



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“MÁQUINA CLASIFICADORA DE MANZANAS PARA
PRODUCTORES DE PEQUEÑA ESCALA”**

Trabajo de grado previo a la obtención de título de Ingeniero en Mecatrónica

Línea de investigación: Prototipos Industriales

Autor:

Sr. Borys Darío Ledesma Jurado

Director:

PhD. Brizeida Nohemi Gámez Aparicio

Asesor:

PhD. David Alberto Ojeda Peña

Ibarra, junio de 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1725175770		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ledesma Jurado Borys Darío		
DIRECCIÓN:	Jardines de Odila, Ibarra – Ecuador		
EMAIL:	bdledesmaj@utn.edu.ec borysledesma@outlook.com		
TELÉFONO FIJO:	02 518 0891	TELÉFONO MÓVIL:	096 401 2054

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Máquina clasificadora de manzanas para productores de pequeña escala
AUTOR:	Borys Ledesma
FECHA: DD/MM/AAAA	23/06/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Brizeida Gámez

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En Ibarra, a los 23 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR:



Nombre: Borys Ledesma



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 23 de junio de 2025

PhD. Brizeida Nohemi Gámez Aparicio

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

C.C.: 1758387383



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “MÁQUINA CLASIFICADORA DE MANZANAS PARA PRODUCTORES DE PEQUEÑA ESCALA” elaborado por BORYS DARÍO LEDESMA JURADO, previo a la obtención del título de INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f)

PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

C.C.: 1758387383

(f)

PhD. David Alberto Ojeda Peña

C.C.: 1757898489

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo cariño y gratitud a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en este proceso académico.

A mi madre Silvia, por su amor incondicional, su fortaleza y su fe constante en mí, incluso en los momentos más difíciles. Su apoyo emocional, sus consejos y su ejemplo de perseverancia han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante y nunca rendirme.

A mi familia, por brindarme siempre un ambiente de comprensión y respeto. Gracias por su paciencia y por entender las largas horas de estudio y trabajo dedicadas a este proyecto.

A mis amigos y compañeros de carrera, por su disposición a colaborar, compartir ideas y aprender juntos. A mi novia Anahis, por su apoyo incondicional en los momentos más críticos de la carrera, y por incluirme en su hogar cuando más lo necesitaba.

Este logro no es solo mío, sino de quienes han estado a mi lado con palabras de ánimo, gestos sinceros y apoyo incondicional. A todos ustedes, les dedico con gratitud este esfuerzo convertido en realidad.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los docentes y mentores que hicieron posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi directora de tesis, Brizeida Gámez, por su valiosa orientación, compromiso y paciencia durante cada etapa del desarrollo. Su experiencia, criterio técnico y disposición para resolver dudas fueron clave para lograr que este trabajo alcanzara sus objetivos.

Agradezco a mi asesor de tesis, David Ojeda, por ser mi mentor durante todo el proceso de formación académica, Su carisma y entrega a su profesión de docente fue fundamental para el desarrollo de mis habilidades como ingeniero y como persona.

Agradezco también a los docentes del programa de Ingeniería Mecatrónica, quienes a lo largo de mi formación universitaria compartieron sus conocimientos con pasión y dedicación, y sentaron las bases que me permitieron abordar este desafío de manera profesional.

Por último, agradezco a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones y laboratorios. Formar parte de sus estudiantes me permitió desarrollarme en distintos ambientes sociales y culturales.

RESUMEN

Los productores de manzanas de pequeña escala utilizan métodos de clasificación tradicionales, generalmente utilizando sus sentidos, para determinar la categoría a la que pertenece cada manzana. Al clasificar las frutas usando estos métodos, suelen ocurrir errores de apreciación. Esto perjudica a los productores, ya que no pueden ingresar sus productos en supermercados porque no cumplen con los requerimientos establecidos. Dado lo anterior, se planteó una solución que consiste en el diseño y construcción de un prototipo de una máquina clasificadora de manzanas, basada en los requerimientos de los productores a pequeña escala. El sistema de clasificación de manzanas se determinó a partir de una selección entre tres alternativas de solución, a través de una ponderación de criterios. Posteriormente, se usó un software de diseño asistido por computadora para crear un modelo en tres dimensiones de la máquina. Estos modelos se emplearon también para la manufactura de los componentes, a través de tecnología de impresión 3D. Además, se diseñó un sistema de control que contiene una placa de circuito impreso con todos los componentes electrónicos y un microcontrolador con un programa escrito en Python para el funcionamiento automático de la máquina. Como resultado se obtuvo un prototipo funcional de la máquina para clasificar manzanas, en la cual el operario tiene que introducir una manzana en la cápsula que tiene la celda de carga, y esta ubica la manzana en la categoría correspondiente. Finalmente, se validó su funcionamiento haciendo pruebas con manzanas de diferentes pesos.

Palabras clave: Clasificación de Manzanas, Celda de Carga, Impresión 3D.

ABSTRACT

Small-scale apple producers use traditional sorting methods, usually relying on their senses to determine the category of each apple. When sorting fruit this way, measurements errors often occur. This negatively affects producers, as they cannot sell their products to supermarkets because they do not meet the required standards. To solve this issue, a solution was proposed: designing and building a prototype of an apple-sorting machine based on the needs of small-scale producers. The sorting system was selected from three possible solutions using a weighted criteria evaluation. Then, computer-aided design (CAD) software was used to create a 3D model of the machine. These models were also used for manufacturing components with 3D printing technology. Additionally, a control system was designed, including a printed circuit board (PCB) with all electronic components and a microcontroller programmed in Python for the machine's automated operation. As a result, a functional prototype was developed. The operator places an apple into a capsule containing a load cell, which then categorizes the apple accordingly. Finally, the machine's performance was validated by testing it with apples of different weights.

Keywords: Apple-Sorting Machine, Load Cell, 3D Printing.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos.....	1
1.3. Alcance	2
1.4. Justificación.....	2
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Clasificación de frutas en la agroindustria	7
2.2.2. Categorías de peso en manzanas	7
2.2.3. Principios de medición de peso	8
2.2.4. Microcontroladores y placas de desarrollo.....	10

2.2.4.1. Placas de desarrollo	11
2.2.4.2. Aplicaciones en la clasificación de frutas por peso	12
2.2.5. Actuadores eléctricos.....	12
2.2.5.1. Tipos de actuadores eléctricos	12
2.2.5.2. Aplicaciones en la clasificación de frutas	13
2.2.6. Automatización y control en sistemas mecatrónicos.....	13
2.2.7. Manufactura Aditiva para prototipado	14
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	17
3.1. Enfoques y tipos de investigación	17
3.2. Diseño de la investigación.....	17
3.2.1. Fase 1: adquisición de información.....	18
3.2.2. Fase 2: Diseño mecánico, electrónico y de control.....	18
3.2.3. Fase 3: construcción del prototipo	18
3.2.4. Fase 4: pruebas de funcionamiento	19
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS	20
4.1. Especificaciones de los sistemas	20
4.1.1. Sistema de clasificación	20
4.1.2. Sistema de control	20
4.1.3. Estructura mecánica	20
4.2. Alternativas de solución	21
4.2.1. Planteamiento de alternativas de solución	21
4.2.1.1. Primera alternativa de solución	21
4.2.1.2. Segunda alternativa de solución.....	24
4.2.1.3. Tercera alternativa de solución.....	27
4.2.2. Ponderación de criterios	30
4.3. Especificaciones de la solución propuesta	31
4.3.1. Microcontrolador Raspberry Pi Pico.....	31

4.3.2. Pantalla LCD 16x2	32
4.3.3. Celda de carga	34
4.3.4. Servo Motor MG995	35
4.3.5. Adaptador de corriente 5V	37
4.3.6. Buzzer: dispositivo de generación de sonido	37
4.3.7. Pulsadores.....	38
4.3.8. Cálculos de consumo de corriente.....	38
4.4. Diseño y manufactura del prototipo	40
4.4.1. Diseño del mecanismo de clasificación	40
4.4.2. Manufactura del sistema de clasificación.....	44
4.4.3. Diseño de la estructura mecánica	45
4.4.3.1. Análisis estático de la estructura	45
4.4.3.2. Disposición de las gavetas.....	47
4.4.4. Manufactura de la estructura	47
4.4.5. Diseño de la placa de circuito impreso.....	49
4.4.6. Fabricación de la placa de circuito impreso PCB	50
4.5. Software de control	53
4.5.1. Diagrama de flujo del programa.....	53
4.5.2. Descripción de las librerías	54
4.6. Pruebas de funcionamiento	54
4.6.1. Metodología de prueba.....	54
4.6.2. Criterios de evaluación.....	54
4.6.3. Resultado de las pruebas	55
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS	58
ANEXOS.....	61

A. LINEAS DE PROGRAMACIÓN	61
main.py	61
category.py	60
hx711_gpio.py	60
lcd_api.py	61
pico_i2c_lcd.py	62
B. PLANOS MECÁNICOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 2.1	Placa de clasificación, máquina para clasificar limones.....	4
Fig 2.2	Descripción de etapas para el proceso de clasificación por peso.....	5
Fig 2.3	Máquina clasificadora con estructura en forma circular.....	6
Fig 2.4	Principio de funcionamiento de una celda de carga.....	9
Fig 2.5	Configuración de puente de Wheatstone.....	9
Fig 2.6	Periféricos de Entrada/Salida de un microcontrolador.....	11
Fig 2.7	Placa de desarrollo Raspberry Pi Pico.....	12
Fig 2.8	Ejemplo de actuador lineal.....	13
Fig 2.9	Ejemplo de actuador rotativo.....	13
Fig 2.10	Manufactura aditiva (impresión 3D).....	15
Fig 2.11	Posprocesamiento de piezas impresas en 3D.....	16
Fig 4.1	Diseño de la cápsula para la primera alternativa de solución.....	21
Fig 4.2	Motor paso a paso 28BYJ-48 para rotación alrededor del eje x.....	22
Fig 4.3	Motor paso a paso Nema 17 para rotación del eje y.....	22
Fig 4.4	Celda de carga ubicada de forma longitudinal.....	22
Fig 4.5	Ensamble del prototipo Mk I del sistema de clasificación (vista dimétrica).....	23
Fig 4.6	Vista isométrica explosionada de la primera alternativa.....	23
Fig 4.7	Diseño de la cápsula para la segunda alternativa de solución.....	24
Fig 4.8	Motor paso a paso Nema 17 para rotación alrededor del eje x.....	25
Fig 4.9	Motor paso a paso Nema 17 para rotación alrededor del eje y.....	25
Fig 4.10	Celda de carga ubicada de forma transversal.....	25
Fig 4.11	Ensamble del prototipo Mk II del sistema de clasificación (vista dimétrica).....	26
Fig 4.12	Vista isométrica explosionada de la segunda alternativa.....	26

Fig 4.13 Diseño de la cápsula para la tercera alternativa de solución.....	27
Fig 4.14 Servo motor para rotación alrededor del eje y.....	28
Fig 4.15 Celda de carga ubicada de forma transversal, junto al servo motor.....	28
Fig 4.16 Ensamble del prototipo Mk III del sistema de clasificación (vista dimétrica).....	29
Fig 4.17 Vista isométrica explosionada de la tercera alternativa.....	29
Fig 4.18 Microcontrolador Raspberry Pi Pico.....	31
Fig 4.19 Pantalla LCD 16x2.....	32
Fig 4.20 Módulo I2C.....	32
Fig 4.21 Celda de carga (1kg).....	34
Fig 4.22 Módulo amplificador XFW-HX711.....	34
Fig 4.23 Servo motor MG995.....	36
Fig 4.24 Conexiones del servo motor MG995.....	36
Fig 4.25 Adaptador de corriente 5V.....	37
Fig 4.26 Buzzer Activo.....	38
Fig 4.27 Pulsador normalmente abierto.....	38
Fig 4.28 Grados de Libertad de la cápsula de pesaje.....	40
Fig 4.29 Extremo izquierdo y extremo derecho de la cápsula.....	41
Fig 4.30 Soportes laterales (vista frontal) y ensamble de soporte de la cápsula.....	41
Fig 4.31 Ducto para el cableado de los componentes internos de la cápsula.....	42
Fig 4.32 Base del soporte de la cápsula que contiene el servo motor.....	42
Fig 4.33 Base del soporte apoyada sobre la estructura metálica.....	42
Fig 4.34 Interfaz de clasificación (vista superior).....	43
Fig 4.35 Interfaz de clasificación (vista isométrica).....	43
Fig 4.36 Sistema de clasificación manufacturado con tecnología de impresión 3D.....	44

Fig 4.37 Diseño de la estructura metálica.....	45
Fig 4.38 Condiciones de contorno y restricción del movimiento de la estructura.....	45
Fig 4.39 Malla sólida para la estructura.....	46
Fig 4.40 Distribución de esfuerzos estáticos y distribución de desplazamientos.....	46
Fig 4.41 Gavetas de manzanas ubicadas en una matriz de 2.2.....	47
Fig 4.42 Tronzadora para cortes de perfiles metálicos.....	47
Fig 4.43 Operación de soldadura MIG para la unión de los tubos.....	48
Fig 4.44 Estructura metálica de la máquina junto con las gavetas.....	48
Fig 4.45 Estructura metálica con recubrimiento de pintura esmaltada.....	48
Fig 4.46 Diseño esquemático del circuito eléctrico.....	49
Fig 4.47 Diseño de la placa de circuito impreso.....	50
Fig 4.48 Negativo del circuito.....	50
Fig 4.49 Lámina de aluminio sobre la placa PCB.....	51
Fig 4.50 Transferencia del tóner a la placa con cobre.....	51
Fig 4.51 Circuito de la PCB en contra luz.....	52
Fig 4.52 Componentes eléctricos del circuito montados en la PCB.....	52
Fig 4.53 Librerías para el software de control.....	53
Fig 4.54 Diagrama de flujo del programa de control.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tolerancias específicas de manzanas en un mismo envase.....	7
Tabla 2.2 Categorías de calidad de manzanas.....	8
Tabla 2.3 Categorías de peso de manzanas.....	9
Tabla 2.4 Tipos de celda de carga.....	10
Tabla 2.5 Componentes de un sistema mecatrónico.....	14
Tabla 2.6 Ventajas de MA para el prototipado.....	15
Tabla 2.7 Familias de manufactura aditiva.....	17
Tabla 4.1 Lista de componentes de la primera alternativa de solución.....	23
Tabla 4.2 Lista de componentes de la segunda alternativa de solución.....	26
Tabla 4.3 Lista de componentes de la tercera alternativa de solución.....	29
Tabla 4.4 Ponderación de criterios de las tres alternativas.....	29
Tabla 4.5 Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi Pico.....	30
Tabla 4.6 Especificaciones técnicas de la pantalla LCD 16x2.....	32
Tabla 4.7 Especificaciones técnicas del módulo I2C.....	32
Tabla 4.8 Especificaciones técnicas de la celda de carga.....	34
Tabla 4.9 Especificaciones técnicas del módulo XFW-HX711.....	34
Tabla 4.10 Especificaciones técnicas del servo motor MG995.....	35
Tabla 4.11 Especificaciones técnicas del adaptador de corriente.....	36
Tabla 4.12 Especificaciones técnicas del buzzer.....	37
Tabla 4.13 Consumo de corriente de los componentes eléctricos.....	38
Tabla 4.14 Resultados del análisis por elementos finitos.....	45
Tabla 4.15 Resultado de la prueba de funcionamiento.....	54

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Ecuador es un país con un clima tropical en el cual se pueden cultivar diferentes tipos de frutos, pero no en todos los casos esta producción satisface la demanda local. Esta es la situación de la manzana que, para satisfacer la demanda nacional, el país necesita importar este fruto. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en el 2013, el país produjo el 14% de manzanas de toda la demanda local. Los principales países de donde se importan estas frutas, a más de Chile, son EE. UU., España y Argentina [1].

Los productores de manzana de pequeña escala necesitan optimizar su producción para poder aumentar la oferta y posicionarse en el mercado local. En términos generales, el nivel tecnológico del sector agrícola ecuatoriano es bajo. Una minoría de productores capitalizados utilizan equipos extranjeros de alta calidad, y llevan a cabo procesos de producción y distribución sofisticados, mientras que, por otro lado, la gran mayoría de agricultores familiares cuentan con una nula o mínima tecnología [2].

Considerando el panorama general, la rentabilidad de los cultivos de pequeña escala mejorará, en cuanto se implementen soluciones creativas para satisfacer necesidades específicas de la industria agrícola. Estas soluciones son el resultado de la aplicación de conocimientos en ciencia y tecnología.

Al implementar una solución de ingeniería en el proceso de clasificación de los cultivos de manzana, los productores disminuirán los costos al reducir el personal utilizado para esta tarea, además de agilizar el proceso reduciendo el tiempo empleado para la post cosecha.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una máquina clasificadora de manzanas para productores de pequeña escala.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos, teniendo en cuenta las necesidades específicas de los productores de pequeña escala.
- Diseñar la máquina clasificadora de manzanas en base a los requerimientos identificados.

- Construir el prototipo diseñado utilizando materiales disponibles en el mercado local, así como componentes prefabricados y de uso genérico.
- Validar el funcionamiento del prototipo.

1.3. Alcance

Teniendo en cuenta los requerimientos, en este proyecto se pretende obtener el diseño de una máquina que clasifique a las manzanas de acuerdo con los parámetros establecidos por los productores de pequeña escala. Posteriormente, se llevará a cabo la construcción de un prototipo, y se realizará varias pruebas de funcionamiento. Finalmente, se realizará una prueba de funcionamiento del prototipo para verificar si cumple con el propósito de diseño y los requerimientos de los productores.

