinita, soporta cargas tanto estáticas como dinámicas, además se garantizó su estabilidad de acuerdo con los diferentes análisis realizados.
- Se redujo en un 50% la cantidad de voluntarios necesarios para realizar la operación de clasificación. Estos operarios solo trabajan entre el 51.26% y 15.22% del tiempo en una jornada laboral de 8 horas, siendo una carga adecuada para un operario con perfil de voluntario.
- Se aumentó en un 13.37% la capacidad de clasificación en comparación con el método tradicional, logrando una menor manipulación y reducción de contaminación cruzada. Se garantiza la inocuidad al utilizar materiales para su construcción regulados por la FDA y la seguridad de los voluntarios al integrar protecciones eléctricas y de control durante toda la operación de la máquina.
- La mayoría de los materiales para su construcción pueden ser adquiridos localmente, evitando gastos por importaciones, su costo es relativamente accesible en comparación a sus competidores y adaptado a las necesidades del cliente.
- El modelo de IA propuesto logra identificar el estado de las frutas y verduras con una precisión del 85.5% clasificándolas en una de las tres categorías, con una respuesta de inferencia relativamente rápida con el uso del *USB colar accelerator*, asegurando que los actuadores puedan prenderse y activarse en el tiempo adecuado.

4.2 Recomendaciones

- El diseño propuesto fue desarrollado considerando un diámetro y peso promedios con el fin de dimensionar y medir la capacidad de clasificación del prototipo, sin

embargo, es posible aumentar el tamaño de la banda de alineación para que frutas de mayor tamaño puedan clasificarse según el requerimiento y necesidades del cliente. Si se desea optar por una banda más ancha debe tomarse en cuenta que la fruta o verdura se encuentre siempre dentro del plano de la cámara en el cuarto de inspección, de esta manera la inteligencia artificial pueda realizar una predicción más adecuada.

- Evitar introducir frutas o verduras de tamaños muy pequeños o grandes para el cual la máquina no está diseñada, así como cualquier otro tipo de objetos, pues podrían causar atascos o daños en sensores y actuadores. Designar a una única persona que opere y supervise el correcto uso del equipo con el fin de garantizar su máxima vida útil.
- Para el desarrollo del sistema inteligente de frutas y verduras en tres categorías, consumo animal, consumo humano y merma, como trabajo futuro es posible integrar un HMI con diferentes opciones entre ellas visualizar el tiempo real lo que la cámara está capturando o la cantidad de frutas y verduras que actualmente se encuentran clasificadas, por otro lado, agregar conectividad a internet para proveer actualizaciones de software. Además, se puede considerar la captura y almacenamiento de las imágenes de frutas y verduras en paralelo a su clasificación, para su posterior uso en un nuevo modelo con nuevas imágenes mejorando la precisión, cabe recalcar que tener acceso a internet no es un requisito para que la máquina no funcione correctamente.
- Al tratarse de alimentos es necesario realizar limpieza específicamente en la zona de la banda cada cambio de jornada, es decir, al menos dos veces al día para evitar propagación de bacterias de frutas y vegetales que se encontraban en estado podrido hacia las demás, para ello pueden utilizar agua a baja presión y eliminar manualmente cualquier tipo de sólido que haya quedado adherido, además, es indispensable el uso de desinfectantes bactericidas y fungicidas.
- Como futuro trabajo se sugiere incorporar una etapa de inspección de calidad interna para frutas y verduras de forma automatizada, así como la empresa TAIHO ofrece, actualmente nuestro proyecto se enfoca en la inspección de calidad de frutas y vegetales únicamente de forma externa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Eguillor, «Los bancos de alimentos y su rol para reducir el desperdicio de alimentos,» Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Santiago de Chile, 2021.
- [2] GAD Municipal de Guayaquil, «350.000 personas serán beneficiadas con el convenio Barriguita llena, corazón contento,» 11 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.guayaquil.gob.ec/350-000-personas-seran-beneficiadas-con-el-convenio-barriguita-llena-corazon-contento/>.
- [3] A. Guevara, «El Rol De Los Bancos De Alimentos En Países En Desarrollo,» *Ecuador Es Calidad*, vol. 8, nº 1, pp. 15-17, 2021.
- [4] ANFAB, «Banco de alimentos, una alternativa para erradicar el hambre,» 22 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://anfab.com/banco-de-alimentos-una-alternativa-para-erradicar-el-hambre/>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [5] AECOC, «Guía de Seguridad Alimentaria,» Vocento, Barcelona.
- [6] J. Sacoto, Interviewee, *Diakonía*. [Entrevista]. 10 Octubre 2022.
- [7] UDLA, «Qué alimentos perecen y cuánto pueden durar: Cómo preparamos nuestra despensa para la cuarentena,» 3 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://actualidad.udla.cl/2020/04/que-alimentos-perecen-y-cuanto-pueden-durar-como-preparamos-nuestra-despensa-para-la-cuarentena/>.
- [8] CIC, «Beneficios de la automatización en la industria alimentaria,» 10 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.cic.es/beneficios-automatizacion-industria-alimentaria/>. [Último acceso: 18 Octubre 2022].
- [9] Tucajaverde, «Clasificación de frutas y verduras en cinco colores,» 22 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.tucajaverde.cl/clasificacion-de-frutas-y-verduras-en-cinco-colores/22/10/2019/>. [Último acceso: 27 Octubre 2022].
- [10] I. Zacarías, H. Speisky, J. Fuentes, C. G. González, A. Domper, L. Fonseca y S. Olivares, «Los colores de la salud: 3 verduras y 2 frutas al día,» Editora e Imprenta Maval Spa, Santiago de Chile, 2016.
- [11] C. Haynes, D. Schrock, R. Jauron, S. DeBlieck, C. Hradek y S. Coleman, «Top 13 vegetables to donate to food pantries,» Iowa State University Extension and Outreach, Iowa.

- [12] Niklas, «Weight of stuff,» 16 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://weightofstuff.com/average-weight-of-all-fruits-and-vegetables/>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [13] P. V. Balabanov, A. G. Divin, A. S. Egorov y V. A. Yudaev, «Mechatronic system for fruit and vegetables sorting,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 734, nº 1, 1 Enero 2020.
- [14] A. Bhatnagar, R. Patel, M. Gupta, M. Pal y L. Kumar, «Customized sorting and packaging machine,» *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 19, nº 4, p. 1326, 1 Agosto 2021.
- [15] L. M. Molina Llumitasig y C. E. Vargas Corrales, «Estudio e implementación de un sistema de control de calidad para la detección de contaminantes superficiales de diferentes tipos de frutas usando visión artificial.,» 25 Enero 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15637>.
- [16] Taiho, «Sistema inteligente de clasificación de frutas,» [En línea]. Available: <https://sp.colorsort.cn/display.asp?id=906>. [Último acceso: 28 Octubre 2022].
- [17] V. Mohan, «Raspberry Pi Models Comparison: Which Pi is Right for My Application?,» 10 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://raspberrypexpert.com/raspberry-pi-models-comparison/>.
- [18] Google LLC, «USB accelerator coral,» [En línea]. Available: <https://coral.ai/products/accelerator/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [19] ikikVC, «Raspberry Pi Camera: Comparison of High Quality Camera with Camera Module V2,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/14/raspberry-pi-camera-comparison-of-high-quality-camera-with-camera-module-v2/>. [Último acceso: 20 Diciembre 2022].
- [20] A. Selvikvåg Lundervold y A. Lundervold, «An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI,» *Z Med Phys*, nº 29, pp. 102-127, 2019.
- [21] VirtualExpo Group, «¿Qué sensor de proximidad elegir?,» [En línea]. Available: <https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-proximidad-elegir/>. [Último acceso: 12 Diciembre 2022].

- [22] El Oficial, «Salarios promedio en la construcción en el Ecuador,» 08 02 2019. [En línea]. Available: <https://eloficial.ec/salarios-promedio-en-la-construccion-en-ecuador/#:~:text=Soldador%3A%20%24800%20al%20mes.,por%20semana%20%2F%20%24520%20al%20mes..> [Último acceso: 2023 Enero 7].
- [23] Alibaba, «Fruit grading system apple grading machine,» [En línea]. Available: https://taiheguangdian.en.alibaba.com/product/60712371647-805660445/fruit_grading_system_apple_grading_machine.html. [Último acceso: 14 Enero 2023].
- [24] Adafruit, «Zero spy camera for Raspberry Pi Zero,» [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/product/5390>. [Último acceso: 12 Octubre 2022].

APÉNDICES

APÉNDICE A

ESTADÍSTICA Y RECOPIACIÓN DE DATOS

- Parámetros de frutas

Con el fin de obtener una dimensión circular, se enlistó diferentes frutas y verduras que llegan con mayor frecuencia a los bancos de alimentos, tomando en cuenta información confidencial del cliente. En la Tabla A.1, se puede observar el diámetro y masa de diferentes productos.

Tabla A.1 Diámetros y masa de frutas y verduras

Nombre	Tipo	Diámetro[cm]	Masa [g]
Manzana	Fruta	8	210
Banana	Fruta	18.5	110
Durazno	Fruta	7.5	165
Mandarinas	Fruta	7.5	190
Naranjas	Fruta	7	175
Peras	Fruta	6.5	160
Kiwis	Fruta	6	100
Melón	Fruta	7.75	275
Toronja	Fruta	12.5	246
Piña	Fruta	30	2000
Arándano	Fruta	1	1.9
Granadilla	Fruta	7.045	102.6
Mango	Fruta	12.5	350
Fresas	Fruta	1.85	38
Guayaba	Fruta	8	132.5
Papaya	Fruta	15	500
Guanábana	Fruta	20	4000
Higos	Fruta	6.5	36
Limón	Fruta	6	76
Maracuyá	Fruta	6	75
Reina Claudia	Fruta	7	65
Zapote	Fruta	15	400
Brócoli	Vegetal	40	225
Tomate	Vegetal	7	170
Zanahoria	Vegetal	17	60
Coliflor	Vegetal	25	500
Choclo	Vegetal	20	180
Pimientos	Vegetal	12	170
Papa	Vegetal	10	184
Cebolla	Vegetal	10	160

Zucchini	Vegetal	15	200
Zanahoria blanca	Vegetal	20	115
Remolacha	Vegetal	7	113
Rábano	Vegetal	5	80
Pepino	Vegetal	20	300
Zapallo	Vegetal	28	1300
Aguacate	Fruta	12	250

- Análisis y estadístico

Para observar la distribución de los datos con respecto a los diámetros se realiza un histograma y un diagrama de caja, para poder observar donde se concentran los datos y de esta manera se obtiene un promedio. En la Figura A.1 y Figura A.2, se muestran los diagramas antes mencionados.

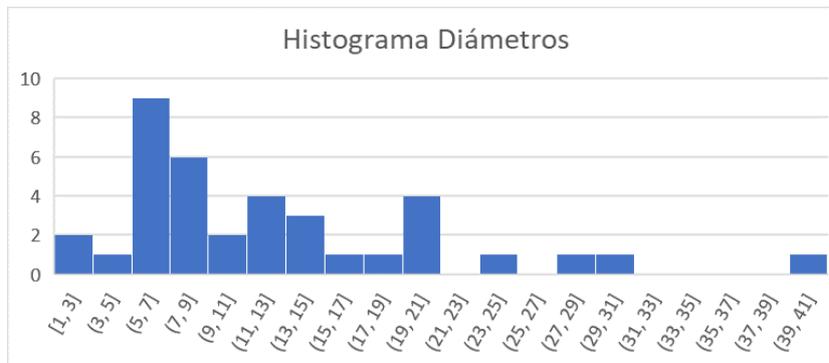


Figura A.1 Histograma diámetros de frutas y verduras

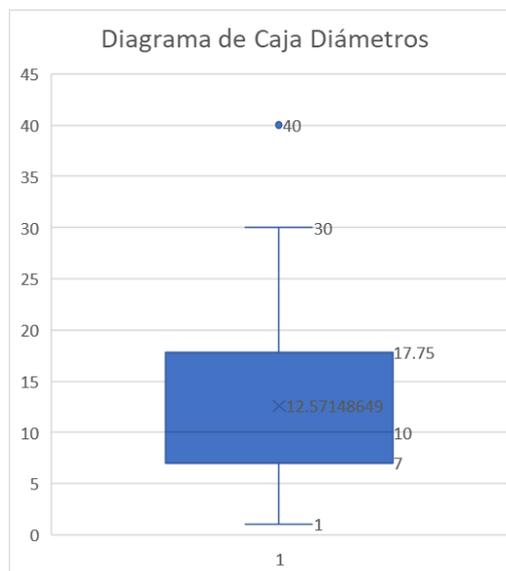


Figura A.2 Diagrama de caja diámetros de frutas y verduras

De la misma manera se realiza con la masa de los elementos propuestos. En la Figura A.3 y Figura A.4, se muestran los resultados.