1.4. Justificación

Tradicionalmente, la clasificación de frutos se ha realizado de manera manual, usando solamente los sentidos de la vista y el tacto para determinar la categoría a la que pertenece el fruto. Los resultados de este método de clasificación son aceptables para 4 clientes minoristas, pero para el caso de los supermercados no son óptimos ni precisos. Esto debido a los errores de apreciación y la ambigüedad que existe al clasificar.

Las empresas enfocadas en los cultivos a gran escala cuentan con máquinas que agilizan el proceso para clasificación de los frutos. Mientras que, para los cultivos de pequeña escala, la solución es contratar a personas que se encarguen de este proceso. Al implementar una máquina en aquellos cultivos en los que se utiliza mano de obra, se reducirán los gastos destinados para la post cosecha y se minimizarán los errores al clasificar los frutos de manzana. Con el uso de esta máquina, de costo relativamente bajo, se podrá realizar el proceso de clasificación de manera rápida y precisa, prescindiendo de la contratación externa de personal encargado para esta actividad. Además, los materiales y los procesos de manufactura asociados al diseño de esta máquina se encuentran disponibles en el mercado local, lo cual hace que sea fácil de replicar.

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

La clasificación de frutas ha sido un proceso que se ha realizado de forma manual y empírica durante muchos años. Pero con el aumento en el tamaño de la producción y la implementación de estándares de calidad que los mercados exigen, los productores han implementado nuevas técnicas haciendo uso de nuevas tecnologías para realizar esta tarea de forma automática, rápida y confiable. En los últimos años se han desarrollado nuevos métodos para la clasificación de frutos, los cuales se describen a continuación.

Se diseñó una máquina clasificadora y contadora de frutos. Se hizo un análisis para la selección del tipo de máquina basándose en las necesidades identificadas en el proceso de postcosecha [3]. Esta máquina cuenta con subsistemas de: alimentación, clasificación y control. Aunque estos subsistemas son comunes en la mayoría de las máquinas clasificadoras, este prototipo está diseñado específicamente para frutos de tomate de árbol.

Asimismo, se ha diseñado una máquina automatizada clasificadora por tamaño y color. A pesar de que el parámetro de clasificación es el de tamaño, esta máquina implementa un sistema de alimentación conformado por una tolva y una banda transportadora que conduce el producto al sistema de clasificación [4].

Asimismo, se propuso una solución de clasificación de aguacates por su peso, en donde su funcionamiento se basa en un subsistema de alimentación, un sistema de vibración y un subsistema de transporte y ordenamiento. Con la incorporación de este sistema semiautomático al proceso de clasificación, se logra reducir el esfuerzo físico, así como también un ahorro de tiempo y costos que demandan la selección manual del producto [5].

Se desarrolló una patente que especifica el diseño de una máquina para clasificar frutos de limón por tamaño. El mecanismo consiste en dos varillas giratorias que giran a la misma velocidad y se encuentran una frente a la otra. Estas varillas giratorias se conforman de una estructura en espiral que contiene una ranura y una cresta, y el ancho de esta ranura aumenta gradualmente. De esta forma, el fruto de limón se mueve a través de esta estructura y pasará por algún agujero, siendo el último el más grande [6].

Asimismo, se desarrolló una máquina para clasificar cebollas usando los parámetros de tamaño y color. El transporte de cebolla se realiza mediante bandas transportadoras y la clasificación se realiza por mallas calibradas de acero. La clasificación por color se hace a través de un panel

que reconoce la imagen, conformado por cuatro cámaras, un sistema LED de iluminación, un procesador, cuatro actuadores y sistema de comunicación inalámbrica. El procesador activa los actuadores con señales inalámbricas solo si la cebolla es defectuosa [4].

Por otro lado, se conoce sobre una máquina clasificadora de cebollas, usando el parámetro de tamaño que consta de un sistema para lavar a las frutas, que contiene rodillos y chorros de agua. A continuación, se encuentra el sistema de clasificación que se forma de un rodillo grande que tiene perforaciones de diferente tamaño y dependiendo el tamaño que tenga la fruta, esta pasa por la perforación correspondiente [7].

Asimismo, se describe el funcionamiento de una máquina para clasificar limones que consta de un dispositivo con una placa de clasificación que se fija en el bastidor (ver Fig. 2.1) y se dispone en la trayectoria de caída después del proceso de lanzamiento de la fruta que se encuentra en mal estado [8].

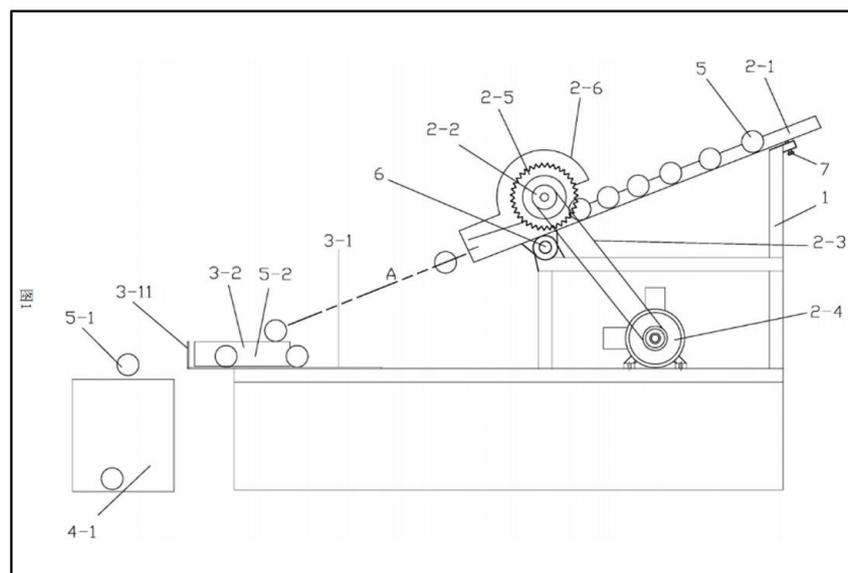


Fig. 2.1 – Placa de clasificación (3-1), máquina para clasificar limones [8].

Similar a la máquina anterior, se desarrolló un sistema para clasificar limones que consiste en una tolva por la cual ingresan los frutos que posteriormente caen a una banda de rodillos que los separa y los transporta uno por uno. Después, los frutos entran en una cámara que se encarga de capturar una imagen del limón y establecer su nivel de madurez y tamaño, Esta cámara envía una señal al controlador y luego a un actuador para enviar al limón al recipiente adecuado al tamaño [9].

Asimismo, se presentó una propuesta sobre el diseño de un sistema de transporte y clasificación por peso de aguacates (ver Fig. 2.2). En él se describe un sistema para el transporte y

clasificación usando el parámetro de peso que está diseñado pensando en que tres personas se encarguen de continuar con el proceso [10].

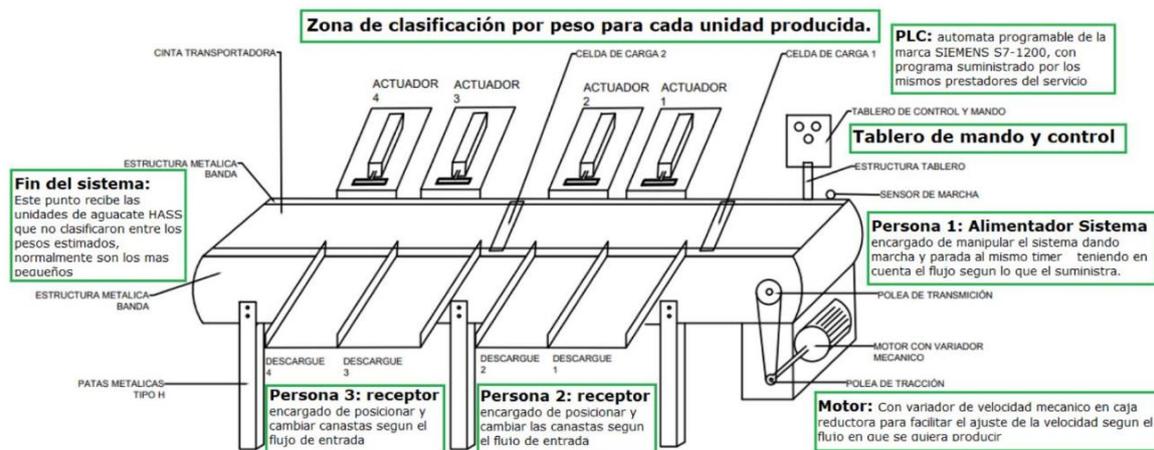


Fig. 2.2 – Descripción de etapas para el proceso de clasificación por peso [10].

Por otro lado, se desarrolló un sistema para una máquina clasificadora de duraznos usando inteligencia artificial. El funcionamiento general de la máquina consiste en una etapa de activación inicial que consiste en un pulsador, posteriormente un sensor detector alineado verticalmente con la cámara detecta la presencia de un fruto. El controlador captura una imagen para analizar su estado, tamaño y forma. Con un motor a pasos se gira el durazno para que la cámara capture el lado posterior en una segunda fotografía. Se usan los datos de las dos imágenes para tomar la decisión de si es apto o no. Si el durazno es apto, se abre una compuerta para permitir que pase a la rampa correspondiente. La información se puede visualizar en una HMI por el operario [11].

Asimismo, se desarrolló una máquina clasificadora de reducidas dimensiones y portátil, que realiza la clasificación en función del peso, calibre y color, y está enfocada para pequeños volúmenes de productos [12]. Esta máquina se caracteriza por una estructura en forma circular que gira con un eje vertical (ver Fig. 2.3). Las cazoletas tienen diferentes posiciones a través de la trayectoria circular que describe, y están condicionadas por una guía perimetral y por los criterios determinados de clasificación.

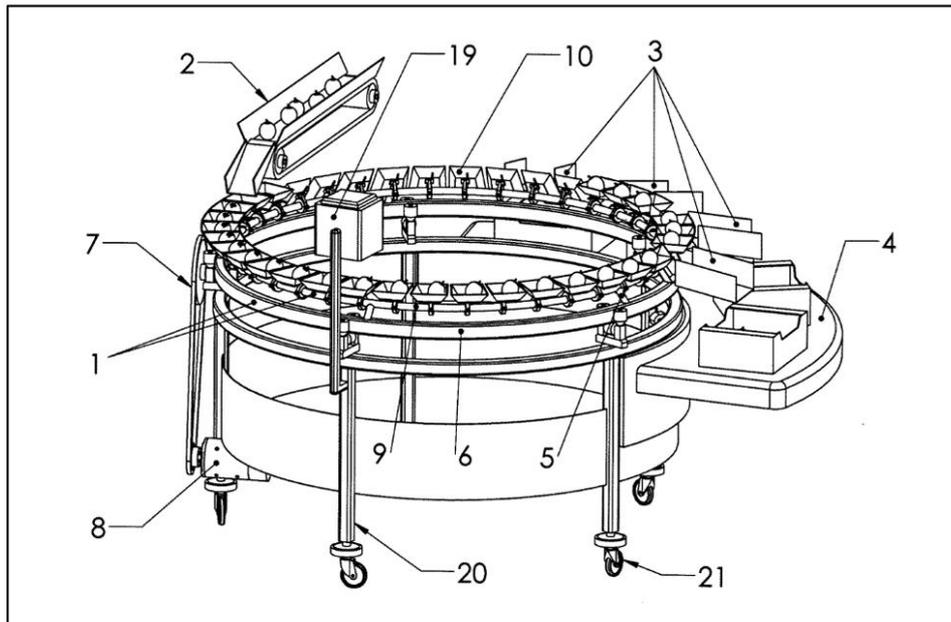


Fig. 2.3 – Máquina clasificadora con estructura en forma circular [12].

Asimismo, se muestra el diseño de un sistema automatizado para clasificar alimentos, que cuenta con dos bandas transportadoras, una dedicada para la alineación de los alimentos y la otra dedicada para clasificar. Este sistema aumentó la capacidad de clasificación en un 13,37% con respecto al método convencional [13].

2.2. Marco teórico

La manzana es un fruto que se puede cultivar en la mayor parte de provincias de la sierra ecuatoriana, donde las condiciones climáticas son ideales para su desarrollo. Debido a que en Ecuador existen pocas industrias que tienen grandes extensiones de cultivos y procesos de postcosecha con maquinaria especializada, importada en su mayoría, la mayor parte de la producción local se basa en cultivos a pequeña escala [14].

Productores de pequeña escala se define como aquellos que tienen una superficie sembrada de hasta 5 hectáreas y predomina el trabajo familiar, el acceso limitado a recursos y la producción orientada al autoconsumo [15].

La gran mayoría de productores de este fruto en Ecuador se basa en ese modelo de negocio. Y como cabe esperar, los cultivos a pequeña escala no cuentan con herramientas industriales o tecnológicas para aumentar la productividad en los procesos y poder reducir costos.

2.2.1. Clasificación de frutas en la agroindustria

La clasificación de frutas es una etapa fundamental dentro de los procesos de postcosecha en la agroindustria. La actividad consiste en separar los frutos según características físicas como tamaño, peso, color, forma o grado de madurez, con el objetivo de garantizar la calidad del producto final, estandarizar su presentación y maximizar su valor comercial.

En muchos cultivos, esta tarea se realiza de forma manual, lo que supone una alta dependencia de mano de obra, variabilidad en los criterios aplicados por cada operador y una limitada capacidad de procesamiento por hora. Estos factores influyen negativamente en la eficiencia y la competitividad del sistema productivo.

Para compensar estas limitaciones, en las últimas décadas se han desarrollado sistemas de clasificación automatizados y semiautomatizados, que incorporan tecnologías como algoritmos de procesamiento de datos, sistemas de visión artificial, sensores ópticos, celdas de carga y transportadores automáticos. Estas soluciones permiten clasificar frutas de manera rápida, precisa y uniforme, mejorando la productividad y reduciendo el margen de error humano [16].

En el caso particular de las manzanas, pueden variar los criterios de clasificación dependiendo del destino comercial del producto. Uno de los más comunes, especialmente en sistemas de producción de pequeña escala, es el peso, ya que este parámetro se correlaciona con el tamaño y con factores de aceptación del consumidor. Además, la clasificación por peso es técnicamente más sencilla de implementar en comparación con otros criterios [17].

2.2.2. Categorías de peso en manzanas

La clasificación de manzanas por peso es una práctica común en la agroindustria. Según la Norma para las Manzanas (Codex Stan 299-2010) del Codex Alimentarius, se establecen tolerancias específicas (ver Tabla 2.1) en la diferencia de peso entre las manzanas contenidas en un mismo envase:

Tabla 2.1 – Tolerancias específicas de manzanas en un mismo envase [18].

Rango de peso de la manzana	Tolerancia
La más pequeña es inferior a 90 gramos	15 gramos
La más pequeña es igual o superior a 90 gramos, pero inferior a 135 gramos	20 gramos
La más pequeña es igual o superior a 135 gramos, pero inferior a 200 gramos	30 gramos

La más pequeña es igual o superior a 200 gramos, pero inferior a 300 gramos	40 gramos
La más pequeña rebasa 300 gramos	50 gramos

Estas tolerancias permiten una variación controlada en el peso de las manzanas dentro de un mismo lote, asegurando una presentación uniforme y facilitando el proceso de comercialización. Además, esta norma establece que las manzanas deben clasificarse en tres categorías de calidad:

Tabla 2.2 – Categorías de calidad de manzanas [18].

Categoría	Descripción
Categoría Extra	Manzanas de calidad superior, con características mínimas de defectos y excelente presentación.
Categoría I	Manzanas de buena calidad, permitiendo ligeros defectos en la forma, desarrollo y coloración.
Categoría II	Manzanas que no cumplen los requisitos de las categorías superiores, pero que satisfacen los requisitos mínimos de calidad.

Para una categorización de manzanas por peso los agricultores de pequeña escala establecen cuatro rangos de pesos (ver Tabla 2.3).

Tabla 2.3 – Categorías de peso de manzanas [18].

Categoría	Rango de peso
Primera Categoría	Mayor a 100 gramos
Segunda Categoría	Entre 80 y 100 gramos
Tercera Categoría	Entre 60 y 80 gramos
Cuarta Categoría	Menor a 60 gramos

2.2.3. Principios de medición de peso

La medición de peso es fundamental en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la clasificación de frutas como las manzanas. Uno de los dispositivos más utilizados para este propósito es la celda de carga, conocida también como sensor de peso.

Las celdas de carga funcionan bajo el principio de conversión de una fuerza mecánica en una señal eléctrica. Este proceso se obtiene a través del uso de galgas extensométricas, que son resistencias eléctricas adheridas a un cuerpo elástico de la celda. Cuando se aplica una carga, la celda se deforma ligeramente, lo que provoca un cambio en la resistencia eléctrica de las galgas (ver Fig 2.4). Este cambio es proporcional a la fuerza aplicada y se convierte en una señal eléctrica que puede ser medida por un microcontrolador [19].

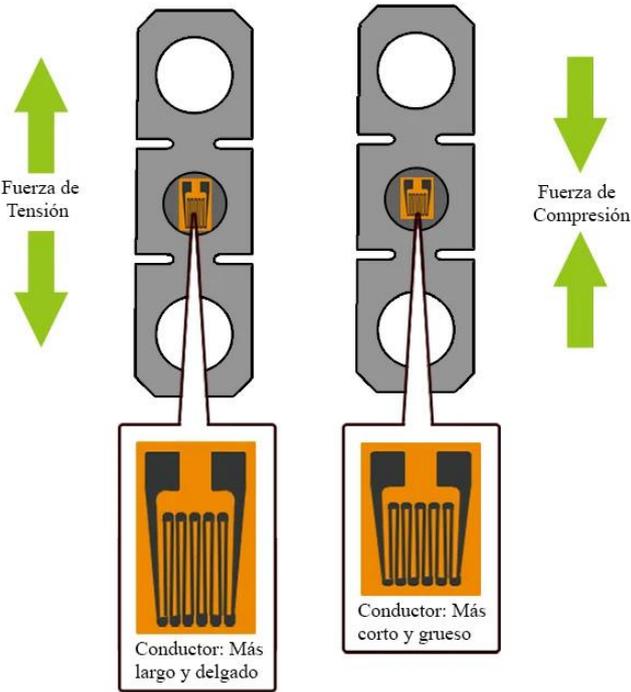


Fig. 2.4 – Principio de funcionamiento de una celda de carga [19].