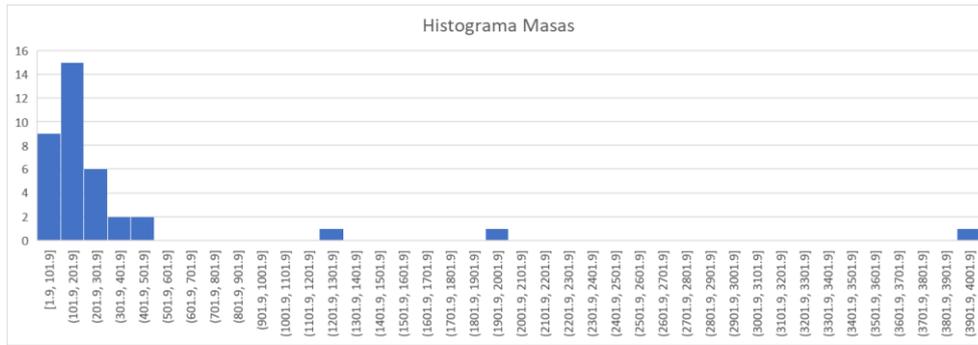


Figura A.3 Histograma de masas de frutas y verduras

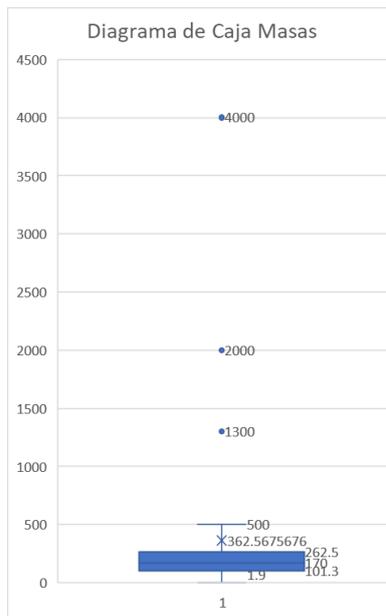


Figura A.4 Diagrama de caja masas de frutas y verduras

APÉNDICE B

MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL POR REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES

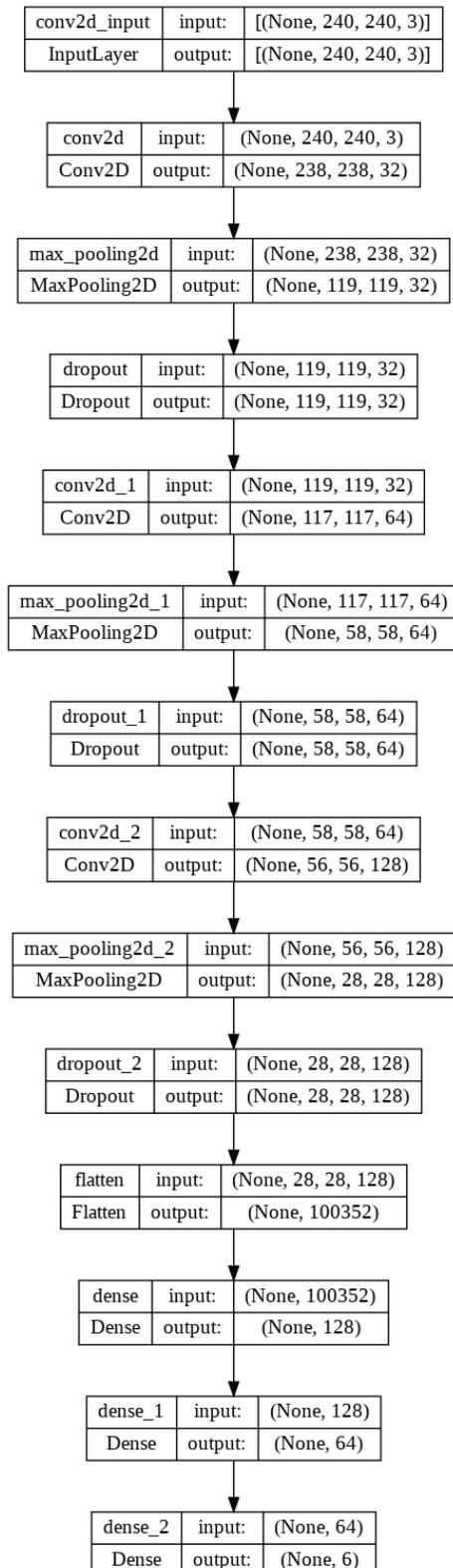


Figura B.1 Estructura del modelo de IA

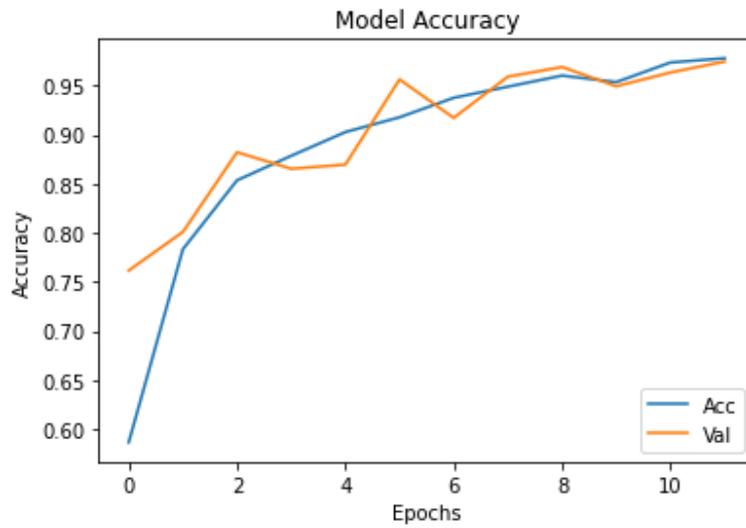


Figura B.2 Precisión del modelo

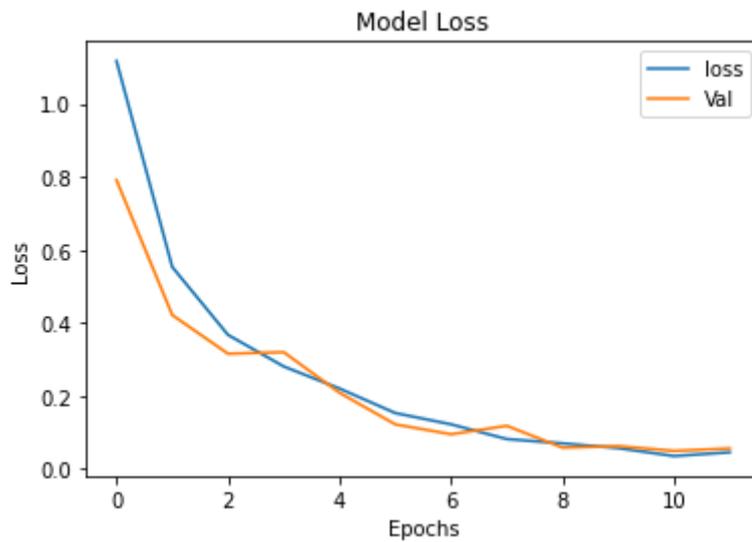


Figura B.3 Pérdida del modelo

Link del repositorio en GitHub:

https://github.com/cmmerchan/fruits_vegetables_classifier

APÉNDICE C

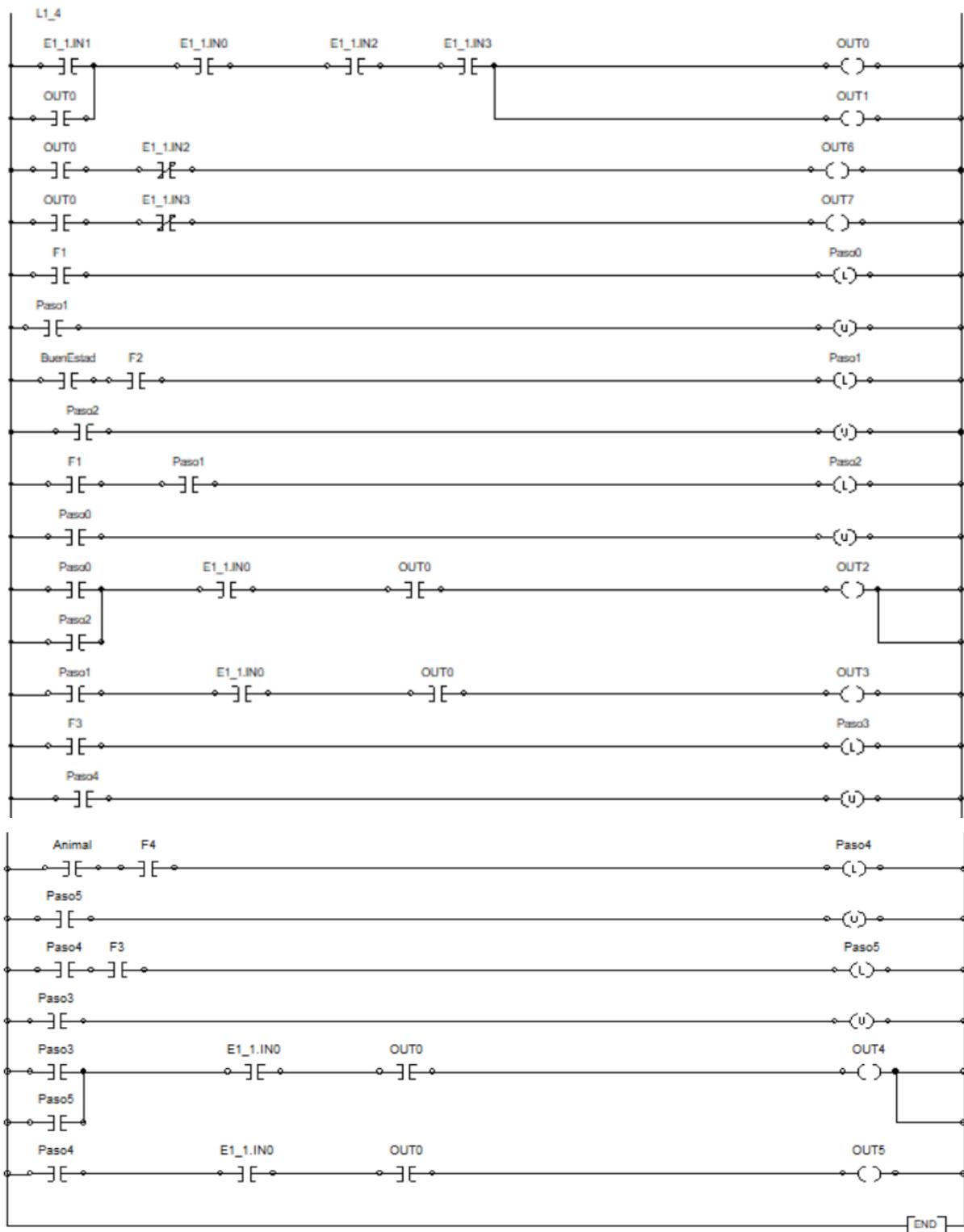


Figura C.1 Programación Ladder

APÉNDICE D

Pieza de entrada

Cálculo del esfuerzo medio y alternante

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{4.4MPa}{2} = 2.2MPa$$

Esfuerzo último del acero inoxidable

$$S_u = 515 MPa$$

Resistencia a la fatiga

$$S'_e = 0.5 * S_u = 257.5MPa$$

Límite a la resistencia a la fatiga corregido

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e$$

Cálculo de factor de acabado superficial

$$K_a = 1.58 * 515^{-0.085} = 0.929$$

Cálculo de factor de modificación de tamaño

$$K_b = 1 \text{ (carga axial)}$$

Cálculo de factor de modificación de carga

$$K_c = 0.85 \text{ (carga axial)}$$

Cálculo de factor de modificación de temperatura

$$K_d = 1 \text{ (temperatura ambiente)}$$

Cálculo de factor de confiabilidad

$$K_e = 0.897 \text{ (90\% de confiabilidad)}$$

$$S_e = 182.39 MPa$$

Factor de seguridad

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{1}{N}$$

$$N = 61.23$$

Borde en V

Cálculo del esfuerzo medio y alternante

$$\sigma_a = \frac{19.79MPa}{2} = 9.895MPa$$

$$\sigma_m = -9.895MPa$$

Esfuerzo último del acero inoxidable

$$S_u = 515 MPa$$

Resistencia a la fatiga

$$S'_e = 0.5 * S_u = 257.5 MPa$$

Límite a la resistencia a la fatiga corregido

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e$$

Cálculo de factor de acabado superficial

$$K_a = 1.58 * 515^{-0.085} = 0.929$$

Cálculo de factor de modificación de tamaño

$$K_b = 0.62 \text{ (carga flexión)}$$

Cálculo de factor de modificación de carga

$$K_c = 1 \text{ (carga flexión)}$$

Cálculo de factor de modificación de temperatura

$$K_d = 1 \text{ (temperatura ambiente)}$$

Cálculo de factor de confiabilidad

$$K_e = 0.897 \text{ (90\% de confiabilidad)}$$

$$S_e = 133.04 MPa$$

Factor de seguridad

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{1}{N}$$

$$N = 18.13$$

APENDICE E

Para realizar la simulación dentro del programa utilizado, se ubicaron las siguientes configuraciones:

Recursos

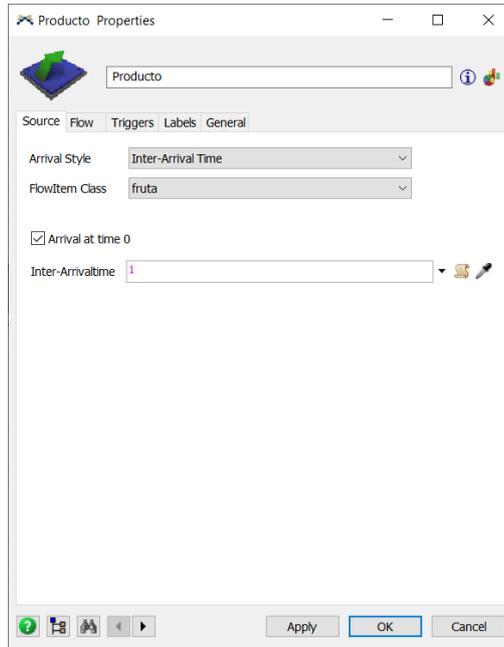


Figura E.1 Configuración del recurso

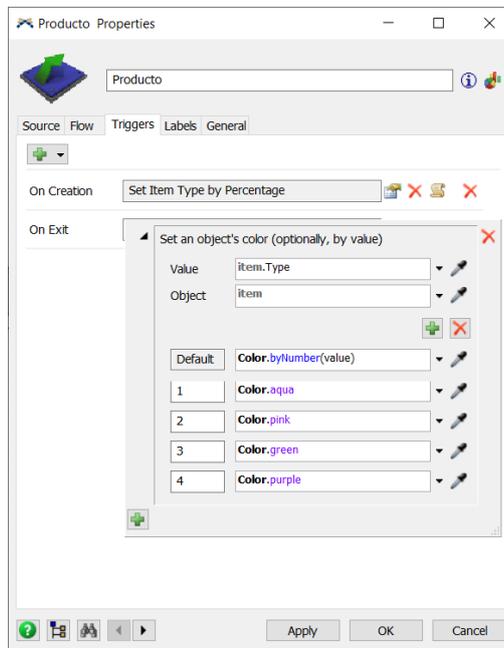
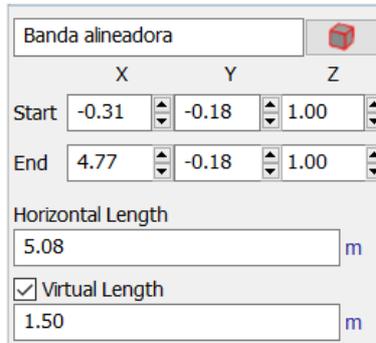


Figura E.2 Configuración de los ítems del recurso

Bandas transportadoras

Para simular este elemento lo que se hizo fue ubicar la longitud virtual de 1.5 m para la primera banda debido a que se tiene la longitud de la banda alineadora mas un porcentaje de la longitud de la banda clasificadora. Además, se le ubicó la velocidad de las bandas.