Para mejorar la precisión y sensibilidad, las galgas extensométricas suelen estar dispuestas en una configuración de puente de Wheatstone (ver Fig 2.5). Esta disposición permite detectar pequeñas variaciones en la resistencia eléctrica, obteniendo mediciones más precisas de la carga aplicada [20].

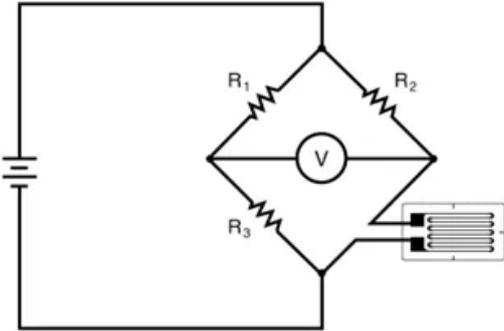


Fig. 2.5 – Configuración de puente de Wheatstone [20].

Existen diversas clases de celdas de carga, cada una adecuada para aplicaciones específicas dentro de la industria. (ver Tabla 2.4).

Tabla 2.4 – Tipos de celda de carga [20].

Tipo	Descripción
Galgas extensométricas	Son las más comunes y versátiles. Son utilizadas en una gran variedad de aplicaciones industriales.
Hidráulicas	Utilizan fluidos para medir la fuerza aplicada, siendo adecuadas para entornos donde las condiciones eléctricas pueden ser desfavorables.
Neumáticas	Emplean aire comprimido para medir la fuerza, ideales para aplicaciones que requieren limpieza y seguridad, como en la industria alimenticia.
Piezoeléctricas	Generan una carga eléctrica en respuesta a una carga aplicada, siendo útiles para medir fuerzas variables y de alta frecuencia.

2.2.4. Microcontroladores y placas de desarrollo

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que combina en un solo chip una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y periféricos de entrada/salida. Está diseñado para ejecutar tareas específicas dentro de sistemas embebidos sin requerir un sistema operativo complejo [21]. Los microcontroladores son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales para controlar y supervisar máquinas, gestionar procesos y analizar datos relacionados con la robótica e inteligencia artificial.

Los microcontroladores suelen incluir los siguientes componentes.

Unidad Central de Procesamiento (CPU): es el núcleo que ejecuta las instrucciones del programa. Está conformada principalmente por micro transistores.

Memoria: ROM (Flash) almacena de forma permanente el programa que debe ejecutar el microcontrolador, así como las librerías necesarias para su funcionamiento. La memoria RAM (volátil) utilizada para almacenar datos temporales durante la ejecución del programa.

Periféricos de Entrada/Salida: Permiten la interacción con el entorno externo (ver Fig. 2.6). Incluyen puertos digitales, convertidores analógico-digital (ADC), temporizadores, contadores y protocolos de comunicación como UART, SPI e I2C [22].

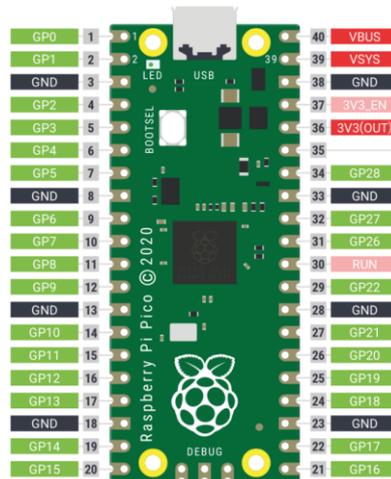


Fig. 2.6 – Periféricos de entrada/salida de un microcontrolador [22].

Oscilador: General la señal de reloj que sincroniza todas las operaciones internas del microcontrolador.

El microcontrolador ejecuta un programa almacenado en su memoria no volátil. Este programa puede ser escrito en diferentes lenguajes de programación, como C, C++, Python o ensamblador. Durante su funcionamiento, el microcontrolador lee datos de entrada, por ejemplo, señales de sensores, procesa la información según las instrucciones del programa y genera señales de salida para controlar dispositivos externos, como motores o pantallas.

2.2.4.1. Placas de desarrollo

Las placas de desarrollo son plataformas que integran un microcontrolador junto con los componentes necesarios para facilitar su programación y conexión con otros dispositivos. Estas placas son herramientas esenciales para el desarrollo y la prueba de sistemas embebidos que utilizan microcontroladores [23].

Algunas placas de desarrollo disponibles en el mercado incluyen:

Arduino Uno: Basada en el microcontrolador ATmega328P, es ampliamente utilizada por su facilidad de uso y gran comunidad de soporte.

ESP32: Un microcontrolador de alto rendimiento con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, ideal para aplicaciones IoT.

Raspberry Pi Pico (ver Fig. 2.7): Una placa de desarrollo de bajo costo y alto rendimiento que utiliza el microcontrolador RP2040, adecuada para una amplia gama de aplicaciones.

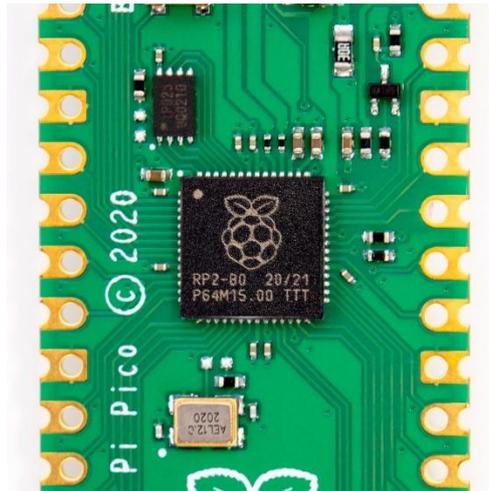


Fig. 2.7 – Placa de desarrollo Raspberry Pi Pico [22].

2.2.4.2. Aplicaciones en la clasificación de frutas por peso

En sistemas de clasificación de frutas por peso, los microcontroladores son utilizados para: leer datos de sensores de peso (como celdas de carga) a través de convertidores ADC, procesar la información para determinar la categoría de peso de cada fruta, controlar actuadores (como motores eléctricos) para dirigir la fruta a la categoría correspondiente, y gestionar interfaces de usuario, como pantallas o botones, para facilitar la interacción con el sistema [24].

2.2.5. Actuadores eléctricos

Un actuador eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico, ya sea lineal o rotativo. Estos dispositivos permiten automatizar procesos al controlar el movimiento de componentes en diversas aplicaciones industriales y domésticas [25]. Su funcionamiento se basa en la utilización de motores eléctricos que, mediante mecanismos como tornillos de avance o engranajes, generan el movimiento deseado.

2.2.5.1. Tipos de actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos se clasifican principalmente según el tipo de movimiento que generan:

Actuadores Lineales: Producen un movimiento en línea recta. Utilizan mecanismos como tornillos de avance o husillos para transformar la rotación del motor en desplazamiento lineal (ver Fig. 2.8). Son ideales para aplicaciones que requieren precisión en el posicionamiento [26].

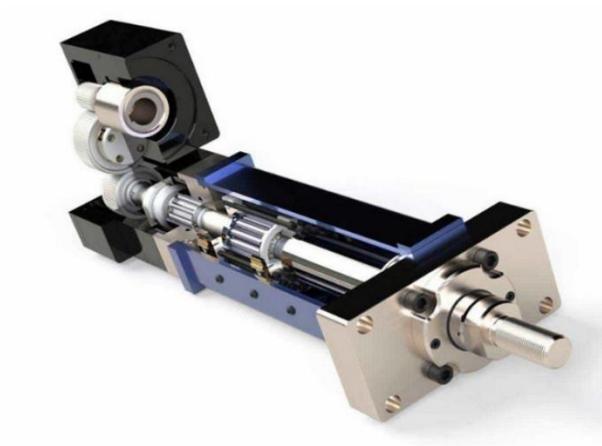


Fig. 2.8 – Ejemplo de actuador lineal [27].

Actuadores Rotativos: Generan un movimiento circular. Son comunes en sistemas que necesitan controlar la rotación de componentes (ver Fig. 2.9).



Fig. 2.9 – Ejemplo de actuador rotativo [28].

2.2.5.2. Aplicaciones en la clasificación de frutas

En sistemas de clasificación de frutas los actuadores eléctricos desempeñan actividades como: manipular y posicionar las frutas, controlar compuertas o mecanismos de desvío e integración con sistemas de control [29]. La elección del tipo de actuador dependerá de factores como la velocidad requerida, la precisión del posicionamiento y la carga que debe mover.

2.2.6. Automatización y control en sistemas mecatrónicos

La automatización es la aplicación de sistemas computarizados, electromecánicos y tecnológicos que permiten controlar máquinas y dispositivos para realizar tareas repetitivas con mínima intervención humana, mejorando la eficiencia y reduciendo errores. La mecatrónica, por su parte, es interdisciplinaria que integra la ingeniería mecánica, electrónica, informática y de control para diseñar y desarrollar sistemas inteligentes y automatizados [30].

En el contexto de automatización para clasificación, el control mecatrónico permite: la medición precisa del peso de cada fruta mediante sensores, procesamiento de datos en tiempo real para determinar la categoría de peso correspondiente, accionamiento de mecanismos que dirigen la fruta a la categoría adecuada y monitoreo y ajuste continuo del sistema para mantener la precisión y eficiencia del proceso [31].

Los componentes del sistema mecatrónico semiautomático se detallan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 – Componentes de un sistema mecatrónico [31].

Componente	Descripción
Controladores	Unidades de procesamiento, como microcontroladores o PLCs (Controladores Lógicos Programables), que reciben señales de los sensores, procesan la información y envían instrucciones a los actuadores.
Actuadores	Elementos que ejecutan acciones físicas, como motores o servomecanismos, en respuesta a señales de control
Sensores	Dispositivos que detectan variables físicas del entorno, como peso, posición o velocidad, y las convierten en señales eléctricas
Interfaz de Usuario	Sistemas que permiten la interacción entre el operador y el sistema automatizado, como pantallas táctiles o paneles de control.

2.2.7. Manufactura Aditiva para prototipado

La manufactura aditiva (MA), también conocida como impresión 3D, apareció a inicios de los años 80 como una estrategia de prototipado rápido. Usada para crear modelos capa a capa directamente desde un archivo CAD (ver Fig. 2.10), reduciendo drásticamente los tiempos de desarrollo [32].

A diferencia de la manufactura sustractiva, que retira material mediante corte o mecanizado, la manufactura aditiva añade material en sucesivas capas ultrafinas [33]. Este enfoque minimiza el desperdicio, acorta los plazos de producción y permite reducir geometrías imposibles con procesos de manufactura tradicionales. En la Tabla 2.6 se detallan las ventajas de este tipo de manufactura.



Fig. 2.10 – Manufactura aditiva (impresión 3D) [33].

Tabla 2.6 – Ventajas de MA para el prototipado [33].

Ventaja	Descripción
Reducción de tiempo	Un modelo funcional puede estar listo en horas en lugar de días o semanas.
Ahorro de costos	Se elimina el mecanizado inicial y se usa solo el material necesario.
Complejidad geométrica	Se fabrican piezas con canales internos, curvaturas pronunciadas o ensamblajes monolíticos.
Iteración rápida	Es posible ajustar el diseño, reimprimir y validar varias veces en un mismo día.

La ASTM agrupa la manufactura aditiva en siete familias (ver Tabla 2.7), cada una con materiales y prestaciones particulares que van desde termoplásticos de uso común (PLA, ABS) hasta metales o cerámicos de grado industrial [34].

Tabla 2.7 – Familias de Manufactura Aditiva [34].

Familia	Descripción
Extrusión de material	Un filamento termoplástico (como ABS o PLA) se funde y se deposita capa por capa a través de una boquilla.
Fotopolimerización	Una resina líquida fotosensible se solidifica mediante luz ultravioleta en una tina.
Inyección de material	Gotitas de material fotopolimérico se depositan y curan con luz UV, de forma parecida a una impresora de tinta.
Inyección de aglutinante	Un aglutinante líquido se deposita sobre capas de polvo (arena, metal, cerámica), uniéndose selectivamente al material.

Fusión de lecho de polvo	Un láser o haz de electrones funde selectivamente polvo en capas finas.
Laminado de hojas	Láminas de material (papel, plástico o metal) se cortan y se unen por adhesivo o fusión.
Depósito de energía directa	Polvo o hilo metálico se funde mediante un láser, haz de electrones o arco eléctrico al mismo tiempo que se deposita.

Las limitaciones habituales suelen ser: acabado superficial y tolerancias que pueden requerir posprocesado (ver Fig. 2.11), velocidad aún inferior a las líneas de producción tradicionales para grandes volúmenes y propiedades mecánicas dependientes de la orientación de las capas (materiales anisotrópicos) [35].

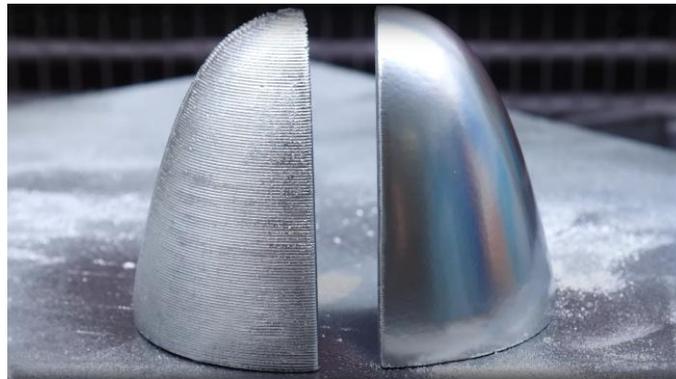


Fig. 2.11 – Posprocesamiento de piezas impresas en 3D [35].

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoques y tipos de investigación

Investigación documental: se revisó una revisión bibliográfica y documental para conocer los sistemas existentes de clasificación de frutas, tecnologías aplicadas, normativas de calidad para la clasificación y estudios previos sobre la clasificación por tamaño, peso, madurez, etc.

Investigación de campo: se llevó a cabo una investigación directa en cultivos de pequeña escala para observar el proceso manual de clasificación, entrevistas a productores para identificar necesidades específicas y recolección de manzanas para pruebas específicas.

Investigación experimental: durante la fase de desarrollo se aplicó esta metodología para probar distintos algoritmos de clasificación, validar el funcionamiento de sensores, ajustar parámetros mecánicos y electrónicos de la máquina, y medir precisión y confiabilidad del sistema.

Investigación descriptiva: durante el desarrollo del proyecto se utilizó una metodología descriptiva, la cual permitió observar y detallar las características y el funcionamiento de los sistemas necesarios para la clasificación de manzanas. Esta metodología fue clave para comprender cómo interactúan los distintos elementos de la máquina y establecer bases para el diseño y construcción del prototipo de forma lógica y estructurada.

Este proyecto se desarrolló bajo un enfoque de ingeniería, orientado a la solución práctica de un problema mediante la aplicación de principios técnicos y científicos. Este enfoque permitió integrar conocimientos de mecánica, electrónica y procesamiento de señales para diseñar un sistema semi automático capaz de clasificar manzanas. Se emplearon herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para modelar la estructura mecánica, mientras que el sistema de control fue diseñado basándose en un microcontrolador y una placa de circuito impreso (PCB). A través de este enfoque, se priorizó la funcionalidad, la precisión en el sistema y la viabilidad técnica.

3.2. Diseño de la investigación

Para el desarrollo del prototipo fue necesaria la ejecución de actividades individuales con el fin de alcanzar los objetivos planteados y así documentar de forma secuencial el proceso para el diseño y manufactura.

3.2.1. Fase 1: adquisición de información

Determinación de los requerimientos de funcionamiento de una máquina clasificadora de manzanas para cultivos de pequeña escala.

Actividad 1: determinación de parámetros de clasificación. En la investigación documental se recopila e identifica los distintos parámetros al clasificar las manzanas.

Actividad 2: recopilación de métodos de clasificación de máquinas existentes. Esta actividad permite conocer el estado del arte de las máquinas para clasificar frutos, para usar esta información como referencia en el proceso de diseño.

3.2.2. Fase 2: Diseño mecánico, electrónico y de control

Actividad 3: determinación de los parámetros de diseño. Basándose en los requerimientos de los productores, se establecen las directrices de diseño del prototipo.

Actividad 4: planteamiento de las alternativas para la solución. En base a los parámetros de diseño, se modelan las variaciones del prototipo. Posteriormente se escoge la más apropiada para llegar a la solución.

Actividad 5: modelado 3D de la máquina. Usando el diseño asistido por computadora (CAD) se establecen las geometrías de cada componente. Con estas piezas se obtiene un ensamble.

Actividad 6: diseño de la placa de circuito impreso (PCB). Identificar los componentes electrónicos e interconectarlos en una placa PCB usando un software de computadora.

Actividad 7: programación del microcontrolador. Escribir el código del programa para controlar los componentes de la máquina.

3.2.3. Fase 3: construcción del prototipo

El objetivo es obtener un prototipo funcional usando métodos de manufactura, materiales y componentes electrónicos disponibles en el mercado local.

Actividad 8: selección de materiales. Los parámetros de costos y métodos de manufactura disponibles se usarán para la selección de los materiales del prototipo.

Actividad 9: manufactura y construcción. Mediante la implementación de manufactura aditiva (impresión 3D) y la unión permanente con soldadura de la estructura se busca obtener un prototipo similar al diseñado en la computadora.

Actividad 10: integración de los componentes de control. Los componentes electrónicos, sensores y actuadores se acoplan de manera que el resultado de funcionamiento sea el esperado.

Actividad 11: elaboración de planos mecánicos y diagramas eléctricos. Se procede a dibujar los planos de los componentes estructurales para que puedan ser usados como referencia.

3.2.4. Fase 4: pruebas de funcionamiento

Una vez construido el prototipo, mediante investigación experimental se realizan pruebas de funcionamiento usando objetos de prueba.

Actividad 12: ejecución de las pruebas de funcionamiento. Se lleva el prototipo de la máquina al campo de cultivo de manzanas para verificar que el funcionamiento es el esperado.

Actividad 13: calibración y ajustes adicionales. Modificando el código usado por el microcontrolador se puede calibrar la celda de carga para que las lecturas sean correctas. Modificando la posición inicial de la capsula de clasificación se puede corregir y compensar la nivelación horizontal.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Especificaciones de los sistemas

La máquina para clasificar manzanas tiene un mecanismo de clasificación, un sistema de control y una estructura metálica. Los criterios y requerimientos necesarios para el diseño son los siguientes.

4.1.1. Sistema de clasificación

- **Precisión** – El sensor ubicado en la cápsula de clasificación debe ser capaz de realizar mediciones recurrentes, aproximándose al peso real de las manzanas.
- **Rapidez** – Los actuadores que mueven a la cápsula deben depositar a la manzana en la categoría correspondiente con la mayor rapidez posible, permitiendo una tasa de clasificación que sea eficiente y no genere un cuello de botella en la post producción.
- **Reducción del impacto** – El diseño de la cápsula debe minimizar las fuerzas de impacto que puedan magullar a la manzana durante el proceso de clasificación, teniendo un recorrido corto y una liberación que no sea brusca.
- **Liviano** – La estructura del sistema de clasificación debe ser liviana para que los motores eléctricos funcionen de manera óptima durante el uso de la máquina.
- **Robustez** – La estructura debe ser capaz de operar de manera confiable y eficiente bajo condiciones exigentes sin sufrir fallas, desgaste prematuro o pérdida de rendimiento.
- **Estabilidad** – La cápsula debe mantenerse firme y evitar balancearse durante el proceso de alimentación y clasificación de las manzanas.

4.1.2. Sistema de control

- **Operación Intuitiva** – El uso de la máquina debe ser fácil e intuitivo para que la persona que la usa no tenga inconvenientes, evitando una capacitación innecesaria.
- **Interfaz Humano-Máquina** – La máquina debe contar con elementos, como pantalla y pulsadores, que le permita al operario acceder a parámetros de funcionamiento.

4.1.3. Estructura mecánica

- **Estabilidad** – La estructura que contiene a todos los sistemas de la máquina debe permanecer equilibrada y estable sobre una superficie plana.
- **Portabilidad** – La máquina debe pesar y tener una forma que le permita al operario trasladarla de un lugar a otro sin tanta dificultad.

- **Facilidad de fabricación** – Los materiales y métodos de manufactura deben ser accesibles y deben estar disponibles en el mercado local.

4.2. Alternativas de solución

El parámetro de clasificación de esta máquina es el peso de las manzanas. Por lo tanto, un sensor colocado en la base de una cápsula determina el peso, envía este valor al microcontrolador, y los actuadores posicionan la capsula en la categoría correspondiente depositando a la manzana en un ducto que la conduce a una gaveta de almacenamiento.

Las alternativas del diseño para este sistema de clasificación de manzanas deben estar basadas en los requerimientos y en los elementos usados para su funcionamiento.

4.2.1. Planteamiento de alternativas de solución

El diseño de la cápsula, el mecanismo y la interfaz de clasificación se puede determinar escogiendo el sensor y los actuadores adecuados, optimizando las dimensiones y reduciendo el recorrido del movimiento. Para conseguir esto, se plantean cuatro alternativas de solución.

4.2.1.1. Primera alternativa de solución

La forma de la cápsula está diseñada para que tenga una apertura de entrada, en donde el operario ingresa la manzana, y una apertura de salida, para cuando la capsula gire y la deposite en la categoría correspondiente (ver Fig. 4.1).

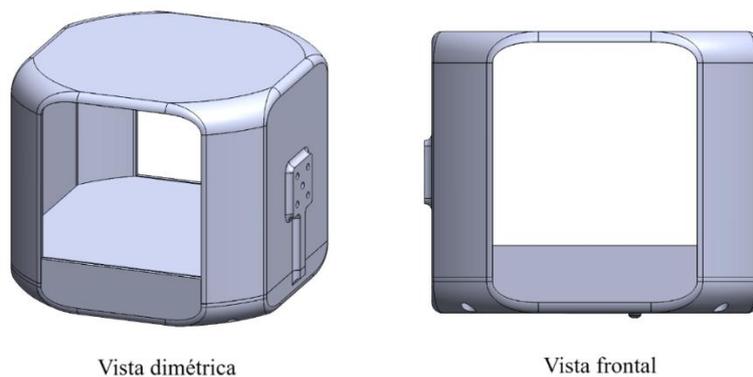


Fig. 4.1 – Diseño de la cápsula para la primera alternativa de solución.

Para esta alternativa, los actuadores son dos motores eléctricos, uno para que la cápsula rote alrededor del eje X, y otro para el eje Y. Debido a su tamaño más compacto, el motor paso a paso 28BYJ-48 se ubica en uno de los soportes laterales de la cápsula para que gire alrededor del eje X (ver Fig. 4.2). Mientras que el motor paso a paso NEMA 17 se ubica en la base de los soportes de la cápsula para que gire alrededor del eje Y (ver Fig. 4.3).

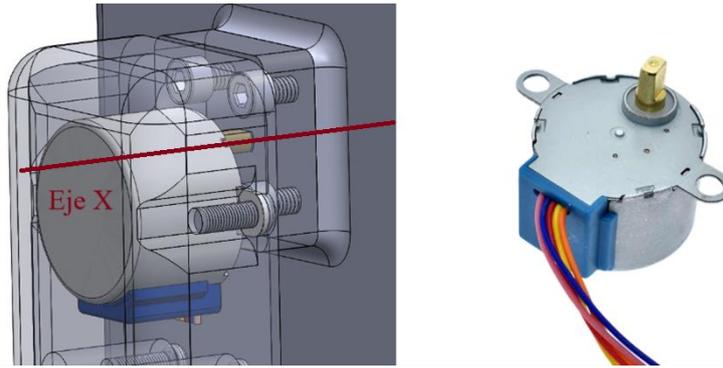


Fig. 4.2 – Motor paso a paso 28BYJ-48 para rotación alrededor del eje X.

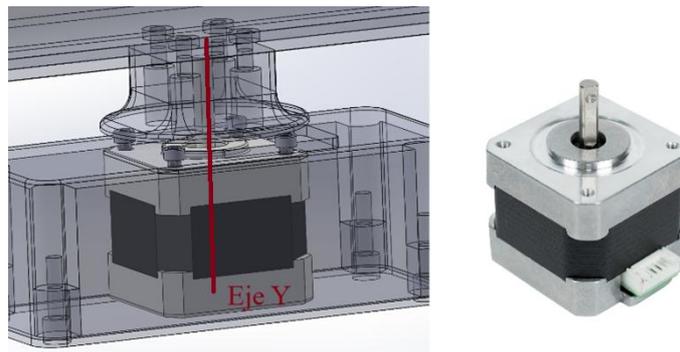


Fig. 4.3 – Motor paso a paso NEMA 17 para rotación del eje Y.

El sensor de peso para las cuatro alternativas de solución es una celda de carga, debido a su alta precisión y dimensiones reducidas. Para esta alternativa de solución, la celda de carga está ubicada de forma longitudinal, anclada a la base de la cápsula, y sobre ella una base para ubicar a las manzanas (ver Fig. 4.4).

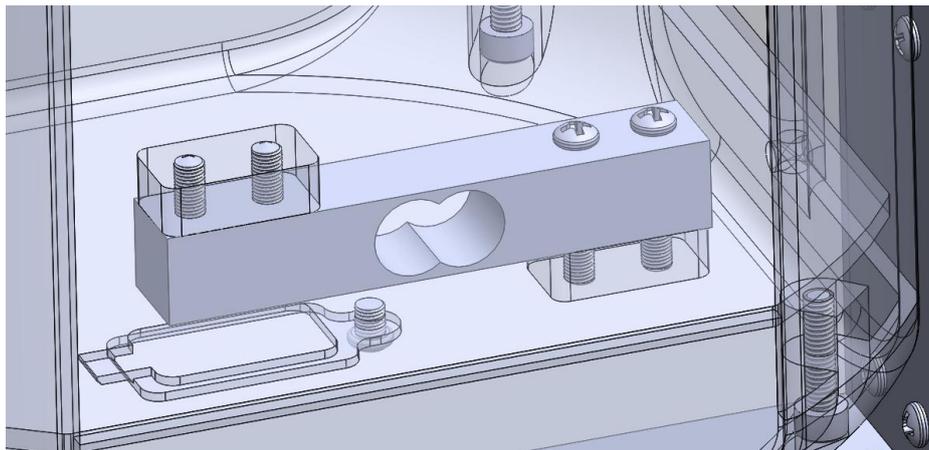


Fig. 4.4 – Celda de carga ubicada de forma longitudinal.

En la Figura 4.5 se puede observar el diseño del ensamble del prototipo (Mk I) de la primera alternativa. La vista en isometría explosionada ilustra cada uno de los componentes del sistema (ver Fig. 4.6). En la Tabla 4.1 se detallan los componentes.

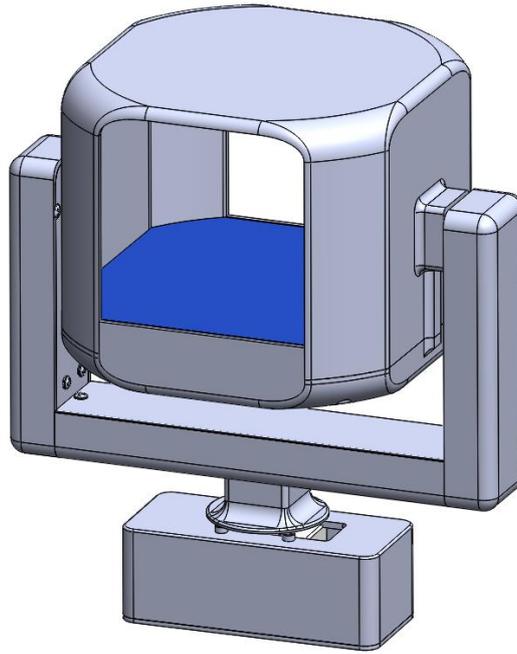


Fig. 4.5 – Ensamble del prototipo Mk I del sistema de clasificación (vista dimétrica).

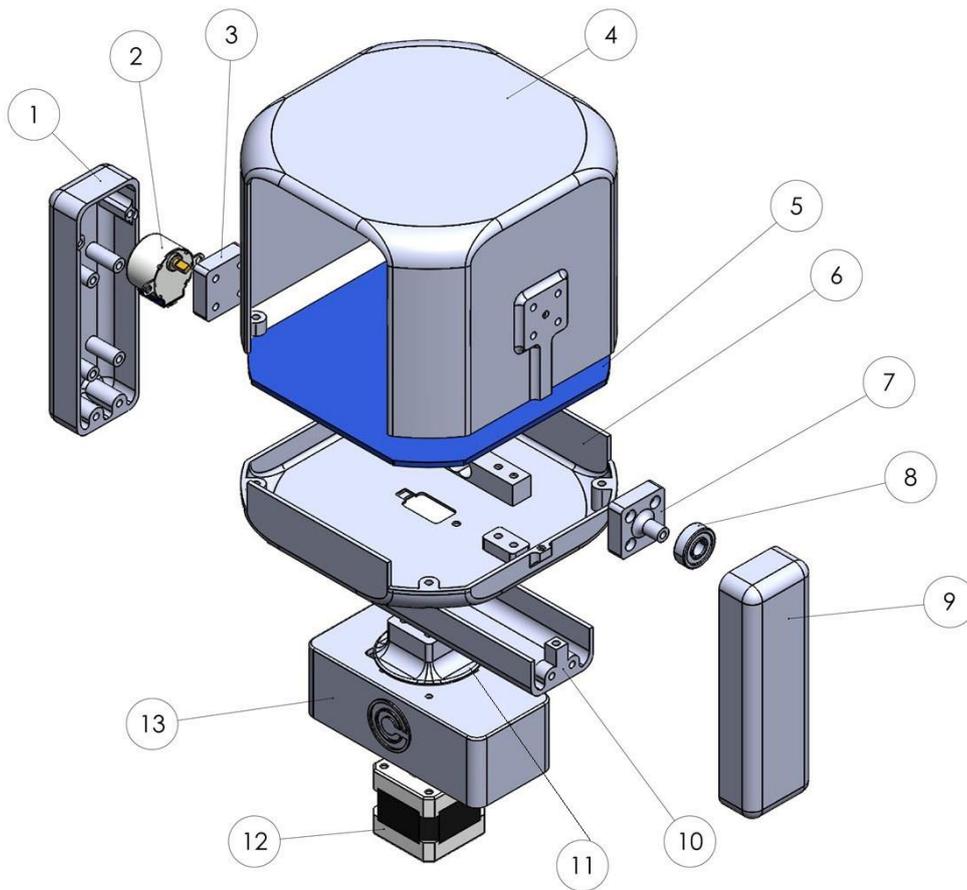


Fig. 4.6 – Vista isométrica explosionada de la primera alternativa.

Tabla 4.1 – Lista de componentes de la primera alternativa de solución.

No.	Descripción
1	Soporte lateral izquierdo
2	Motor paso a paso 28BYJ-48
3	Chavetero atornillable
4	Cuerpo de cápsula superior
5	Base de medición
6	Cuerpo de cápsula inferior
7	Eje para rodamiento atornillable
8	Rodamiento de 22mm
9	Soporte lateral derecho
10	Soporte longitudinal
11	Chavetero de la base del soporte
12	Motor paso a paso NEMA 17 – 40 mm
13	Base de los soportes de la cápsula

4.2.1.2. Segunda alternativa de solución

Para este caso, la forma de la cápsula está diseñada para que solo tenga una apertura, que sirve de entrada y salida de las manzanas (ver Fig. 4.7).

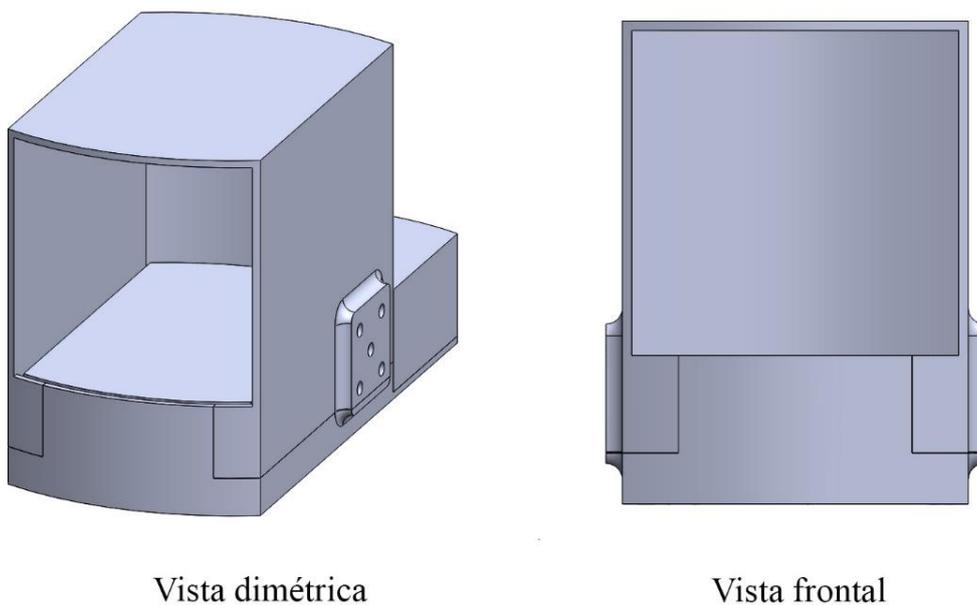


Fig. 4.7 – Diseño de la cápsula para la segunda alternativa de solución.

Para esta alternativa se explora la posibilidad de usar dos motores eléctricos paso a paso NEMA 17, uno para que la cápsula rote alrededor del eje X, y otro para el eje Y. Un motor se ubica en uno de los laterales de la cápsula (ver Fig. 4.8). Mientras que el otro motor se ubica en la base de los soportes de la cápsula (ver Fig. 4.9).

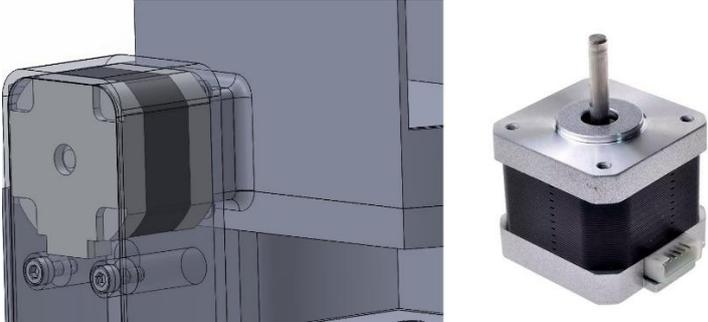


Fig. 4.8 – Motor paso a paso NEMA 17 para rotación alrededor del eje X.