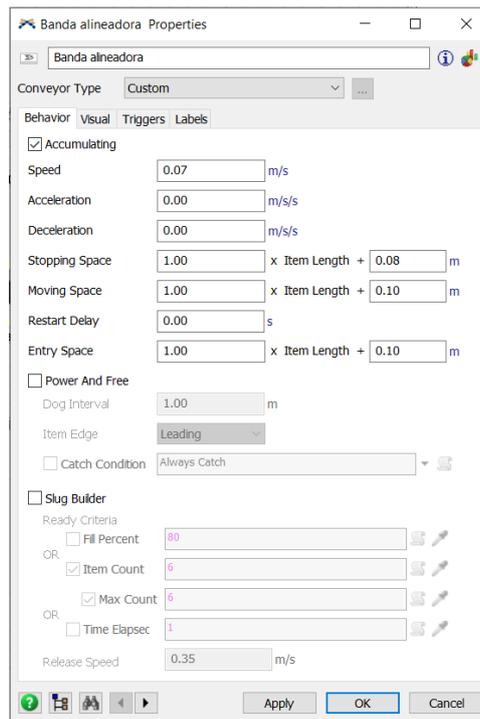


	X	Y	Z
Start	-0.31	-0.18	1.00
End	4.77	-0.18	1.00

Horizontal Length: 5.08 m

Virtual Length: 1.50 m

Figura E.3 Banda alineadora



Conveyor Type: Custom

Behavior: Accumulating

Speed: 0.07 m/s

Acceleration: 0.00 m/s/s

Deceleration: 0.00 m/s/s

Stopping Space: 1.00 x Item Length + 0.08 m

Moving Space: 1.00 x Item Length + 0.10 m

Restart Delay: 0.00 s

Entry Space: 1.00 x Item Length + 0.10 m

Power And Free

Dog Interval: 1.00 m

Item Edge: Leading

Catch Condition: Always Catch

Slug Builder

Ready Criteria

Fill Percent: 80

OR

Item Count: 6

Max Count: 6

OR

Time Elapsec: 1

Release Speed: 0.35 m/s

Buttons: Apply, OK, Cancel

Figura E.4 Configuración de banda alineadora

Para la banda clasificadora lo que se hizo fue escalar las longitudes virtuales y las reales, es decir, el resto de la banda son 1.5 m y esto lo recorre en 21s, por esta razón se les ubicó una velocidad de 0.5 m/s, debido a que la longitud de la banda dentro del programa era de 10.42 m. En la siguiente imagen se observa la configuración.

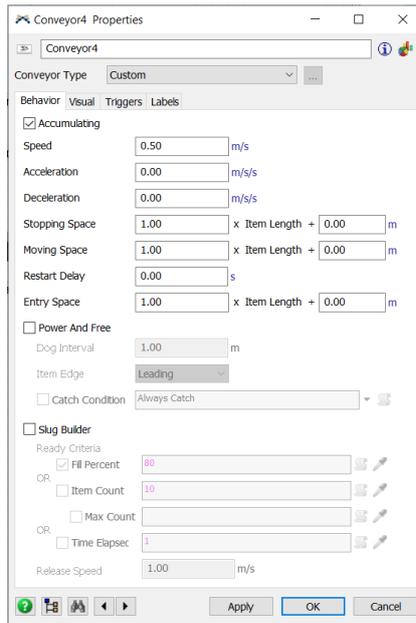


Figura E.5 Configuración de banda clasificadora

Para las bandas laterales se ubicó una velocidad relativamente alta debido a que son simbólicas y necesaria para la simulación.

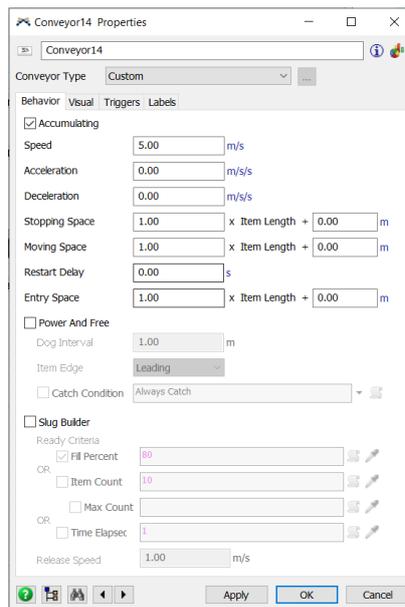


Figura E.6 Configuración de bandas laterales

Obreros

Para los operadores se ubicaron las velocidades que se muestran en la siguiente tabla, donde se tomó en cuenta las distancias exageradas que ofrece el programa de simulación. Además, se considera que los operarios tienen una velocidad constante.

Tabla E.1 Velocidad de los operarios

Operario de entrada	5 m/s
Operario de C. Animal	2 m/s
Operario de C. Humano y merma	10 m/s

Processor

Para simular la cámara se utilizó un processor donde se le ubicó la siguiente configuración

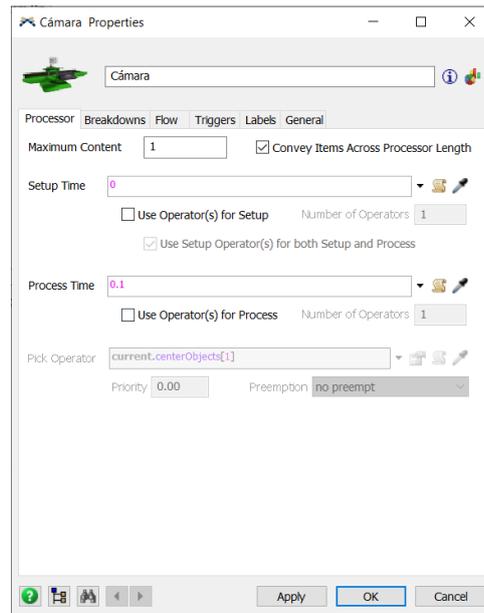
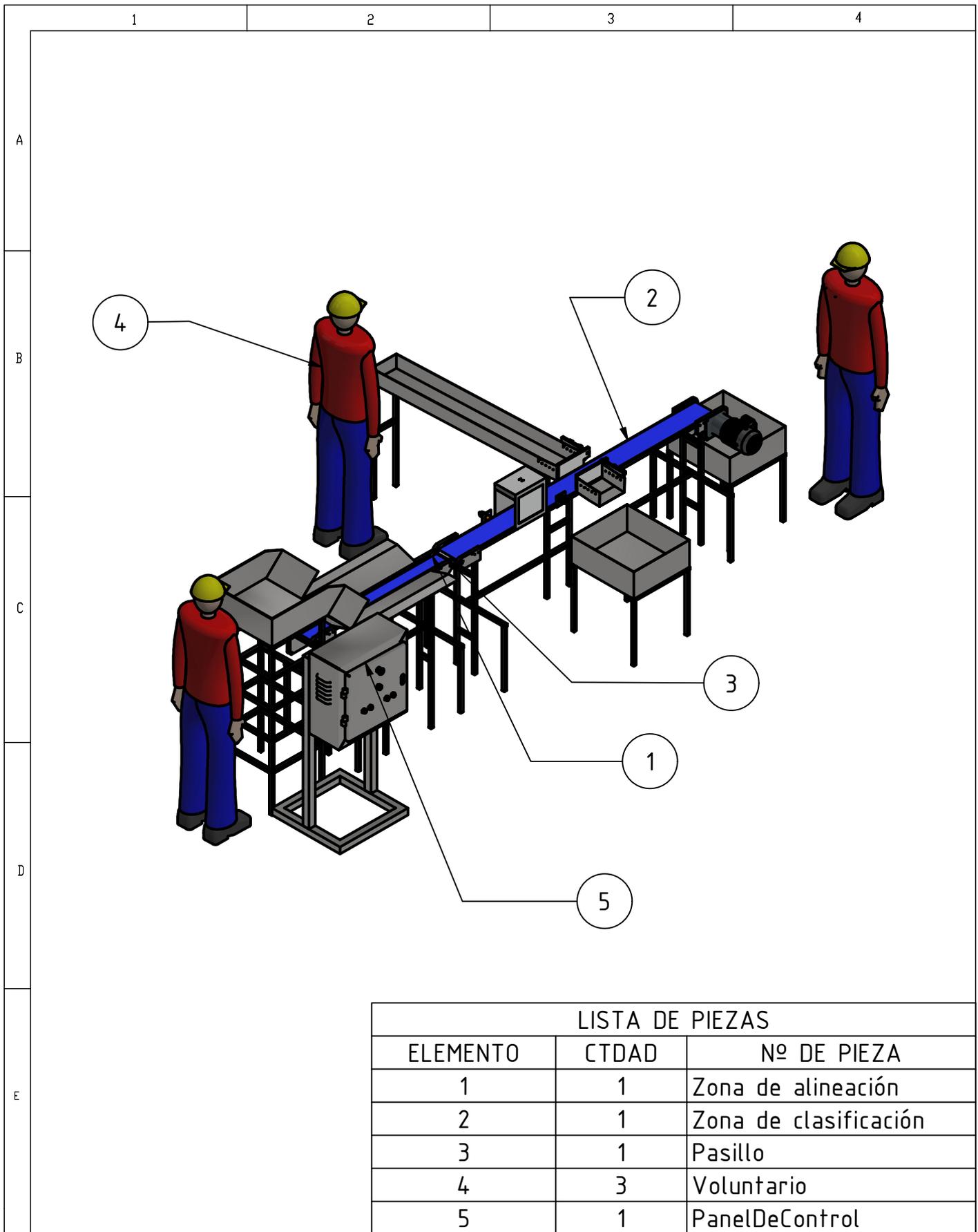


Figura E.7 Configuración del processor

APÉNDICE F

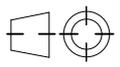
PLANOS

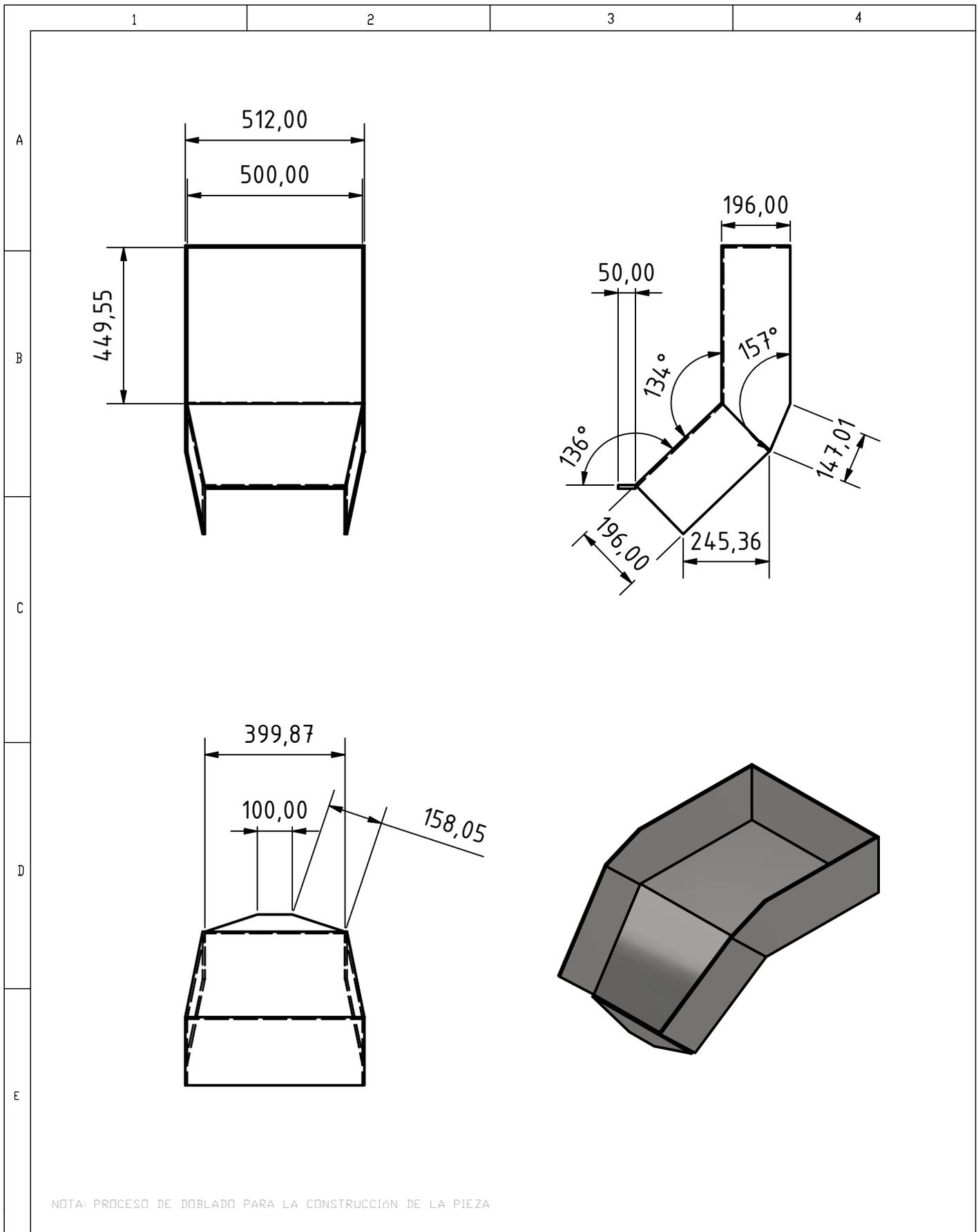


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Zona de alineación
2	1	Zona de clasificación
3	1	Pasillo
4	3	Voluntario
5	1	PanelDeControl

				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
					N/D		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIB 2/3/2023	J. Baque	VISTA GENERAL DEL SISTEMA	
				REV 2/3/2023	C. Merchan		
				APROV 2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NUMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-001	
						SUSTITUYE A:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				

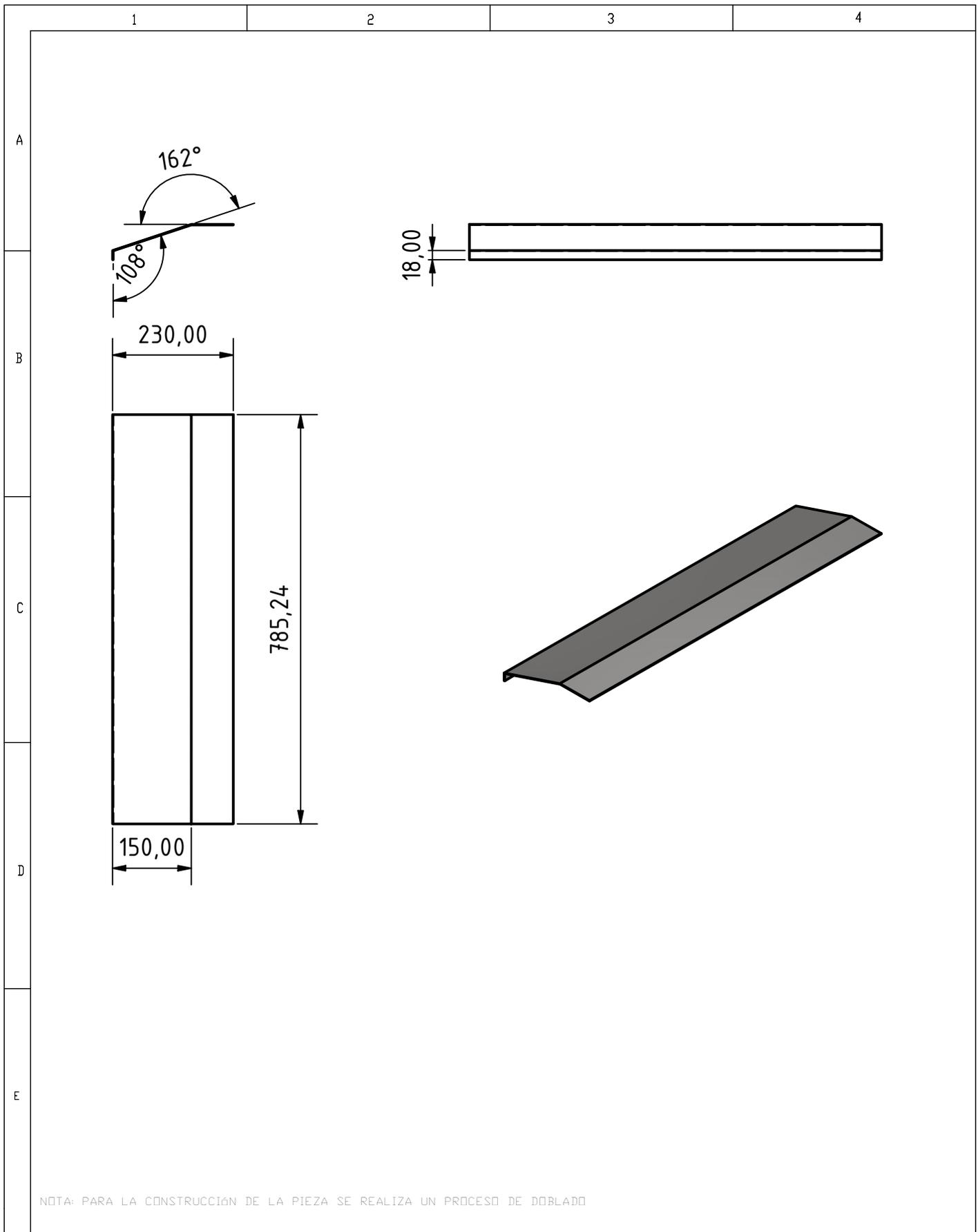
ESCALA
1 : 30





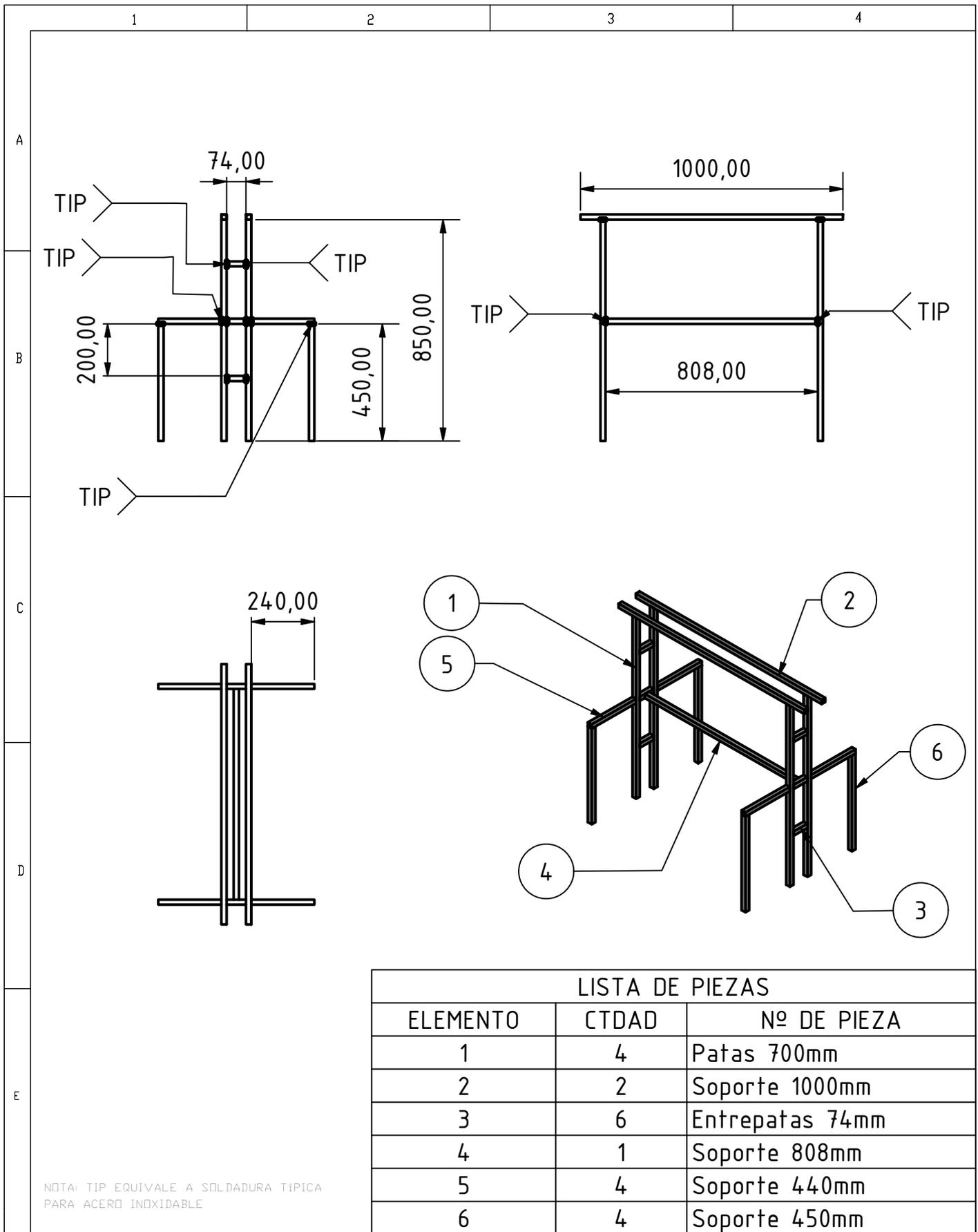
NOTA: PROCESO DE DOBLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PIEZA

				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: RZ TOLERANCIAS: LINEAS DE ANGULAR: 0,02	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE 6MM DE ACERO INOXIDABLE 304	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN PIEZA DE ENTRADA	ESCALA 1 : 15
			DIB	2/3/2023	J. Baque		
			REV	2/3/2023	C. Merchan		
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo	
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-101	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



NOTA: PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PIEZA SE REALIZA UN PROCESO DE DOBLADO

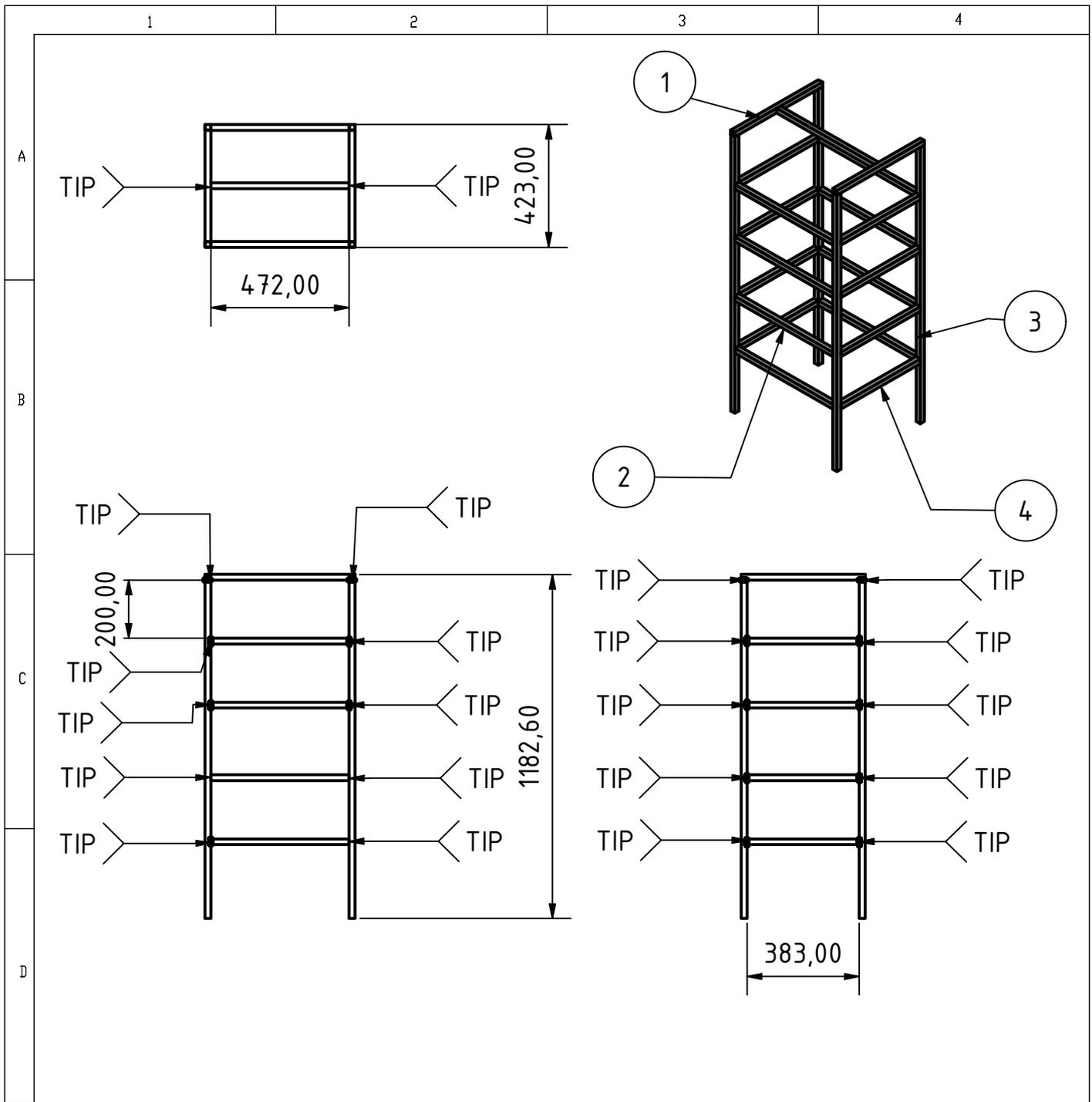
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: NP TOLERANCIAS: LINEAL: H9 ANGULAR: M2	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 1,5MM DE ESPESOR	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN BORDE EN V	ESCALA 1 : 10
			DIB	2/3/2023	J. Baque		
			REV	2/3/2023	C. Merchan		
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo	
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-102	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



NOTA: TIP EQUIVALE A SOLDADURA TÍPICA PARA ACERO INOXIDABLE

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	4	Patas 700mm
2	2	Soporte 1000mm
3	6	Entrepatas 74mm
4	1	Soporte 808mm
5	4	Soporte 440mm
6	4	Soporte 450mm

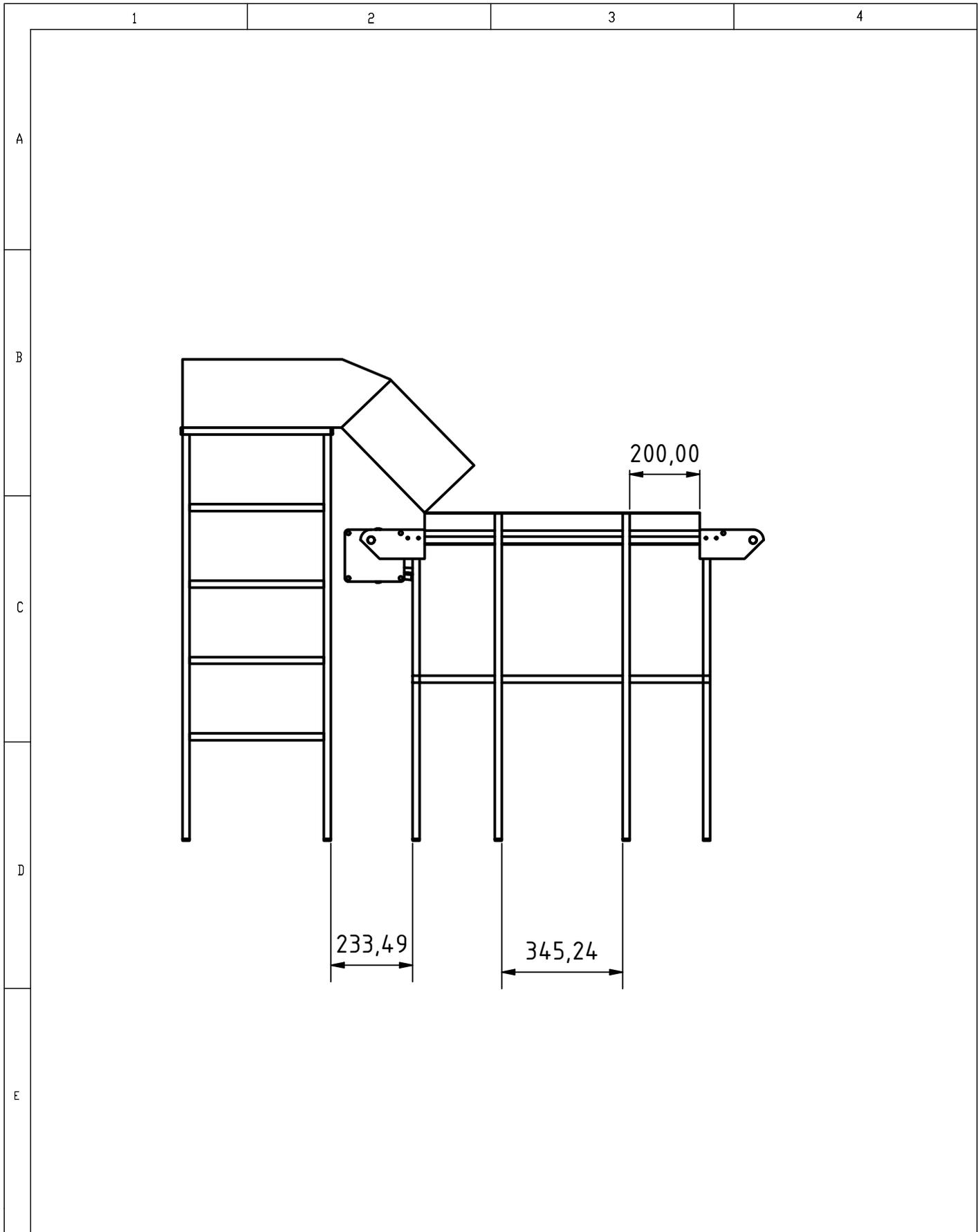
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: M7 TOLERANCIAS: ANGULAR: 45° ANGULAR: 90°	PESO N/D	MATERIALES TUBO CUADRADO DE 20X20MM DE ACERO INOXIDABLE 304		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA
				DIB 2/3/2023	J. Baque	ESTRUCTURA DE BANDA		1 : 20
				REV 2/3/2023	C. Merchan	TRANSPORTADORA DE 1000MM		
				APROV 2/3/2023	PhD. Fajardo			
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NUMERO DE DIBUJO DIAGONIA-103		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		