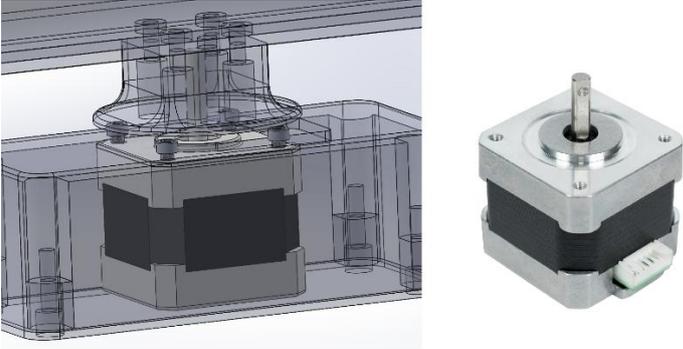


Fig. 4.9 – Motor paso a paso NEMA 17 para rotación alrededor del eje Y.

En esta alternativa, la celda de carga está ubicada de forma transversal, también anclada a la base de la cápsula (ver Fig. 4.10).

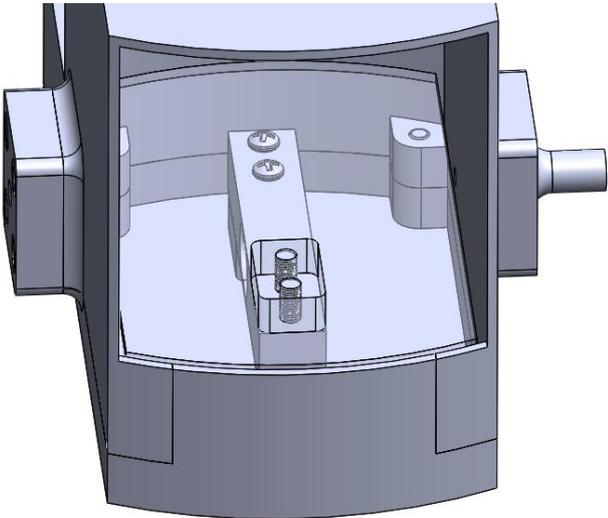


Fig. 4.10 – Celda de carga ubicada de forma transversal.

En la figura 4.11 se observa el diseño del ensamble del prototipo (Mk II) de la segunda alternativa. La vista en isometría explosionada ilustra todos los componentes del sistema (ver Fig. 4.12). En la Tabla 4.2 se detallan los componentes.

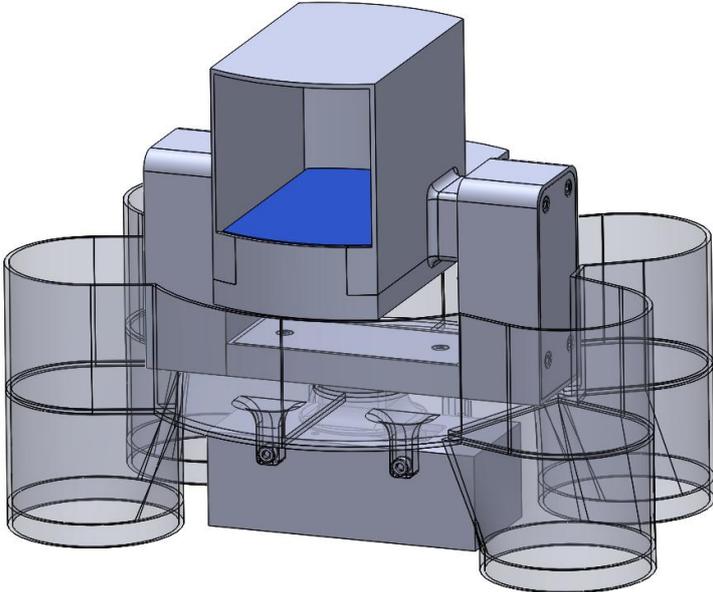


Fig. 4.11 – Ensamble del prototipo Mk II del sistema de clasificación (vista dimétrica).

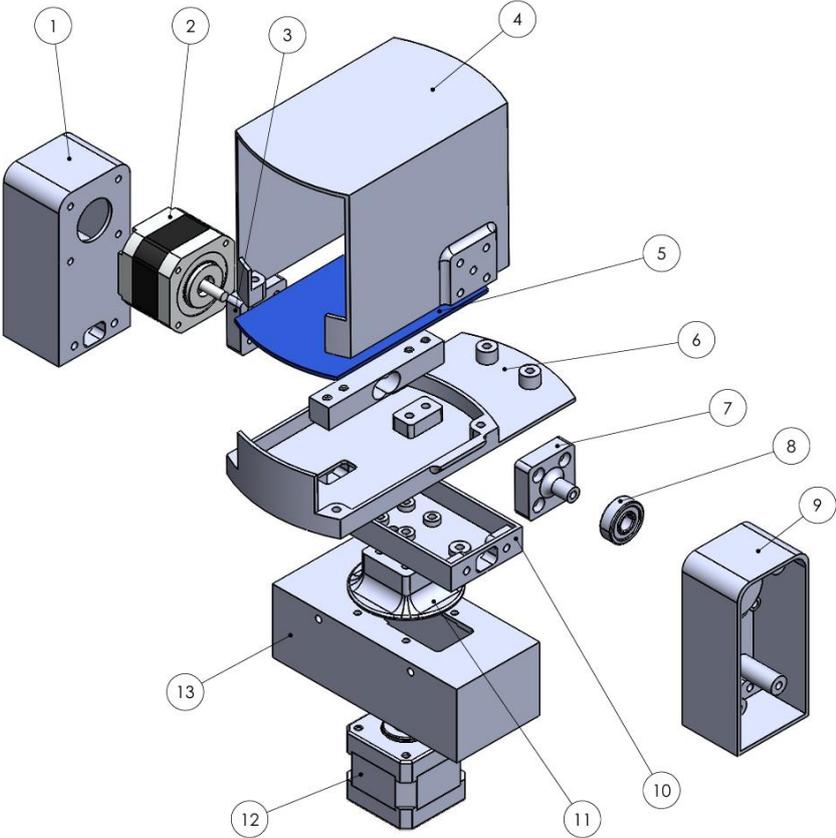


Fig. 4.12 – Vista isométrica explosionada de la segunda alternativa.

Tabla 4.2 – Lista de componentes de la segunda alternativa de solución.

No.	Descripción
1	Soporte lateral izquierdo
2	Motor paso a paso NEMA 17 – 33 mm
3	Chavetero atornillable
4	Cuerpo de cápsula superior
5	Base de medición
6	Cuerpo de cápsula inferior
7	Eje para rodamiento atornillable
8	Rodamiento de 22mm
9	Soporte lateral derecho
10	Soporte longitudinal
11	Chavetero de la base del soporte
12	Motor paso a paso NEMA 17 – 40 mm
13	Base de los soportes de la cápsula

4.2.1.3. Tercera alternativa de solución

La forma de la cápsula es similar a la segunda alternativa, pero para este prototipo el motor de rotación para el eje X está dentro de la cápsula, en lugar de estar en uno de los laterales (ver Fig. 4.13).

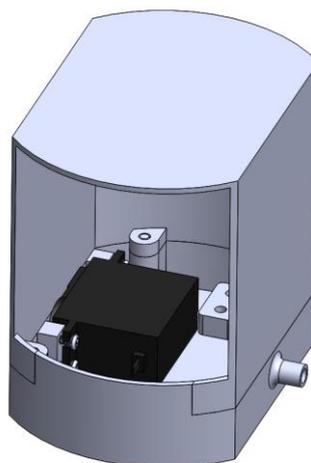


Fig. 4.13 – Diseño de la cápsula para la tercera alternativa de solución.

Los actuadores son servo motores, uno ubicado en la base de la cápsula, y otro en la base de los soportes de la cápsula (ver Fig. 4.14).

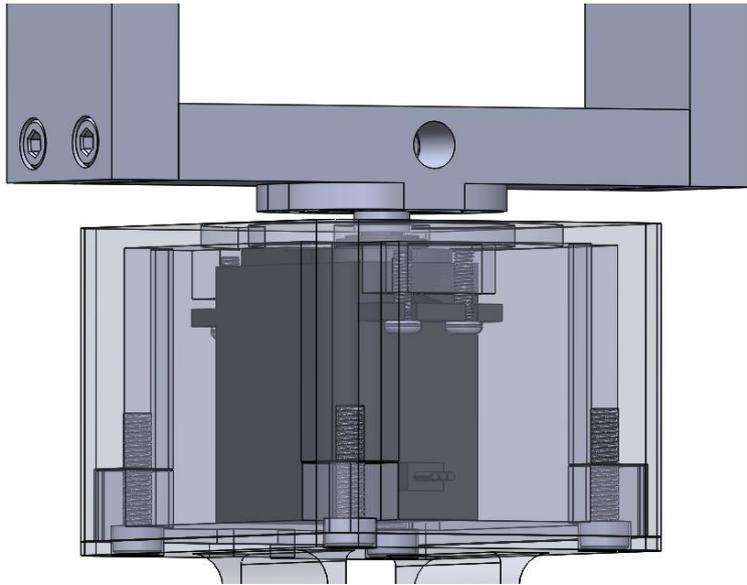


Fig. 4.14 – Servo motor para rotación alrededor del eje Y.

Para esta alternativa de solución, la celda de carga está ubicada de forma transversal, junto al motor, dentro de la cápsula de clasificación (ver Fig. 4.15).

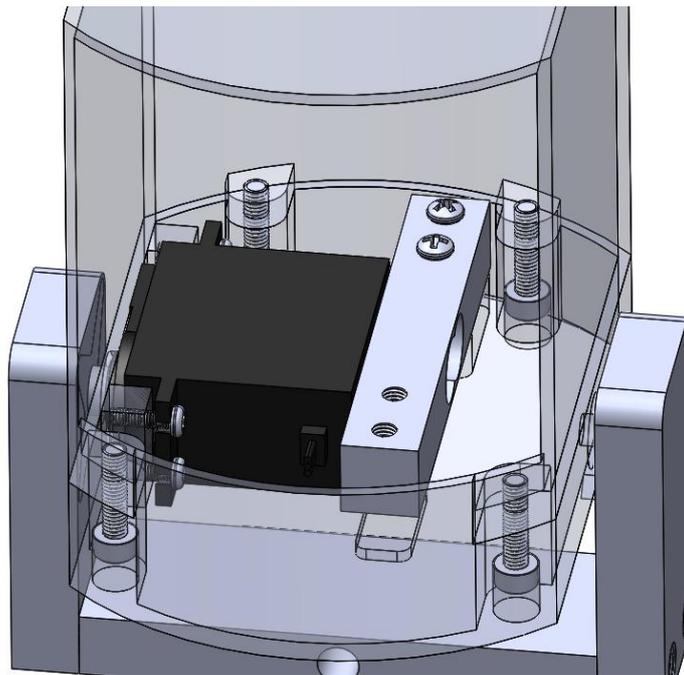


Fig. 4.15 – Celda de carga ubicada de forma transversal, junto al servo motor.

En la figura 4.16 se puede observar el diseño del ensamble del prototipo (Mk III) de la tercera alternativa. La vista en isometría explosionada ilustra todos los componentes de sistema (ver Fig. 4.17). En la tabla 4.3 se detallan los componentes.

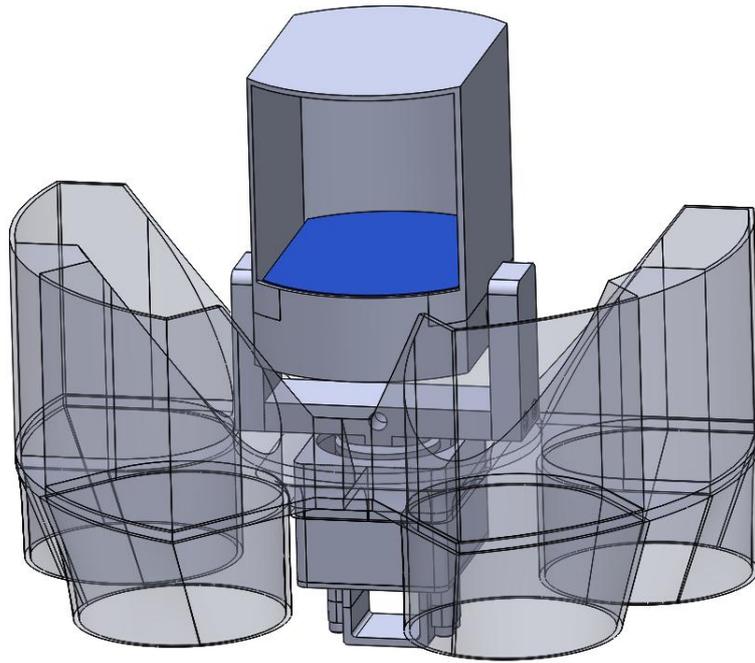


Fig. 4.16 – Ensamble del prototipo Mk III del sistema de clasificación (vista dimétrica).

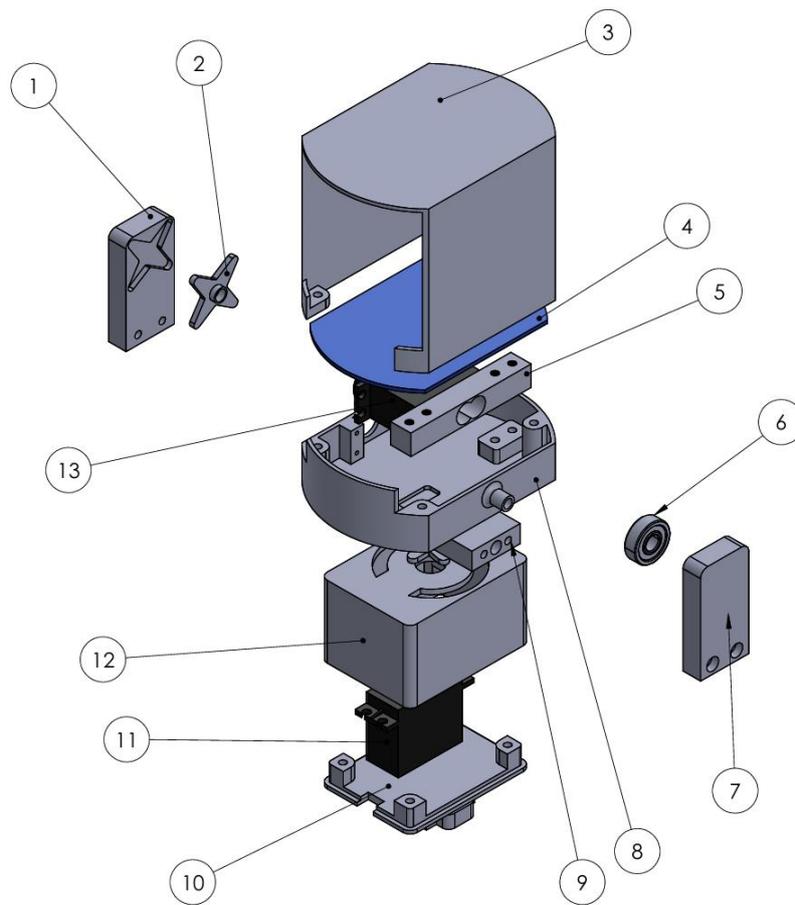


Fig. 4.17 – Vista isométrica explosionada de la tercera alternativa.

Tabla 4.3 – Lista de componentes de la tercera alternativa de solución.

No.	Descripción
1	Soporte lateral izquierdo
2	Eje del servo motor
3	Cuerpo de cápsula superior
4	Base de medición
5	Celda de carga – 1kg
6	Rodamiento de 22 mm
7	Soporta lateral derecho
8	Cuerpo de cápsula inferior
9	Soporte longitudinal
10	Soporte atornillable de la base
11	Servo motor para el eje Y
12	Base de los soportes de la cápsula
13	Servo motor para el eje X

4.2.2. Ponderación de criterios

Con base en las tres alternativas de solución propuestas, se define un procedimiento para seleccionar la opción más adecuada para el sistema de clasificación mediante el método de ponderación de criterios. A través de un análisis cuantitativo, se evalúan los criterios: costos, facilidad de mantenimiento, optimización de los espacios internos y velocidad de clasificación. En la Tabla 4.4 se asigna un porcentaje a cada criterio y se evalúa cada alternativa en una escala del 1 al 10 para la importancia del criterio.

Tabla 4.4 – Ponderación de criterios de las tres alternativas.

Criterio	Porcentaje	Primera	Segunda	Tercera	Ponderación	Ponderación	Ponderación
		Alternativa	Alternativa	Alternativa	1° Alternativa	2° Alternativa	3° Alternativa
Costo	40%	8	7	9	3,2	2,8	3,6
Facilidad de mantenimiento	30%	7	6	9	2,1	1,8	2,7
Optimización de espacio interno	15%	5	6	10	0,75	0,9	1,5
Velocidad de clasificación	15%	5	6	8	0,75	0,9	1,2
Total Ponderado	100%	-	-	-	6,8	6,4	9,0

Se concluye que la solución que cumple con los parámetros para la mejor opción del sistema de clasificación es la alternativa de solución Nro. 3.

4.3. Especificaciones de la solución propuesta

En las siguientes secciones, se detallan cada uno de los componentes que integran la solución planteada de la máquina para clasificación de manzanas.

4.3.1. Microcontrolador Raspberry Pi Pico

El microcontrolador Raspberry Pi Pico es el dispositivo electrónico que procesa las señales de la celda de carga, y ejecuta el código de control para seleccionar la categoría a la que pertenece cada manzana. Su arquitectura basada en el chip RP2040 permite la gestión de múltiples entradas y salidas digitales y analógicas, para coordinar los diferentes sistemas de la máquina.