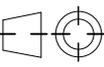


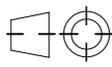
NOTA: TIP EQUIVALE A SOLDADURA TÍPICA EN ACERO INOXIDABLE

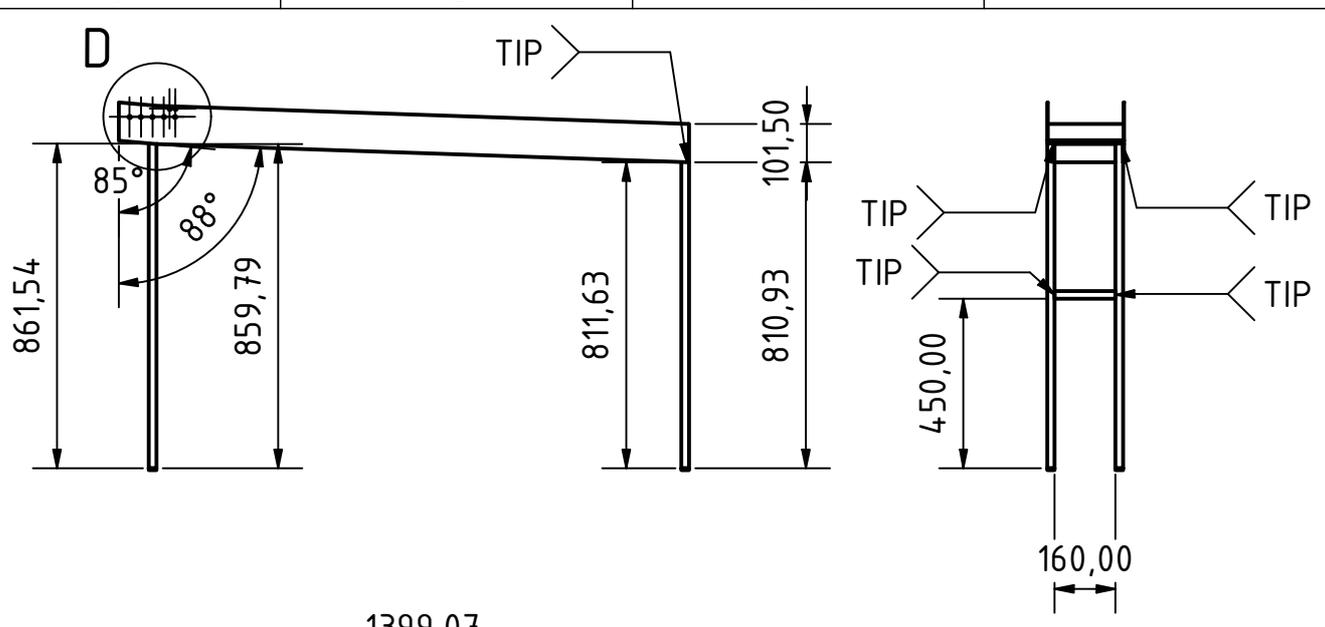
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Entrepatas 453mm
2	9	Entrepatas 472mm
3	4	Patas Principales
4	8	Entrepatas 383mm

				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS LINEAL: 1/10 ANGULAR: 1/100	PESO N/D	MATERIALES TUBO CUADRADO DE 20X20MM DE 0.75MM DE ESPESOR DE ACERO INOXIDABLE 304	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB 2/3/2023	J. Baque	ESTRUCTURA DE PIEZA DE ENTRADA	1 : 20
				REV 2/3/2023	C. Merchan		
				APROV 2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-104	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	

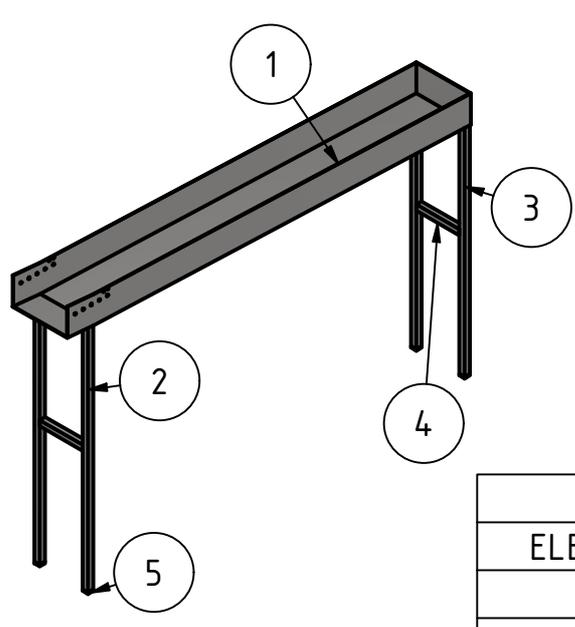
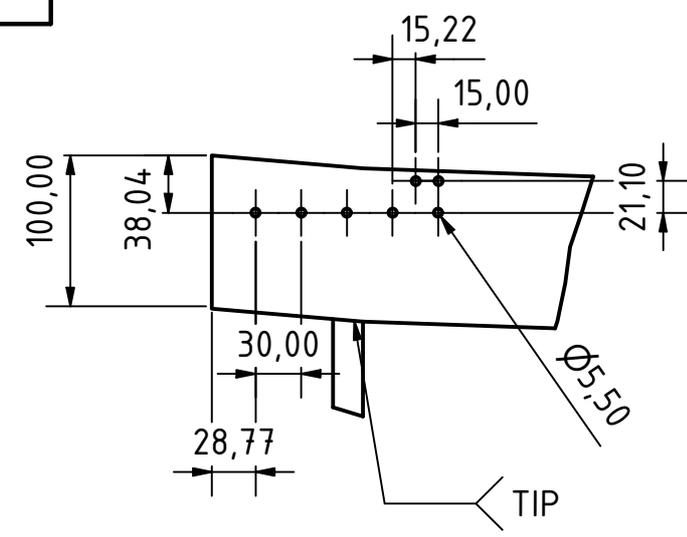


				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
					N/D		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN POSICIÓN ZONA DE ALINEACIÓN
				DIB	2/3/2023	J. Baque	
				REV	2/3/2023	C. Merchan	
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo	
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NUMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-105	
						SUSTITUYE A: 	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				





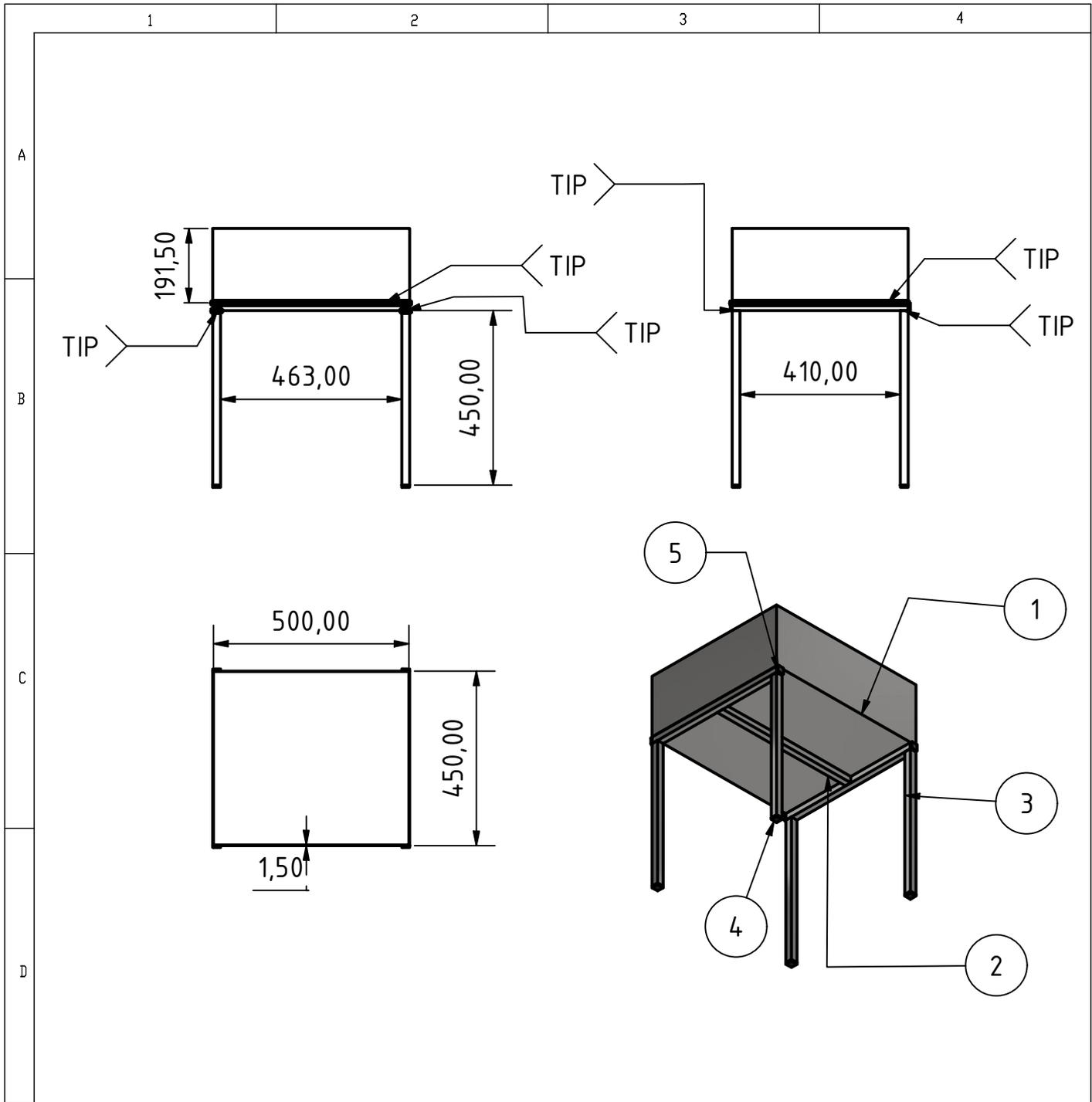
Detalle D
(1 : 5)



NOTAS:
 TIP EQUIVALE A SOLDADURA TÍPICA DE ACERO INOXIDABLE
 TOBOGÁN MANUFACTURADO CON DOBLADO DE PLANCHAS

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tobogán principal
2	2	Patas de 5grds
3	2	Patas de 2grds
4	2	Entrepatas 160mm
5	4	Patas Antivibración

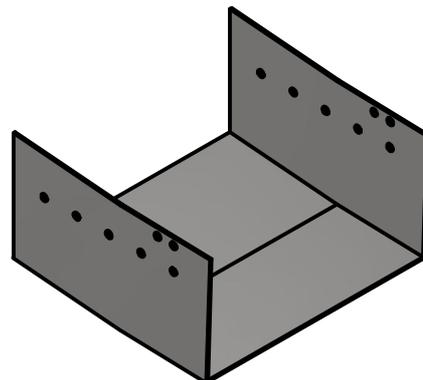
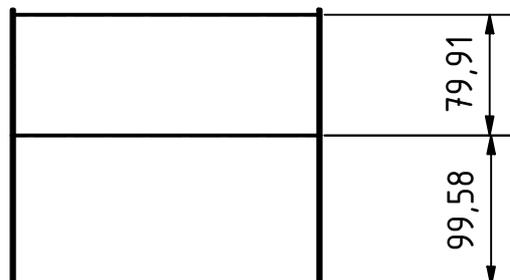
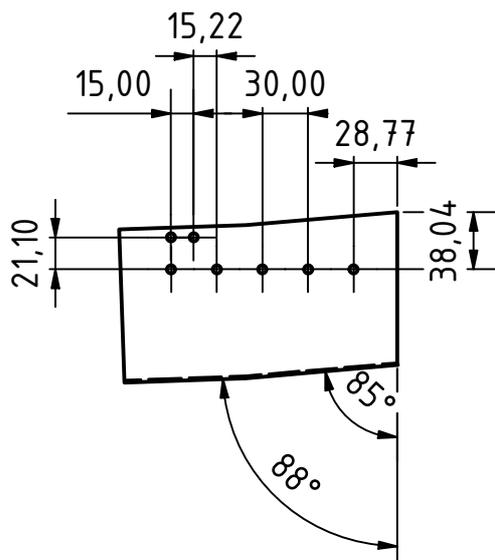
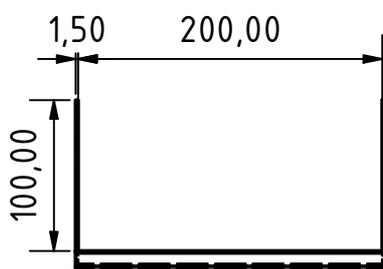
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS DATAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: GENERAL: 0,12 ANGULAR: 0,12	PESO N/D	MATERIALES TUBO CUADRADO DE 20X20MM DE 0,75MM DE ESPESOR Y PLANCHA DE 1,5MM DE ACERO INOXIDABLE 304	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB 2/3/2023	J. Baque	TOBOGÁN PRINCIPAL	1 : 20
				REV 2/3/2023	C. Merchan		
				APROV 2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-201	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



NOTA:
 GAVETA MANUFACTURADA CON PROCESO DE DOBLADO
 TIP EQUIVALE A SOLDADURA TÍPICA DE ACERO INOXIDABLE

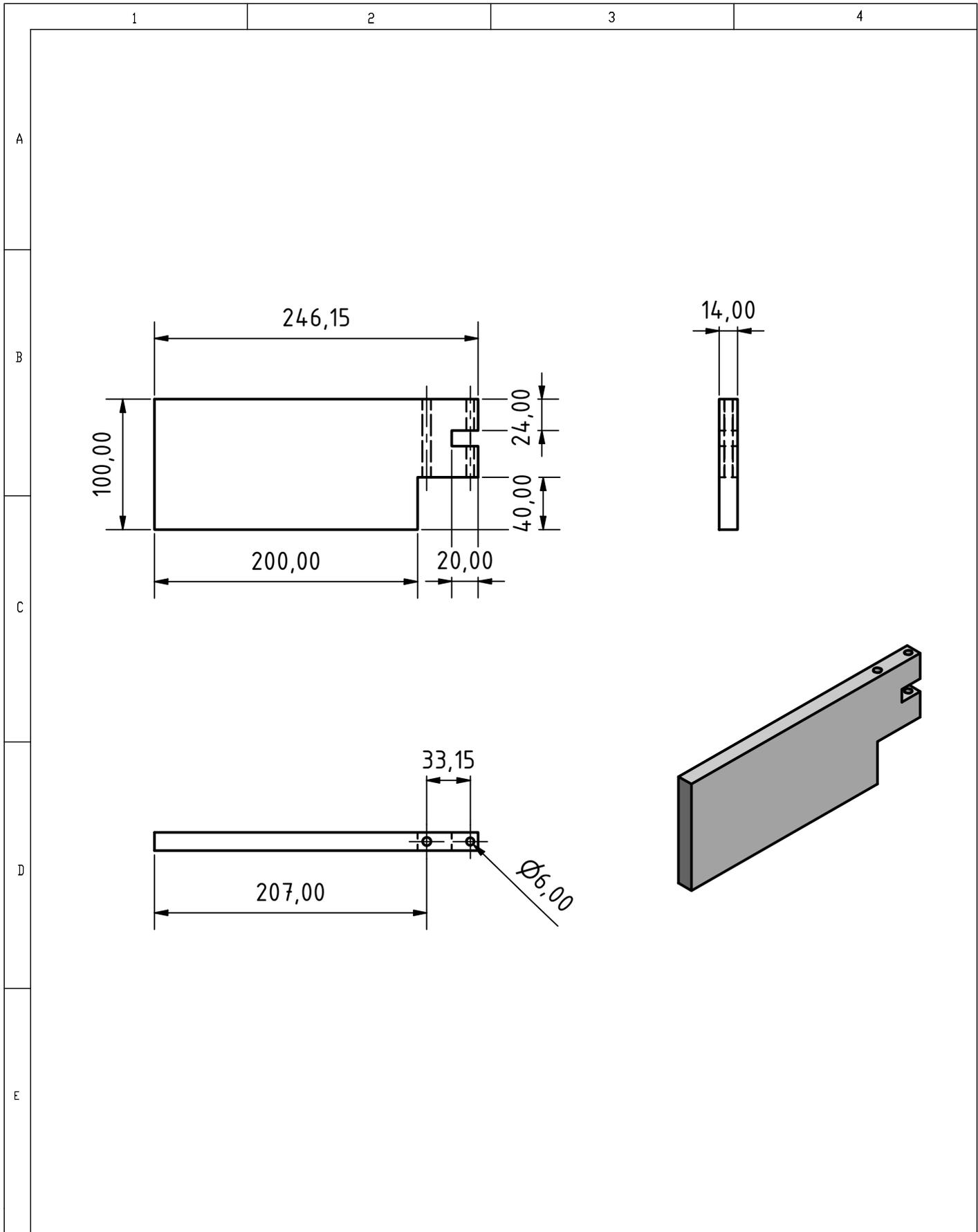
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Gaveta
2	1	Tubo de 463mm
3	6	Tubo de 450mm
4	4	Patas Antivibración
5	4	Protección de Filos

				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: 10 TOLERANCIAS: ANGULAR: 0,02		PESO N/D		MATERIALES TUBO CUADRADO 20 MM X 20 MM DE ESPESOR DE 0,75 MM Y PLANCHA DE 1,5MM DE ESPESOR DE ACERO INOXIDABLE 304		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN			ESCALA	
				DIB	2/3/2023	J. Baque	GAVETA			1 : 15
				REV	2/3/2023	C. Merchan				
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo				
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			NUMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-202			
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A:			

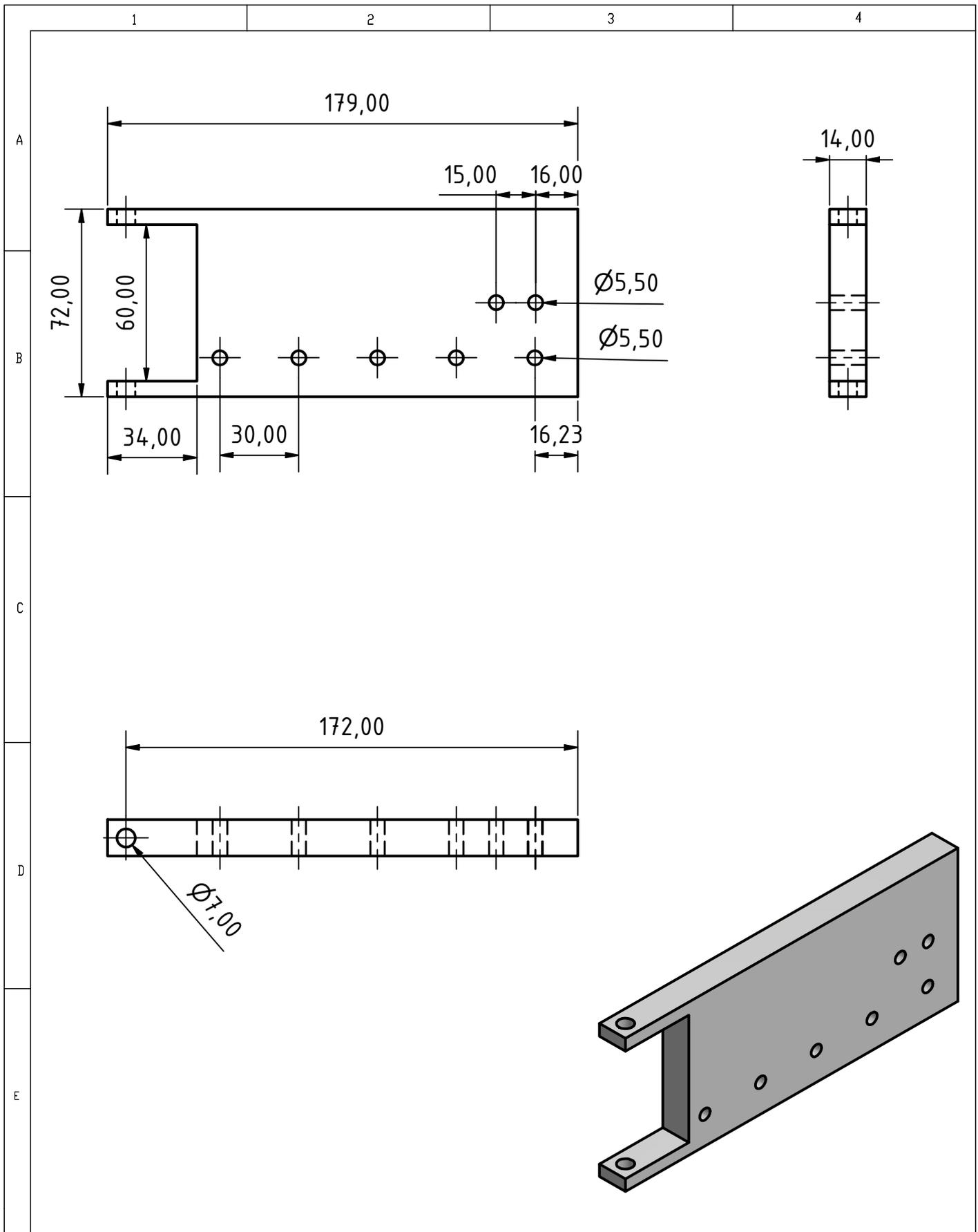


NOTA:
PROCESO DE DOBLADO PARA MANUFACTURA DE LA PIEZA

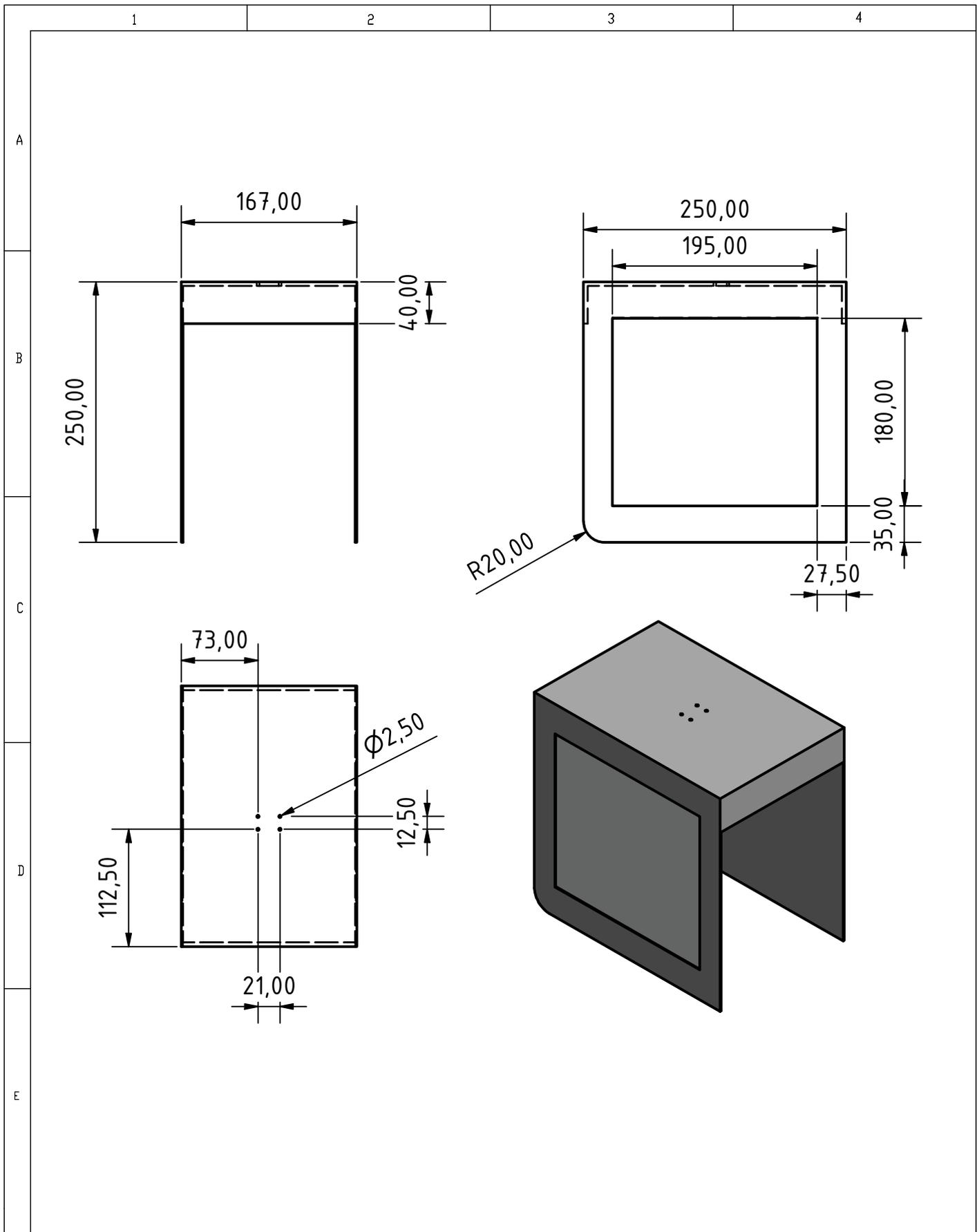
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N° TOLERANCIAS: LINEAL: 0,10 ANGULAR: 0,02	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 2MM DE ESPESOR	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN TOBOGÁN SECUNDARIO	ESCALA 1 : 5
			DIB	2/3/2023	J. Baque		
			REV	2/3/2023	C. Merchan		
			APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-203	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



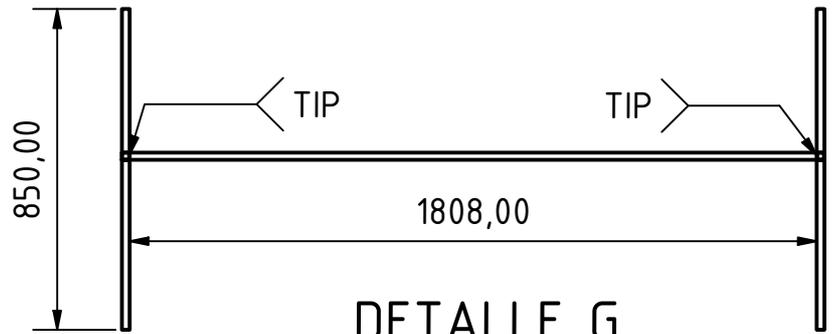
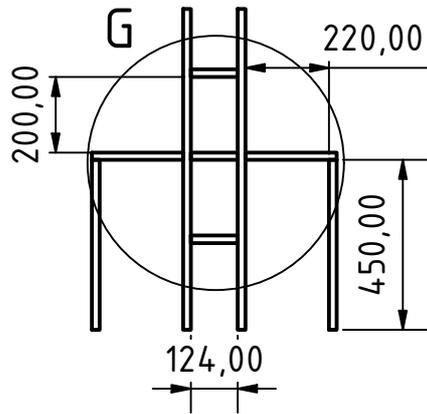
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS LINEAS: 0/02 ANGULAR: 0/02	PESO N/D	MATERIALES Plástico ABS (Elix Polymers M545TF- Para alimentos)	
				FECHA DIB 2/3/2023 REV 2/3/2023 APROV 2/3/2023	NOMBRE J. Baque C. Merchan Ph.D. Fajardo	DENOMINACIÓN BRAZO	ESCALA 1 : 4
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-204	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



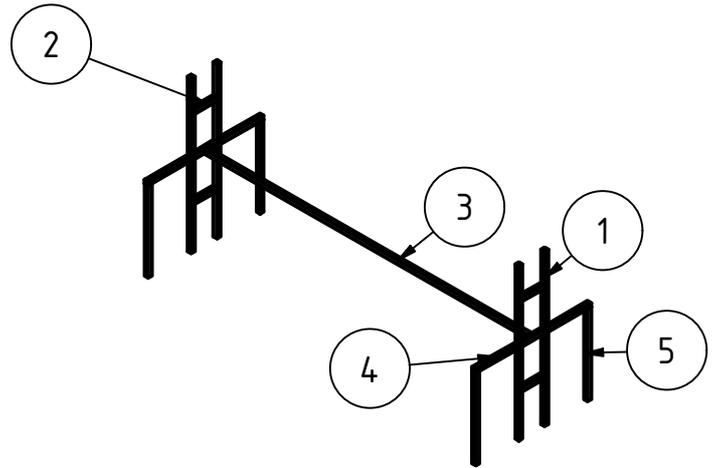
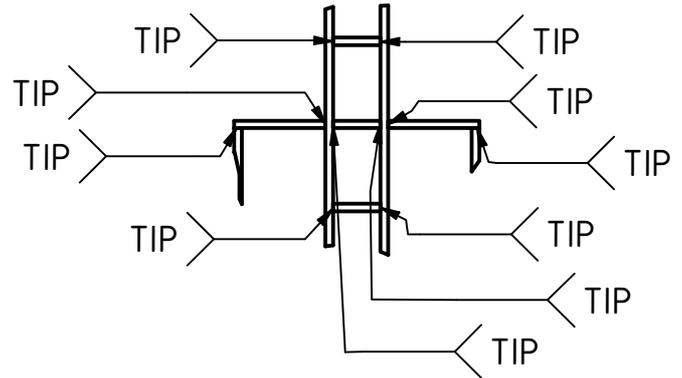
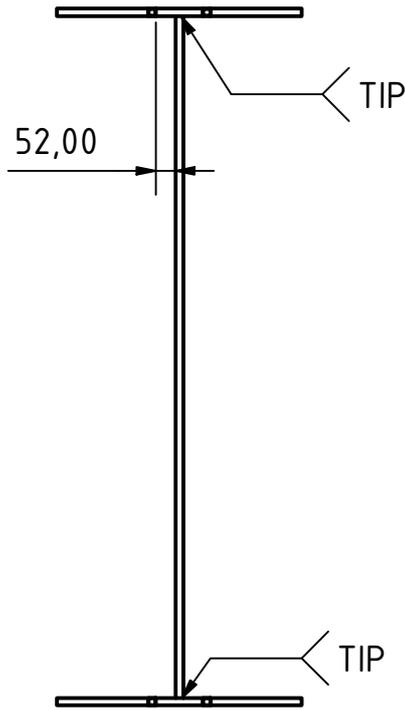
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAS: H12 ANGULOS: R40	PESO N/D	MATERIALES Plástico ABS (Elix Polymers M545TF- Para alimentos)			
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN		ESCALA	
				DIB	2/3/2023	J. Baque	SOPORTE DE BRAZO		1 : 2
				REV	2/3/2023	C. Merchan			
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo			
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			NUMERO DE DIBUJO DIAKONÍA-205		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A:		