La Raspberry Pi Pico (ver Fig. 4.18) no solo facilita la implementación de la lógica de control, sino que también ofrece una interfaz amigable para la implementación de programación orientada a objetos (OOP), permitiendo un desarrollo modular y escalable del sistema. En la Tabla 4.5 se detallan las especificaciones técnicas de la Raspberry Pi Pico.



Fig. 4.18 – Microcontrolador Raspberry Pi Pico [22].

Tabla 4.5 – Especificaciones técnicas de la Raspberry Pi Pico [26].

Especificación	Descripción
Microcontrolador	RP2040
Arquitectura	ARM Cortex-M0+ de 32 bits a 133 MHz
Memoria RAM	264 KB
Almacenamiento	2 MB de memoria flash interna
Entradas/Salidas (GPIO)	26 pines GPIO (incluyendo I2C, SPI, UART, PWM)

Puertos USB	1x Micro-USB (para alimentación y programación)
Conectividad	No incluye conectividad inalámbrica (Wi-Fi o Bluetooth)
ADC (Convertidor Analógico-Digital)	3x 12-bit ADC de 26 canales
PWM (Modulación por ancho de pulso)	16 canales PWM
Voltaje de operación	1.8V a 3.6V
Consumo de energía	Bajo consumo, típicamente 50 mA en reposo
Compatibilidad de programación	MicroPython, C/C++
Dimensiones	51 x 21 mm

4.3.2. Pantalla LCD 16x2

Para que el operario pueda visualizar el peso de cada manzana y la categoría a la que pertenece, la interfaz humano-máquina utiliza una pantalla de cristal líquido (LCD) (ver Fig. 4.19). Esta pantalla cuenta con 16 caracteres y 2 filas, teniendo un total de 32 caracteres. También cuenta con una regulación del contraste usando un potenciómetro ubicado en el módulo I2C (ver Fig. 4.20). En la tabla 4.6 se detallan las especificaciones técnicas de la pantalla LCD 16x2, y en la Tabla 4.7 las especificaciones del módulo I2C.



Fig. 4.19 – Pantalla LCD 16x2 [23].

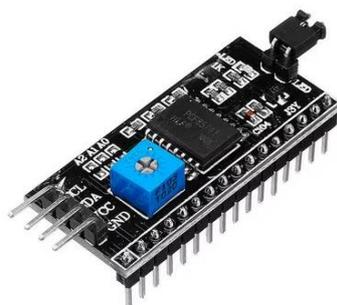


Fig. 4.20 – Módulo I2C [23].

Tabla 4.6 – Especificaciones técnicas de la pantalla LCD 16x2 [23].

Especificación	Descripción
Tamaño	16 caracteres por 2 líneas
Tecnología	Pantalla LCD de cristal líquido de tipo alfanumérico
Voltaje de operación	5V (típico)
Consumo de corriente	1.5 mA (sin retroiluminación) / 40 mA (con retroiluminación)
Interfaz de comunicación	Paralela (8 bits o 4 bits) o I2C (con módulo adicional)
Retroiluminación	Sí, generalmente LED (azul, blanco o verde)
Tipo de control	Controlador HD44780 o compatible
Rango de temperatura de operación	0°C a 50°C (dependiendo del modelo)
Ángulo de visión	60-90° (dependiendo de la calidad de la pantalla)
Dimensiones	Aproximadamente 80 x 36 mm
Peso	Aproximadamente 30 g
Compatibilidad	Compatible con microcontroladores y placas como Arduino, Raspberry Pi, ESP32, entre otro
Conexión (sin I2C)	16 pines (VCC, GND, RS, RW, E, D0-D7, A, K)

Tabla 4.7 – Especificaciones técnicas del módulo I2C [23].

Especificación	Descripción
Interfaz de comunicación	I2C (Inter-Integrated Circuit)
Voltaje de operación	5V o 3.3V (dependiendo de la pantalla LCD)
Dirección I2C	Generalmente 0x27 o 0x3F (puede variar según el módulo)
Cantidad de cables necesarios	4 (VCC, GND, SDA, SCL)
Protocolo de comunicación	Serial, bidireccional
Dimensiones	Aproximadamente 4.5 x 2.3 cm
Corriente de funcionamiento	Aproximadamente 20 mA (dependiendo de la pantalla)
Compatibilidad	Compatible con pantallas LCD 16x2, 20x4 y otros dispositivos I2C
Adaptación	Facilita la conexión de dispositivos I2C sin necesidad de pines adicionales

Controlador principal	PCF8574 o equivalente
Uso típico	Control de pantallas LCD, sensores, y otros dispositivos I2C
Comunicación en cadena	Permite la conexión de varios dispositivos I2C en el mismo bus

4.3.3. Celda de carga

El sensor utilizado para medir el peso de las manzanas es una celda de carga (ver Fig. 4.21), que convierte el peso aplicado en una señal eléctrica. Este celda de carga funciona mediante el principio de deformación elástica: cuando se aplica peso sobre el sensor, este se deforma ligeramente. Esta deformación produce un cambio en la resistencia eléctrica del material, que es capturado por un circuito de medición, generalmente acompañado de un amplificador. La señal de salida es muy pequeña, por lo que debe ser amplificada para ser procesada adecuadamente por el microcontrolador. El amplificador utilizado es el módulo XFW – HX711 (ver Fig. 4.22). Las especificaciones técnicas de la celda de carga se presentan en la Tabla 4.8, y las especificaciones del módulo XFW – HX711 en la tabla 4.9.

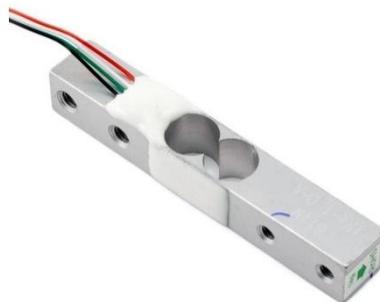


Fig. 4.21 – Celda de carga (1 kg) [26].

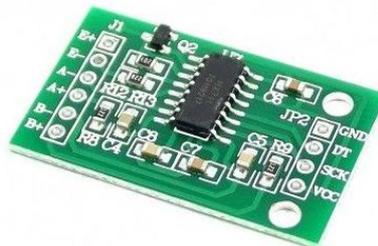


Fig. 4.22 – Módulo amplificador XFW – HX711 [26].

Tabla 4.8 – Especificaciones técnicas de la celda de carga [30].

Especificación	Descripción
Capacidad de carga	1 kg (1000 g)
Sensibilidad	Aproximadamente 1-2 mV/V
Voltaje de operación	5V
Material de fabricación	Acero inoxidable o aluminio (dependiendo del modelo)
Salida	Señal analógica (que generalmente requiere un amplificador para ser procesada)
Conexión	4 cables (E+, E-, A-, A+)
Temperatura de funcionamiento	-10°C a 40°C (dependiendo del modelo)

Tabla 4.9 – Especificaciones técnicas del módulo XFW – HX711 [30].

Especificación	Descripción
Voltaje de operación	2.7V - 5.5V
Consumo de corriente	< 1.5 mA (modo activo), < 1 μ A (modo en espera)
Interfaz de comunicación	Serial (dos líneas: Data y Clock)
Rango de entrada diferencial	\pm 20 mV (ganancia de 128)
Ganancia de amplificación	32, 64 o 128 (seleccionable)
Convertidor Analógico-Digital (ADC)	24 bits de resolución
Frecuencia de muestreo	10 Hz o 80 Hz (configurable)
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Conexión con celda de carga	4 pines (E+, E-, A+, A-)
Conexión con microcontrolador	4 pines (VCC, GND, DT, SCK)

4.3.4. Servo Motor MG995

Para la rotación de la cápsula de pesaje, el sistema de clasificación usa dos servo motores. Uno ubicado dentro de la cápsula, y otro ubicado en la base de los soportes de la cápsula. Este servo motor (ver Fig. 4.23) cuenta con una rotación limitada de 180° y usa un potenciómetro para conocer la posición angular del eje, En la Tabla 4.10 se describen las especificaciones técnicas del servo motor MG995, y en la Figura 4.24 se detallan las conexiones al microcontrolador.



Fig. 4.23 – Servo motor MG995 [20].

Tabla 4.10 – Especificaciones técnicas del servo motor MG995 [28].

Especificación	Descripción
Tipo de motor	Servo de rotación limitada
Voltaje de operación	4.8V - 7.2V
Torque máximo	9.4 kg·cm (4.8V) / 12 kg·cm (6V)
Velocidad de rotación	0.20 s/60° (4.8V) / 0.16 s/60° (6V)
Ángulo de giro	180° (aproximadamente)
Tipo de engranajes	Metálicos
Señal de control	PWM (1ms-2ms para 0°-180°)
Corriente en reposo	10 mA
Corriente en carga	~500 mA - 900 mA (dependiendo del esfuerzo)
Peso	Aproximadamente 55g
Dimensiones	40.7 × 19.7 × 42.9 mm

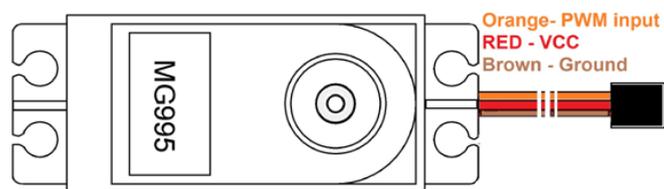


Fig. 4.24 – Conexiones del servo motor MG995 [28].

4.3.5. Adaptador de corriente 5V

Los componentes del circuito eléctrico, como el microcontrolador, los motores, el sensor y la pantalla funcionan con una tensión eléctrica de 5 voltios y con corriente continua. Para adaptar la corriente proveniente de una fuente de corriente alterna de 110 V (típica) se utiliza un transformador integrado en un circuito con protecciones. Este adaptador se ilustra en la Figura 4.25, mientras que las especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 4.11.



Fig. 4.25 – Adaptador de corriente 5V [20].

Tabla 4.11 – Especificaciones técnicas del adaptador de corriente [29].

Especificación	Descripción
Voltaje de entrada	110V – 120 V Corriente Alterna
Frecuencia de entrada	50Hz - 60Hz
Voltaje de salida	5V CC
Corriente de salida	2 Amperios
Eficiencia energética	Aproximadamente 80%
Protección	Sobrecarga, cortocircuito, sobrecalentamiento
Formato	Cargador de pared

4.3.6. Buzzer: dispositivo de generación de sonido

Para una retroalimentación sonora de la máquina al usuario se utiliza un dispositivo de generación de sonido, denominado buzzer (ver Fig. 4.26). Este dispositivo funciona haciendo vibrar una membrana interna, con solo aplicar un voltaje (buzzer activo). En la tabla 4.12 se detallan las especificaciones técnicas.



Fig. 4.26 – Buzzer activo [23].

Tabla 4.12 – Especificaciones técnicas del buzzer [29].

Especificación	Descripción
Voltaje de operación	5V – CC
Consumo de corriente	5mA - 30mA
Frecuencia de sonido	1 kHz - 4 kHz
Nivel de sonido	85 - 100 dB (dependiendo del voltaje)
Dimensiones	10 mm de diámetro
Tipo	Activo

4.3.7. Pulsadores

Para que el operario pueda interactuar con la interfaz humano-máquina (HMI) se utilizan pulsadores, que son interruptores de acción momentánea (ver Fig. 4.27). El tipo de pulsador utilizado es un normalmente abierto (NO), el cual en estado de reposo mantiene el circuito abierto (sin conexión eléctrica).



Fig. 4.27 – Pulsador normalmente abierto [23].

4.3.8. Cálculos de consumo de corriente

Es necesario conocer el consumo de corriente en operación activa para poder escoger el adaptador de corriente adecuado para esta aplicación. Para obtener este valor se puede utilizar la ley de Kirchhoff para nodos (Ecuación 4.1), que calcula la corriente total en paralelo. Cabe destacar que esta ley se puede utilizar siempre y cuando los componentes funcionen a la misma tensión eléctrica.

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde:

I_{total} = corriente total que debe suministrar la fuente, medida en [A].

I_1, I_2, \dots, I_n = corrientes consumidas por cada componente, medidas en [mA].

Para realizar este cálculo debemos conocer el consumo de corriente eléctrica de cada componente del circuito eléctrico (ver Tabla 4.13).

Tabla 4.13 – Consumo de corriente de los componentes eléctricos.

Componente eléctrico	Consumo de corriente
Raspberry Pi Pico	91 mA
Pantalla LCD	40 mA
Módulo I2C	10 mA
Servo Motor MG995 x2	1600 mA
Módulo XFW-HX711 (con celda de carga)	7 mA
Buzzer activo	30 mA

Sustituyendo los valores de consumo de corriente eléctrica de cada componente en la ecuación 4.1, se obtiene el siguiente resultado.

$$I_{total} = 0,091 A + 0,04 A + 0,01 A + 1,6 A + 0,007 A + 0,03 A \approx 1,778 A$$

La fuente que se utiliza en este circuito es de 2 Amperios, superior al consumo de corriente en operación activa que es de aproximadamente 1,778 A.

Adicionalmente, se calcula la potencia eléctrica del circuito con la ecuación 4.2.

$$P = V \cdot I \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Donde:

P = potencia medida en Watts [W].

V = voltaje de operación medida en Volts [V].

I = corriente total medida en Amperios [A].

Se reemplaza el voltaje de operación de 5V y la corriente consumida en operación activa de aproximadamente 1,778 A en la ecuación 4.2.

$$P = 5 V \cdot 1,778 A \approx 8,89 W$$

4.4. Diseño y manufactura del prototipo

Para el modelo en 3D del prototipo se utilizó el software SolidWorks de diseño asistido por computador (CAD). Este programa permite dimensionar y ubicar en el espacio tridimensional todos los componentes de la máquina. Además, estos archivos se utilizaron para la manufactura y construcción del prototipo funcional de la máquina. A continuación, se describe el proceso de diseño de los sistemas y las técnicas de manufactura utilizadas.

4.4.1. Diseño del mecanismo de clasificación

El mecanismo de clasificación consiste en una cápsula de pesaje que cuenta con dos grados de libertad (GDL), rotación alrededor del eje X y rotación alrededor del eje Y (ver Fig. 4.28).

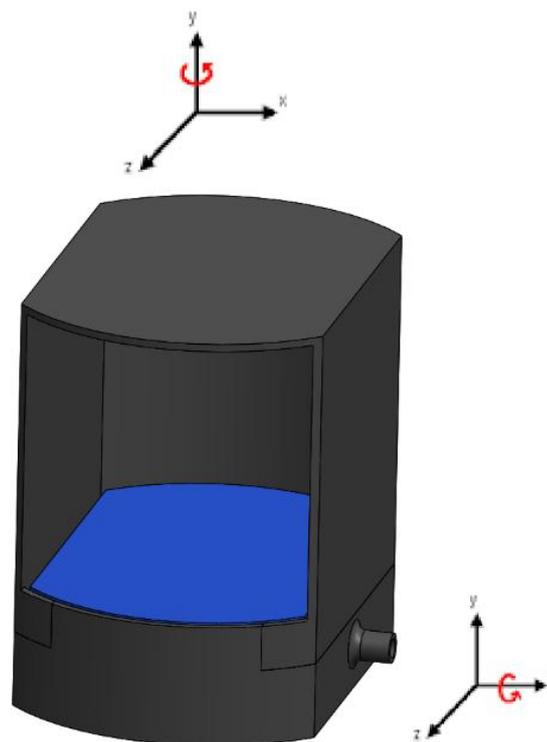


Fig. 4.28 – Grados de libertad de la cápsula de pesaje.

La capsula se apoya en los extremos de los laterales. Para el extremo derecho se utiliza un eje que se apoya sobre un rodamiento de 22 mm (ver Fig. 4.29 b), mientras que para el extremo izquierdo se utiliza el eje del servo motor (ver Fig. 4.29 a) que sirve para la rotación alrededor del eje X.

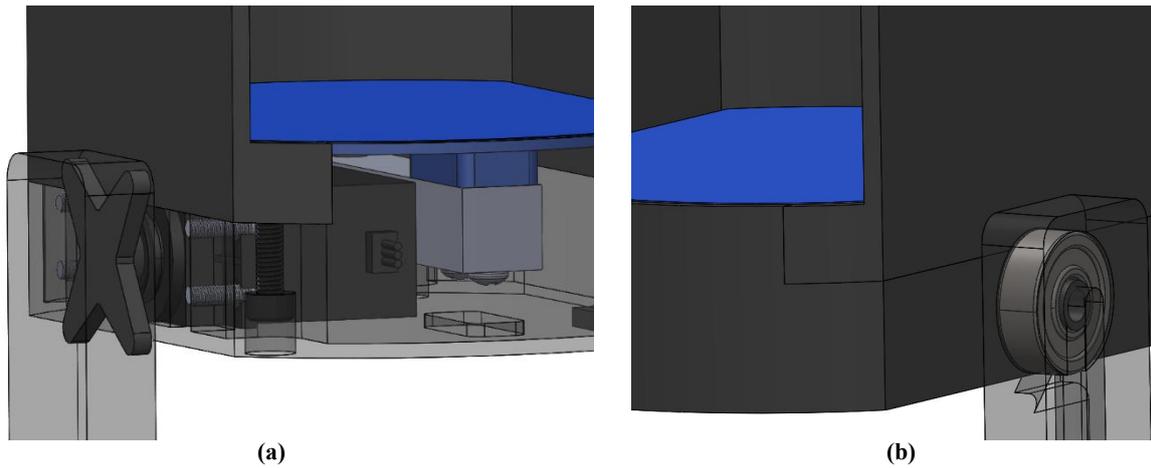


Fig. 4.29 – Extremo izquierdo (a) y extremo derecho (b) de la cápsula de pesaje.

Los extremos de la cápsula de pesaje se apoyan sobre soportes laterales (ver Fig. 4.30 a). El ensamble completo del soporte de la cápsula, junto con el soporte transversal se muestra en la Figura 4.30 b.