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: NO TOLERANCIAS: LINEAL: M2 ANGULAR: D12	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 1.5MM	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN CÁMARA	ESCALA 1 : 5
			DIB	2/3/2023	J. Baque		
			REV	2/3/2023	C. Merchan		
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo	
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-206	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



DETALLE G
(1 : 20)

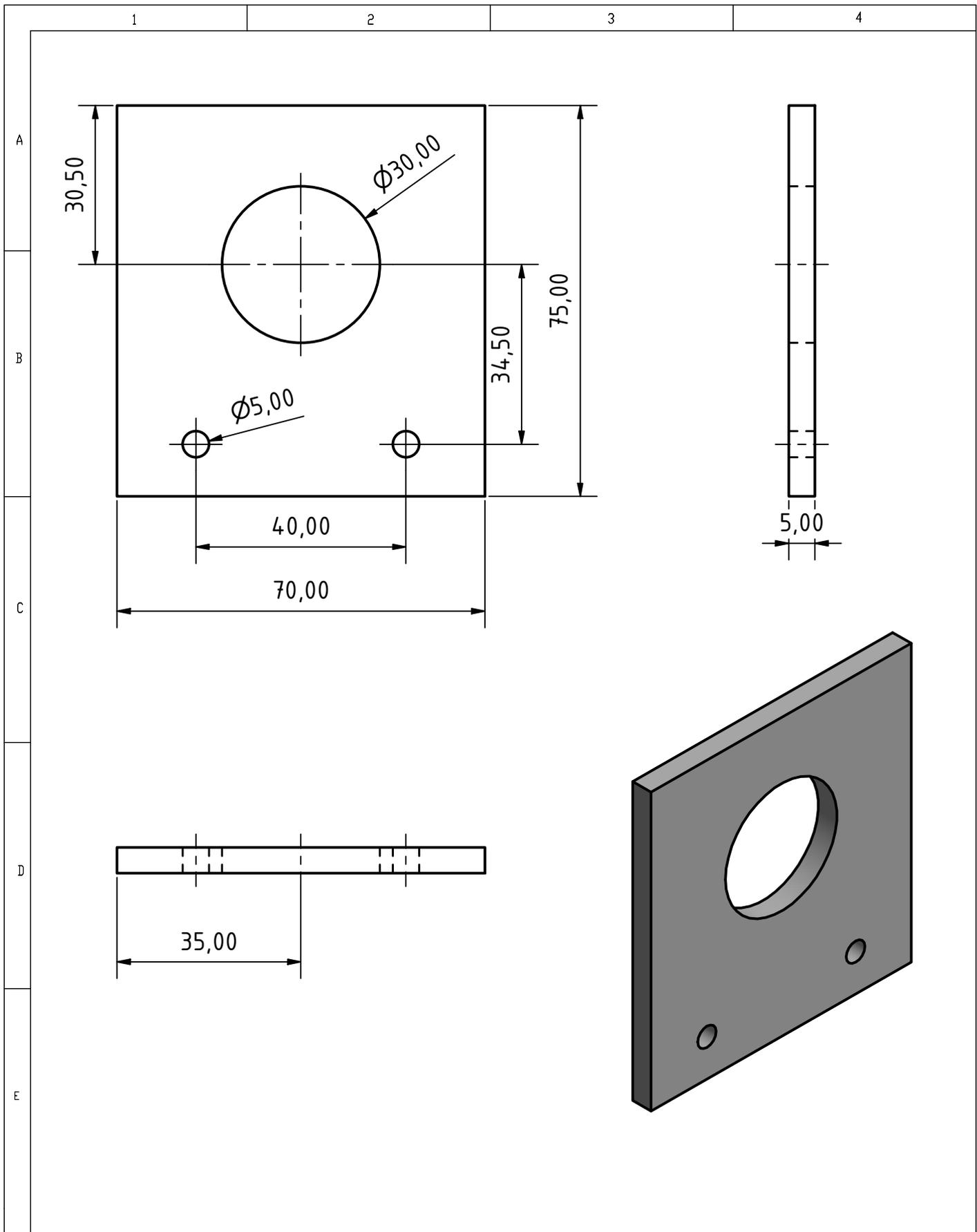


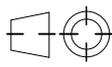
NOTA: TIP EQUIVALE A SOLDADURA TÍPICA PARA ACERO INOXIDABLE

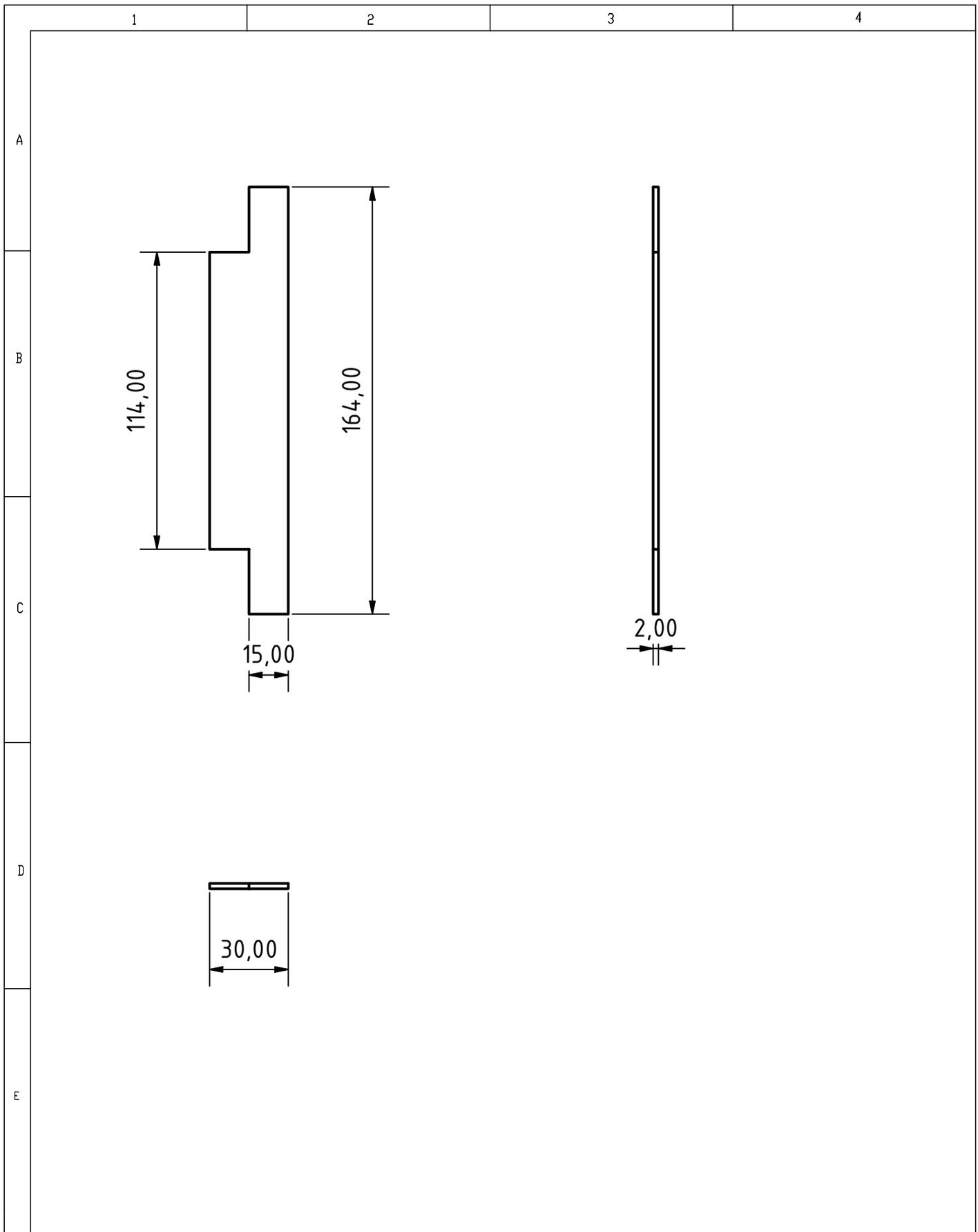
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	4	Patas 700 mm
2	6	Entrepatas 124 mm
3	1	Tubo 1808mm
4	4	Soporte 440mm
5	4	Soporte 450mm

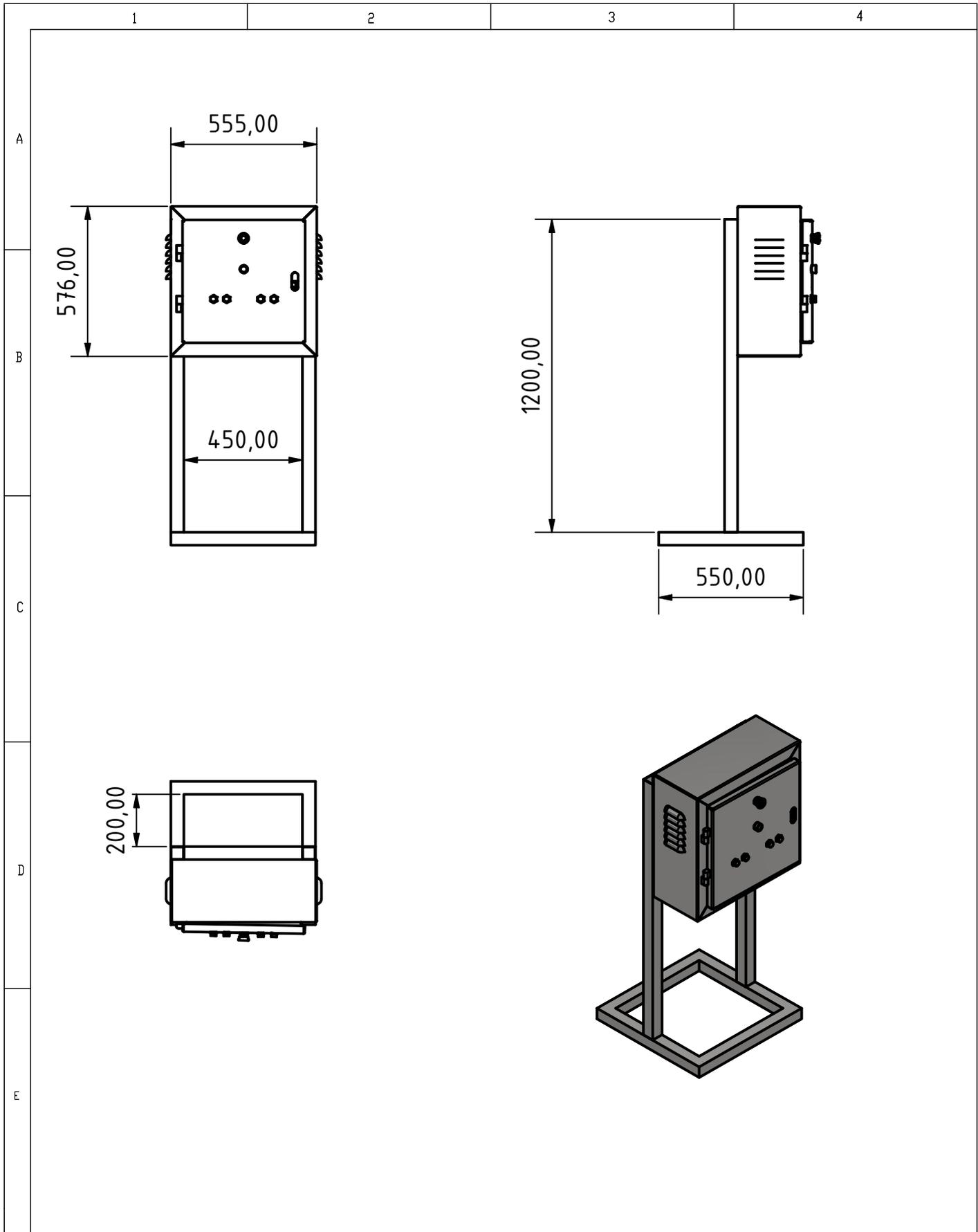
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: ANGULAR: 0,02	PESO N/D	MATERIALES TUBO CUADRADO DE 20X20MM DE ESPESOR DE 0.75MM DE ACERO INOXIDABLE 304	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB 2/3/2023	J. Baque	ESTRUCTURA DE BANDA TRANSPORTADORA DE 2000MM	1 : 20
				REV 2/3/2023	C. Merchan		
				APROV 2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-207	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



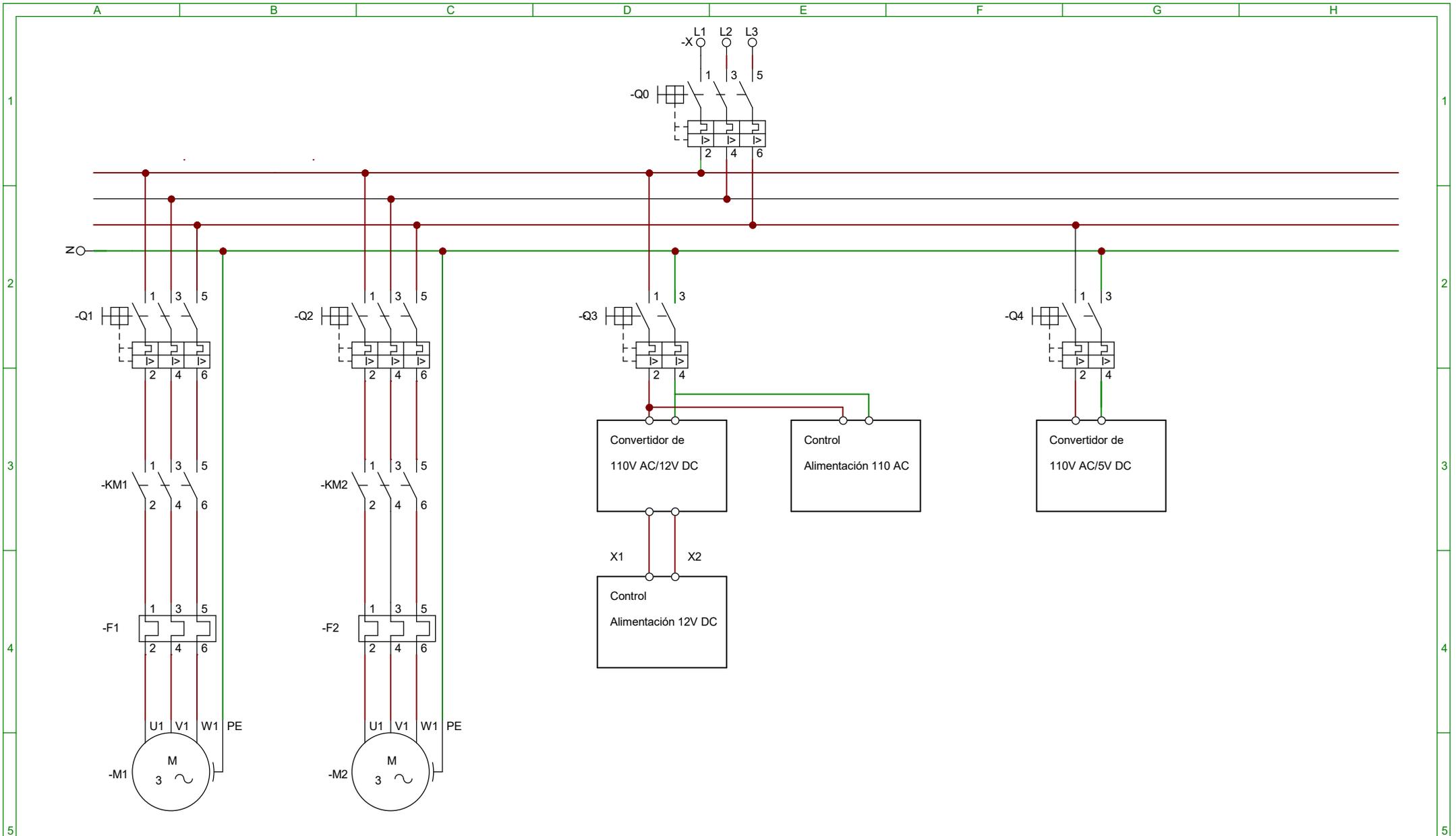
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: h9 ANGULAR: h12	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 5MM		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN SOPORTE DE SENSOR	ESCALA 1 : 1
				DIB	2/3/2023	J. Baque		
				REV	2/3/2023	C. Merchan		
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NUMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-208		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:				



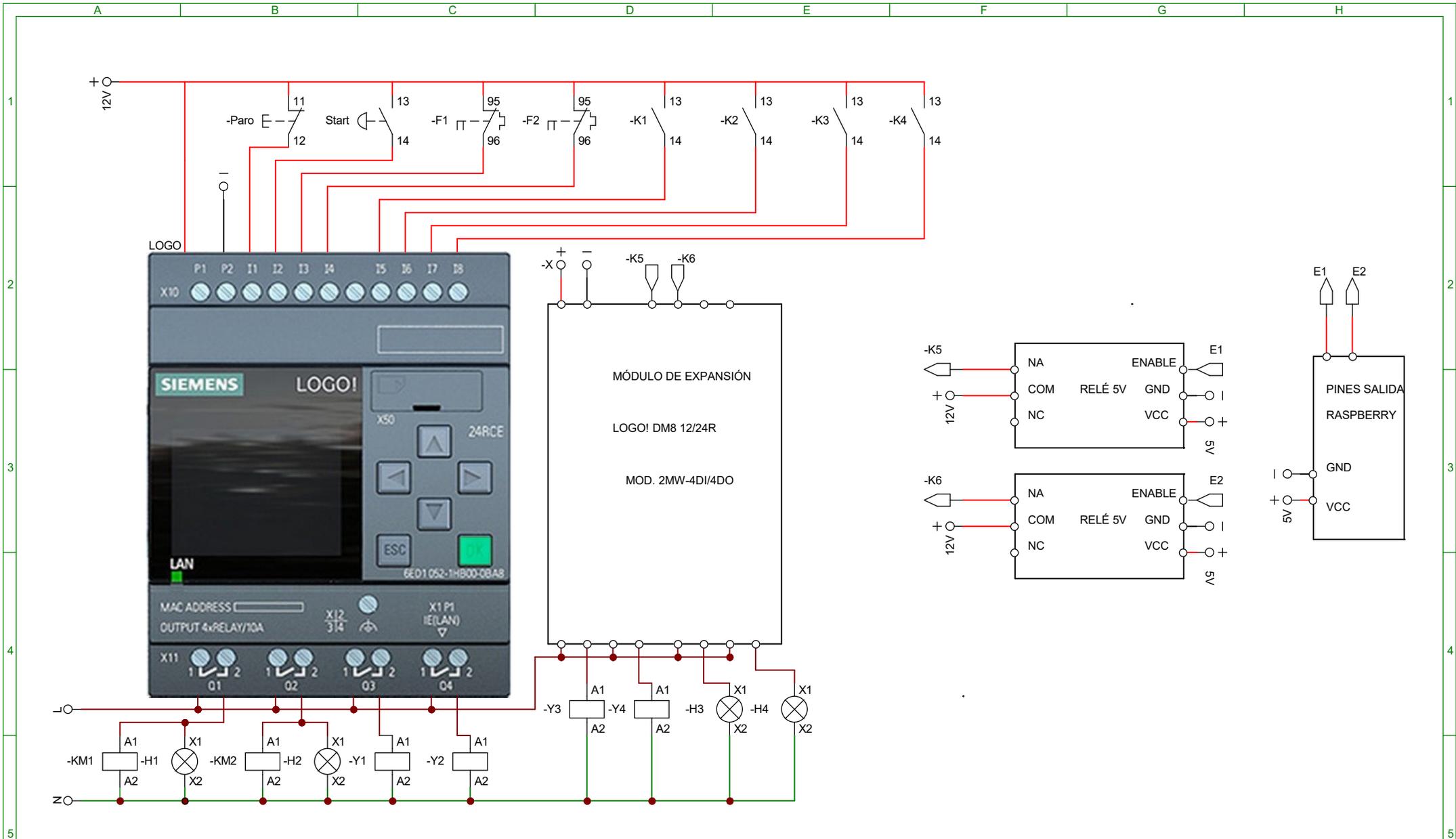
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: N7 TOLERANCIAS: LINEAL: G6 ANGULAR: G6	PESO N/D	MATERIALES PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 304 DE 2MM	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN PISILLO ENTRE BANDAS	ESCALA 1 : 2
			DIB	2/3/2023	J. Baque		
			REV	2/3/2023	C. Merchan		
			APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo		
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		NÚMERO DE DIBUJO DIAGONÍA-300	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



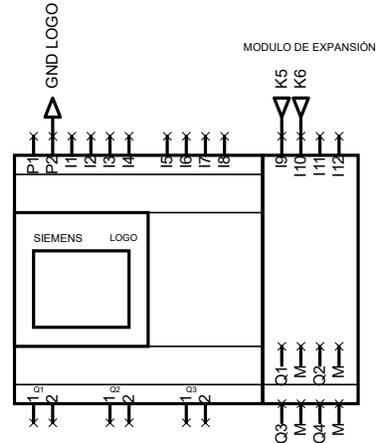
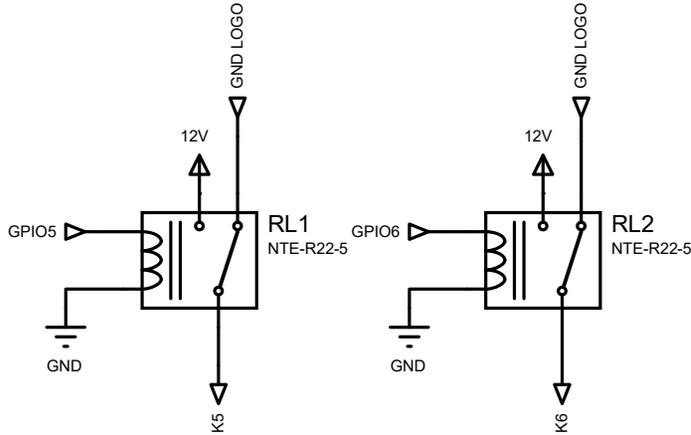
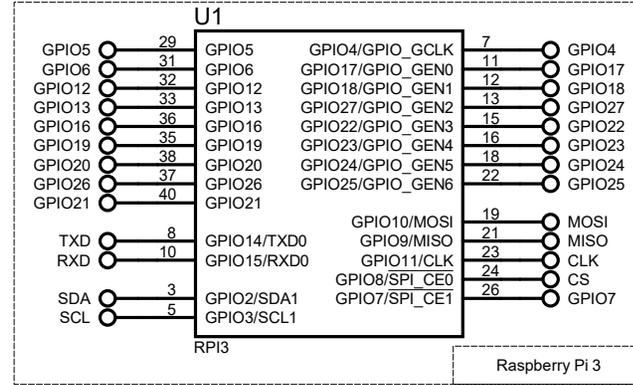
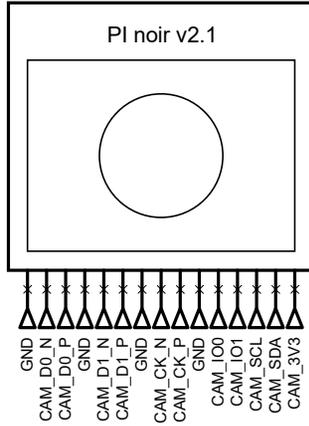
				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
					N/D			
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	
				DIB	2/3/2023	J. Baque		
				REV	2/3/2023	C. Merchan		
				APROV	2/3/2023	PhD. Fajardo	PANEL DE CONTROL	
				ESPOL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				ESCALA
							NÚMERO DE DIBUJO	1 : 20
							DIAGONIA-400	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUYE A:	



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 10-Dec-2022	Núm: DIAKONÍA-500
Dibujado		J.B. C.M.		DIAKONÍA-ESPOL	DIAGRAMA DE FUERZA	Archivo:	
Comprobado		M.F.					



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 13-Dec-2022	Núm: DIAKONÍA-501
Dibujado		J.B. - C.M.		DIAKONÍA-ESPOL	DIAGRAMA DE CONTROL	Archivo:	
Comprobado		M.F.					



TÍTULO DEL DISEÑO:
Conexión Raspberry - PLC Logo

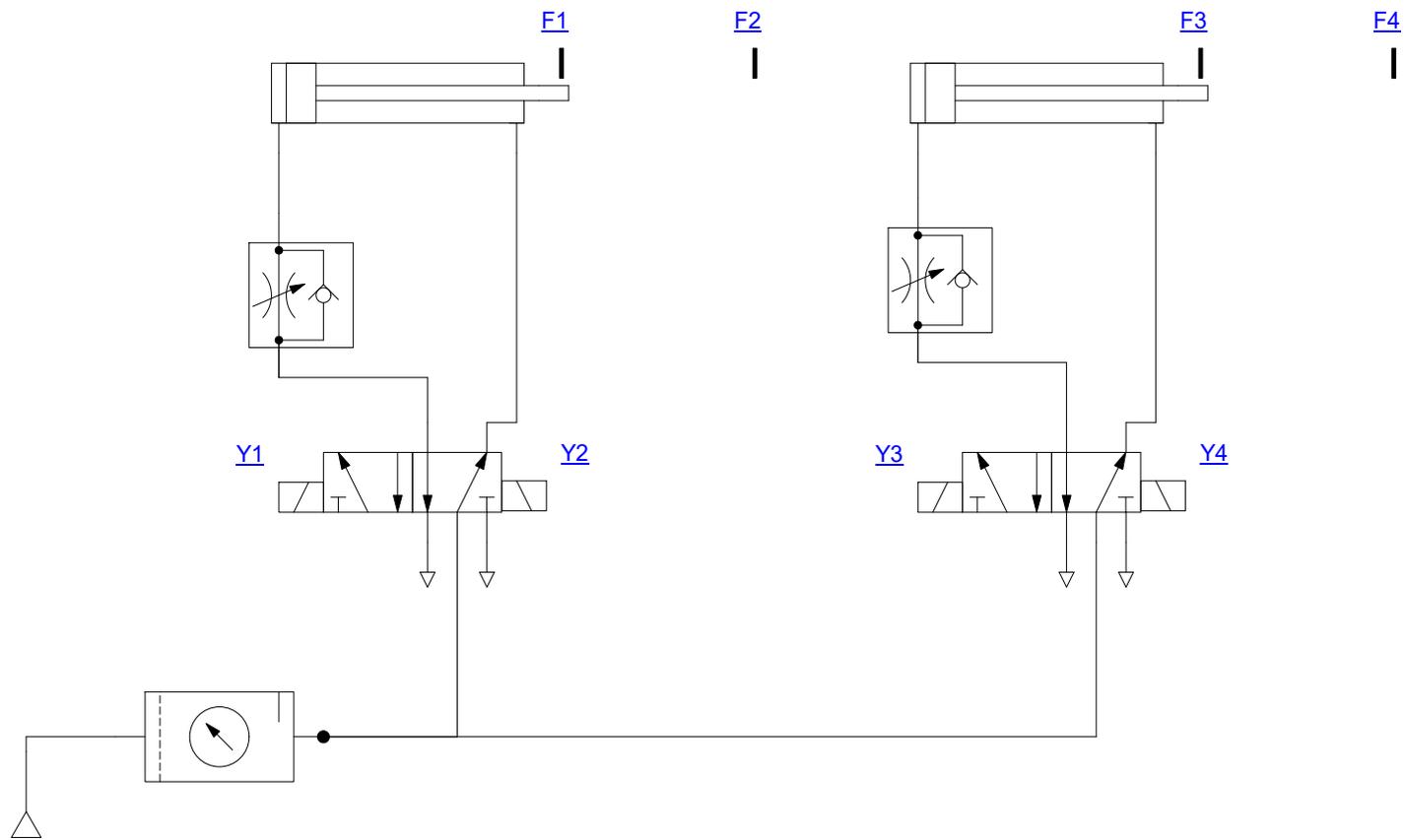
AUTORES: Johnny Baque - Carla Merchan

REVISADO POR:

FECHA: 4/2/2023

NUMERACIÓN:
DIAGONÍA - 502

ESPOL



AUTOR:
C. MERCHAN - J. BAQUE

REVISADO:
PhD. MARCELO FAJARDO

ENTIDAD:
DIAKONÍA-ESPOL

TÍTULO:
DIAGRAMA NEUMÁTICO

NÚMERO:
DIAKONÍA-600