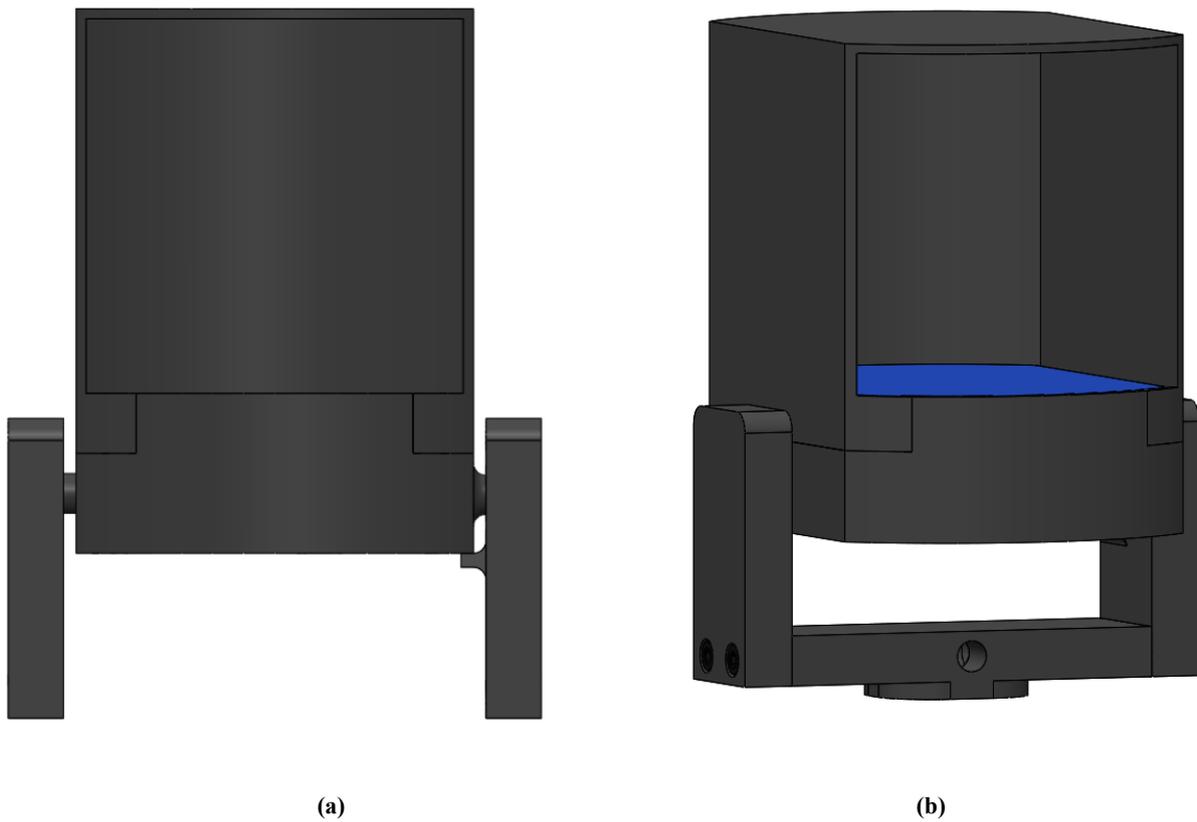


Fig. 4.30 – Soportes laterales de la cápsula (vista frontal)(a), Ensamble de soporte de la cápsula (b)

Existe un ducto que pasa por el lateral derecho y el soporte transversal que sirve para pasar los 3 cables del servo motor y los 4 cables de la celda de carga (ver Fig. 4.31).

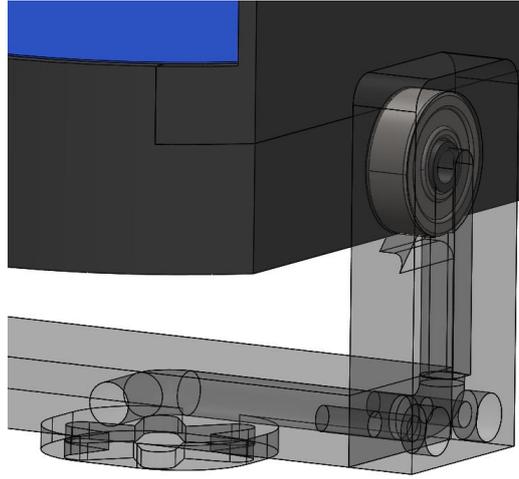


Fig. 4.31 – Ducto para el cableado de los componentes internos de la cápsula.

El soporte de la cápsula se apoya sobre una base que contiene el servo motor (ver Fig. 4.32 b) para la rotación alrededor del eje Y (ver Fig. 4.32 a). Esta base se apoya sobre una estructura metálica que sirve como soporte para toda el resto de la máquina (ver Fig. 4.33).

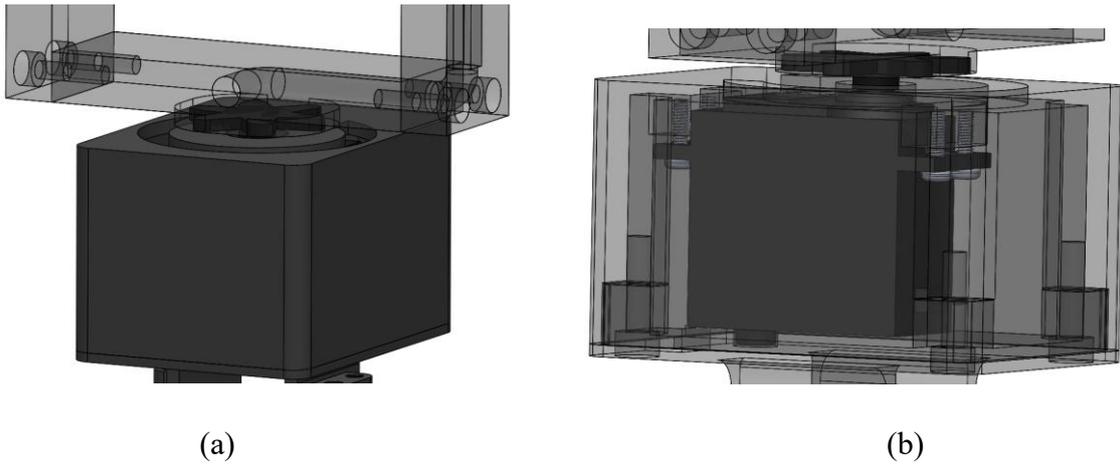


Fig. 4.32 – Base del soporte de la cápsula de pesaje (a) que contiene el servo motor (b).

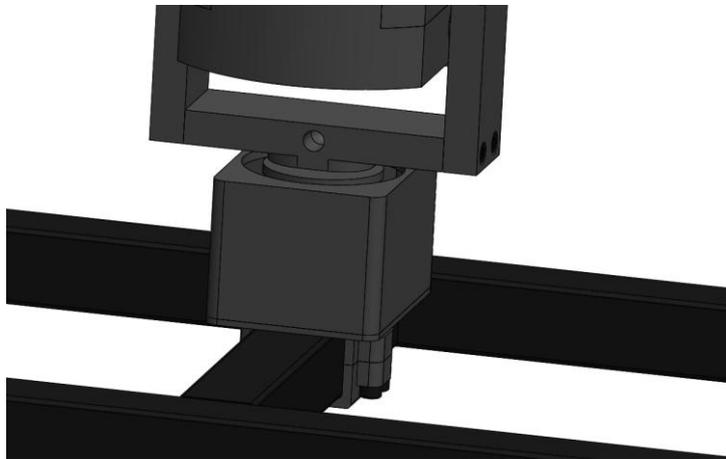


Fig. 4.33 – Base del soporte apoyada sobre la estructura metálica.

Para garantizar un direccionamiento preciso de las manzanas una vez clasificadas, se implementa una interfaz diseñada específicamente para ajustarse al patrón de movimiento de la cápsula de pesaje (ver Fig. 4.34). Esta interfaz cumple la función de guiar cada manzana hacia la salida correspondiente según la categoría asignada durante el proceso de clasificación, asegurando un flujo ordenado y eficiente dentro del sistema. Su diseño considera tanto la mecánica del desplazamiento como la sincronización con el mecanismo de pesaje. En la Figura 4.35 se ilustra la vista en isometría de la interfaz de clasificación.

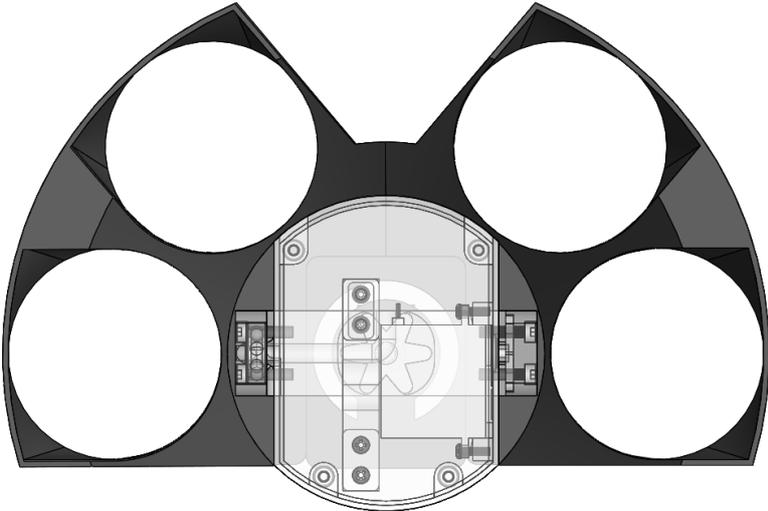


Fig. 4.34 – Interfaz de clasificación (vista superior)

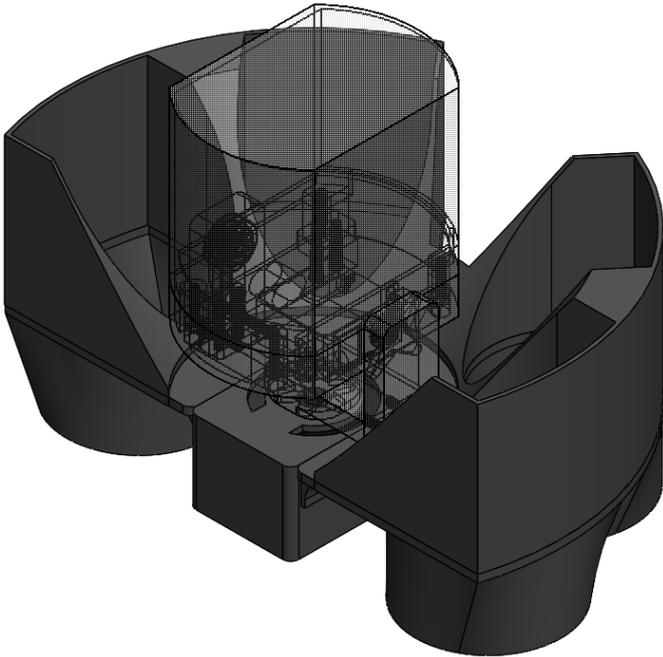


Fig. 4.35 – Interfaz de clasificación (vista isométrica)

4.4.2. Manufactura del sistema de clasificación

Para la fabricación del sistema de clasificación, se empleó tecnología de impresión 3D, una opción altamente versátil que facilita la creación de componentes personalizados con un nivel de detalle preciso y adaptado a los requerimientos del diseño. Esta tecnología permite un prototipado rápido y eficiente, lo que agiliza el proceso de desarrollo al posibilitar iteraciones y ajustes sin incurrir en costos elevados asociados a métodos tradicionales de manufactura.

Además, al tratarse de un proceso de manufactura aditiva, se optimiza el uso del material, reduciendo el desperdicio y asegurando una producción más sostenible. Otra ventaja clave de este enfoque es la capacidad de fabricar piezas con tolerancias aceptables, lo que garantiza un ensamblaje adecuado y un funcionamiento eficiente de los mecanismos involucrados en la clasificación de manzanas. De esta manera, la impresión 3D no solo reduce el tiempo de producción y los costos, sino que también contribuye a la flexibilidad del diseño, permitiendo adaptaciones específicas que optimizan el rendimiento del sistema dentro del proyecto.

En la Figura 4.36, se presenta una fotografía que muestra en detalle la impresora 3D utilizada en la fabricación de los componentes estructurales del sistema de clasificación, junto con el mecanismo de clasificación en su estado final ensamblado.

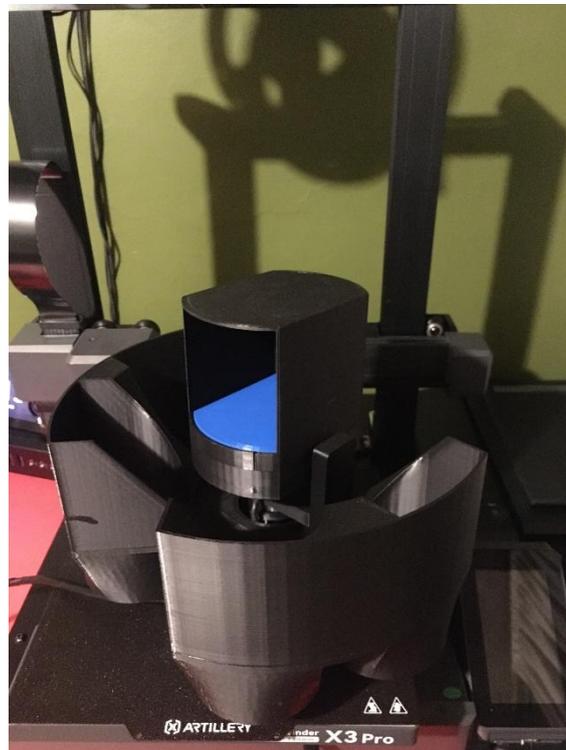


Fig. 4.36 – Sistema de clasificación manufacturado con tecnología de impresión 3D.

4.4.3. Diseño de la estructura mecánica

El sistema de clasificación y el sistema de control están montados sobre una estructura metálica, fabricada con tubos cuadrados de acero negro (ver Fig. 4.37). Esta estructura ha sido diseñada para garantizar la integración de todos los componentes, permitiendo que tanto la cápsula de pesaje como el mecanismo de direccionamiento operen sin interferencias.

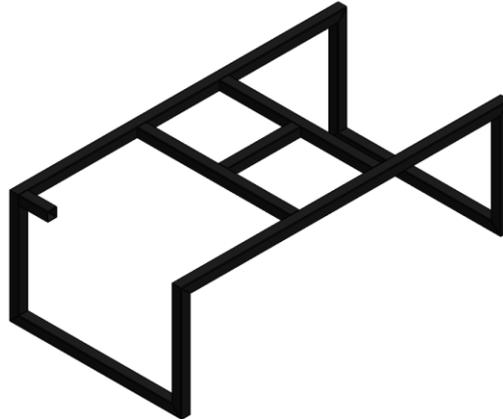


Fig. 4.37 – Diseño de la estructura metálica.

4.4.3.1. Análisis estático de la estructura

Para garantizar que la estructura soporta las cargas a las cuales estará sometida, en condiciones normales de operación, se realizó un análisis de carga estática. Como resultados se obtienen las deflexión, esfuerzo de von Mises y factores de seguridad.

Partiendo del modelo 3D se creó un estudio de análisis estático. Para ello se seleccionó el acero AISI 1020. Como condiciones de contorno se establecen las cargas externas que provienen del sistema de clasificación y el sistema de control (ver Fig 4.38 a). Por otra parte, se restringe el movimiento en las barras que soportan la estructura (ver Fig. 4.38 b).

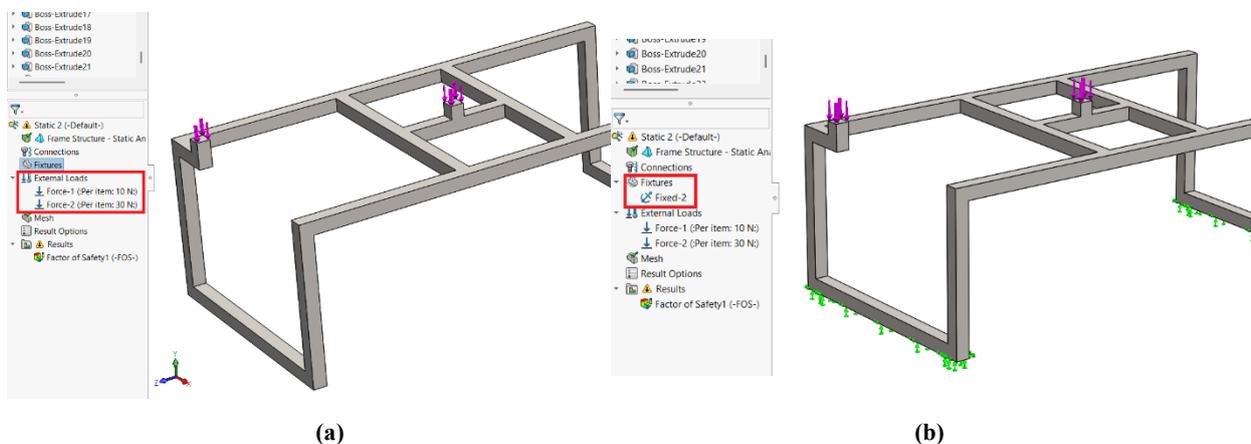


Fig. 4.38 – Condiciones de contorno de la estructura (a) y restricción del movimiento de la estructura (b)

Se aplica un tipo de malla sólida a toda la estructura (ver Fig. 39). Finalmente, se ejecuta el estudio obteniendo la distribución de esfuerzos y desplazamientos, así como el factor de seguridad de la estructura.

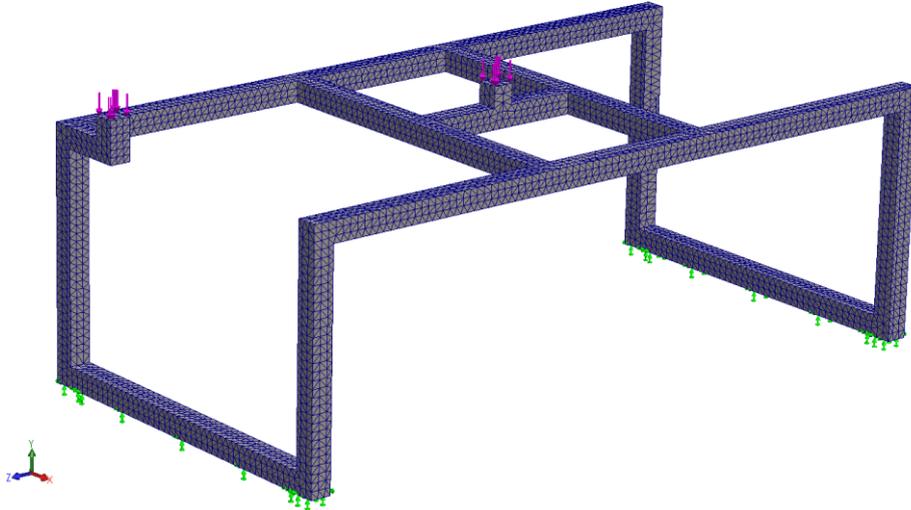


Fig. 4.39 – Malla sólida para la estructura.

Los resultados del análisis por elementos finitos (FEA) se detallan en la Tabla 4.14. El mapa de esfuerzos representa visualmente una escala de colores que indica el nivel de esfuerzos (Fig. 4.40 a) y desplazamientos (Fig. 4.40 b) resultado de la simulación.

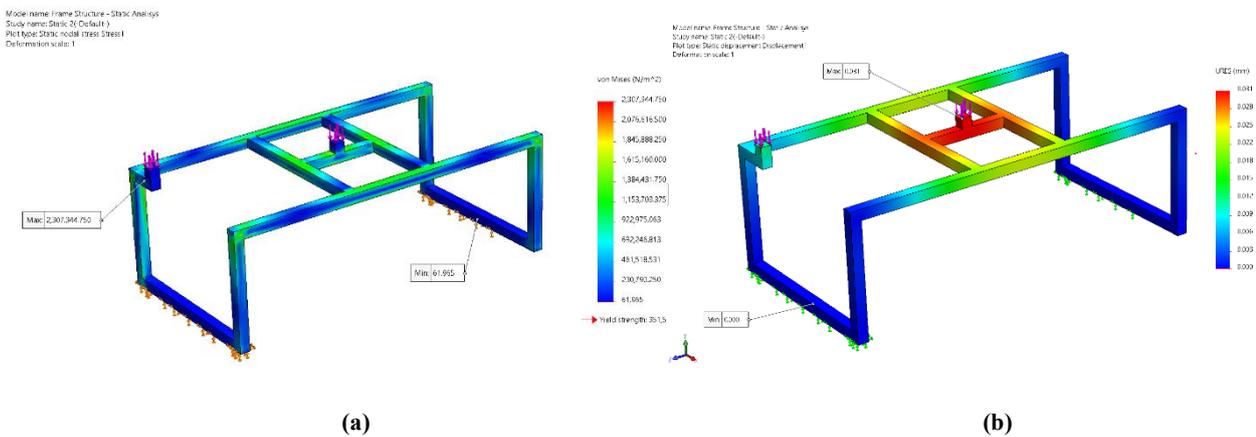


Fig. 4.40 – Distribución de esfuerzos estáticos (a) y Distribución de desplazamientos (b)

Tabla 4.14 – Resultados del análisis por elementos finitos.

Parámetro	Valor
Esfuerzo (Von Mises)	3,268 MPa
Desplazamiento	0,032 mm
Factor de Seguridad	107,568

El límite elástico de este material es de 350 MPa, que es 107,568 mayor que el esfuerzo máximo soportado por la estructura. Por consiguiente, no existe riesgo de que la estructura falle.

4.4.3.2. Disposición de las gavetas

Sus dimensiones han sido ajustadas para adaptarse al ancho de las gavetas, las cuales están dispuestas en una configuración matricial de 2x2 (ver Fig. 4.41), facilitando así la organización y distribución de las manzanas clasificadas.

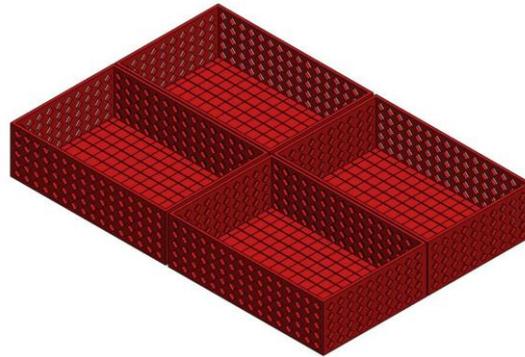


Fig. 4.41 – Gavetas de manzanas ubicadas en una matriz de 2x2.

4.4.4. Manufactura de la estructura

Para la manufactura de la estructura mecánica se partió de un tubo de 6 metros de largo, longitud que se encuentra en el mercado local. Los tubos fueron cortados con las medidas determinadas por el modelo en 3D usando una tronzadora (ver Fig. 4.42). Esta herramienta asegura cortes transversales y a 45 grados con alta precisión, necesarios para posteriormente soldarlos.



Fig. 4.42 – Tronzadora para cortes de perfiles metálicos [33].

Los tubos ya cortados fueron unidos permanentemente mediante soldadura MIG (Metal Inert Gas), que asegura una correcta fusión de materiales especialmente con tubos delgados. En la Figura 4.43 se observa la operación de soldadura para la construcción del prototipo.



Fig. 4.43 – Operación de soldadura MIG para la unión de los tubos.

En la Figura 4.44 se muestra una fotografía de la estructura metálica terminada, ubicada encima de las gavetas de las cuatro categorías.



Fig. 4.44 – Estructura metálica de la máquina junto con las gavetas.

Finalmente, para proteger la estructura contra la corrosión y mejorar su apariencia estética, se aplicó un recubrimiento de pintura negra esmaltada (ver Fig. 4.45).



Fig. 4.45 – Estructura metálica con recubrimiento de pintura esmaltada.

4.4.5. Diseño de la placa de circuito impreso

Para el diseño de la placa de circuito impreso (PCB), se empleó el software EasyEDA, una herramienta que permitió llevar a cabo todo el proceso de diseño del circuito electrónico. Inicialmente, se elaboró un esquemático que incluyó todos los elementos necesarios para el funcionamiento de la máquina, como la Raspberry Pi Pico, el módulo HX711, los pulsadores, el buzzer y las borneras para los dos servo motores, la celda de carga, la pantalla LCD y la fuente de alimentación. El plano esquemático se detalla en la Figura 4.46.

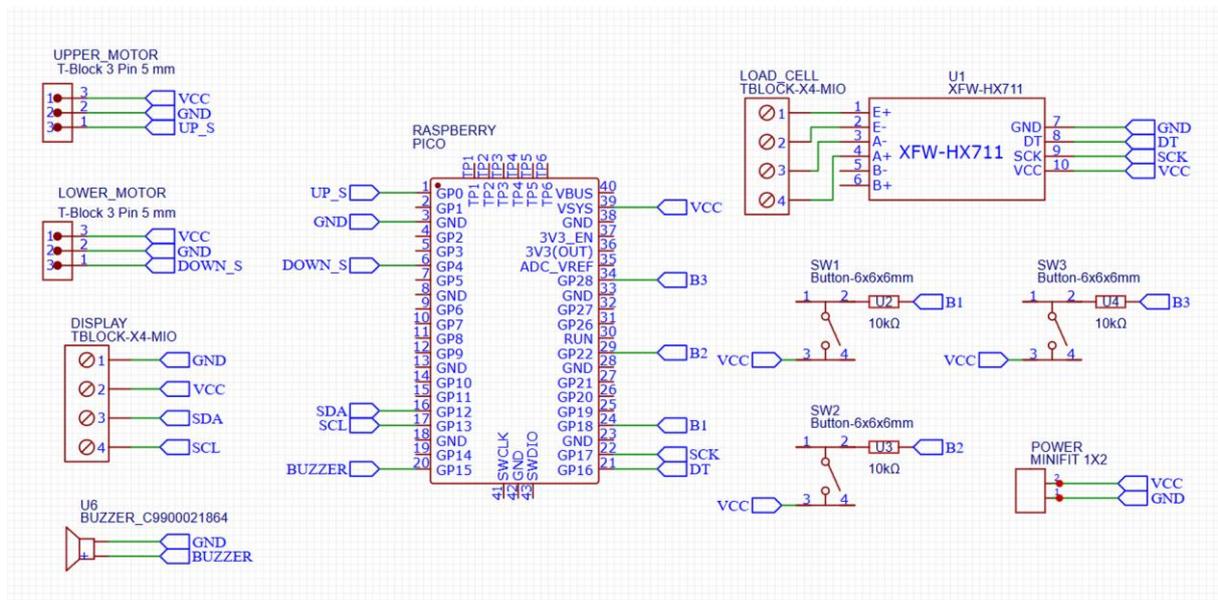


Fig. 4.46 – Diseño esquemático del circuito eléctrico.

Este diseño esquemático sirvió como base para el desarrollo de las pistas de la PCB. A partir de la representación esquemática, se trazaron las pistas de conexión en el layout de la placa, asegurando que la distribución de los componentes fuera óptima para una correcta transmisión de señales y potencia (ver Fig. 4.47). El diseño se realizó utilizando solo una capa, lo que permitió simplificar el proceso de fabricación y reducir los costos, manteniendo la funcionalidad.

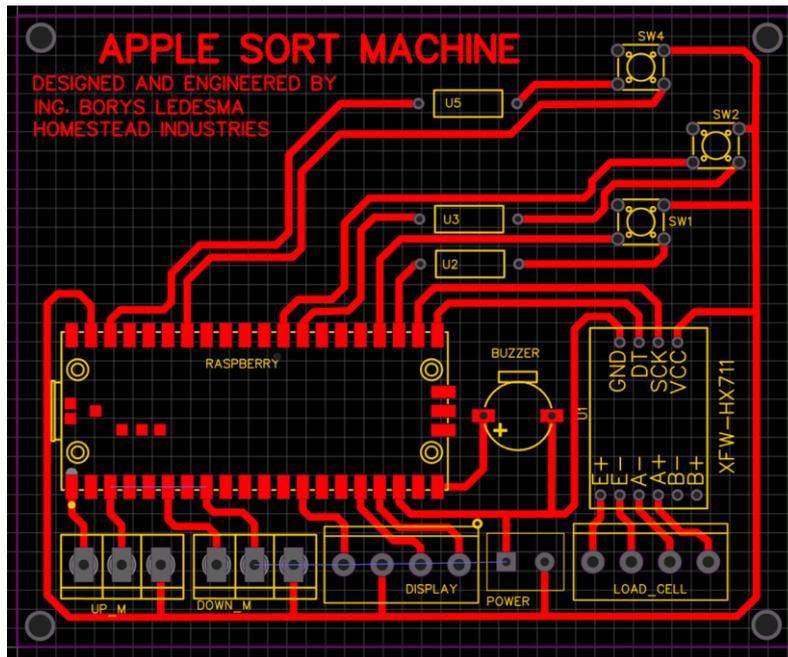


Fig. 4.47 – Diseño de la placa de circuito impreso.

4.4.6. Fabricación de la placa de circuito impreso PCB

Para la fabricación de la placa de circuito impreso (PCB), se utilizó el método de planchado, un proceso que simplifica considerablemente la fabricación y reduce los costos en comparación con métodos más complejos. Este proceso comienza con la impresión del negativo del circuito en papel fotográfico (ver Fig. 4.48) utilizando una impresora láser, lo que permite obtener una copia precisa del diseño de la PCB.

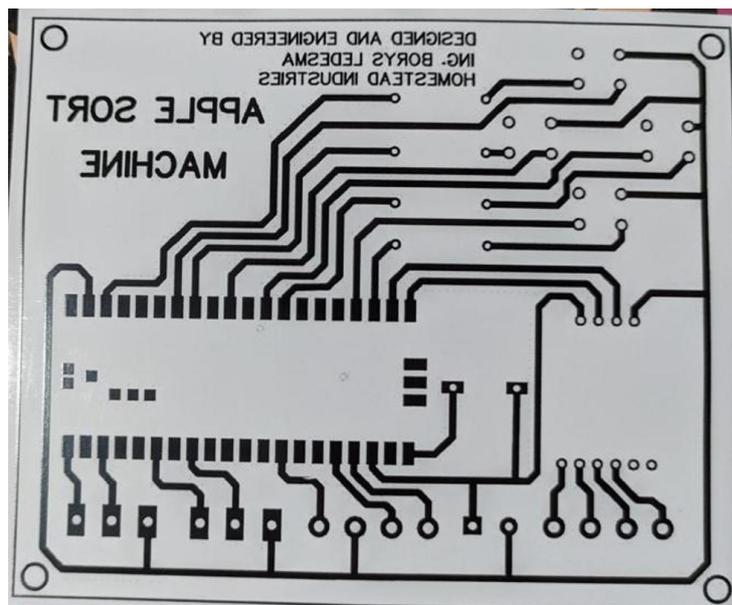


Fig. 4.48 – Negativo del circuito.

Posteriormente, el papel fotográfico con el diseño impreso se coloca sobre una placa de fibra de vidrio cubierta con cobre, la cual servirá como base para el circuito. Para asegurar una transferencia completa del diseño, se coloca una lámina de aluminio sobre el papel fotográfico (ver Fig. 4.49).

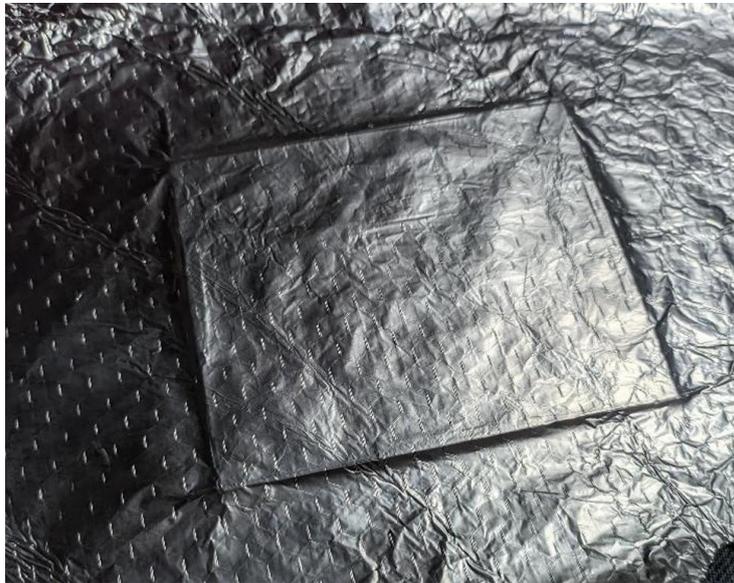


Fig. 4.49 – Lámina de aluminio sobre la PCB.

Luego, se emplea una plancha a alta temperatura para aplicar calor y presión, lo que provoca que el tóner se adhiera a la placa de cobre, creando así el patrón del circuito sobre el material. La transferencia realizada completamente se muestra en la fotografía de la Figura 4.50.

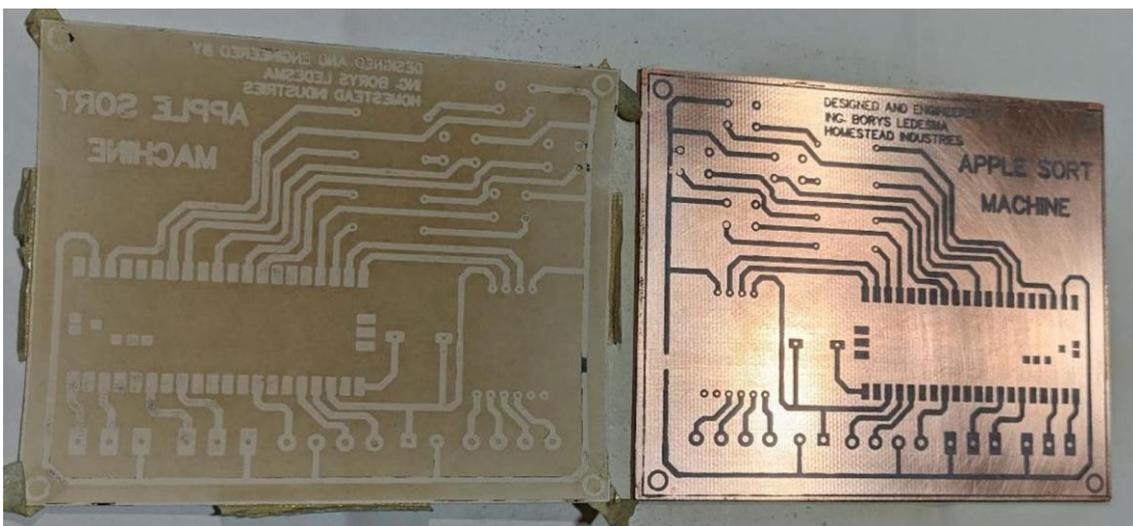


Fig. 4.50 – Transferencia del tóner a la placa con cobre.

Una vez realizada la transferencia, se procede a retirar el cobre restante mediante un proceso de grabado con ácido (cloruro férrico), que disuelve el cobre no protegido por el tóner, dejando las pistas del circuito (ver Fig. 4.51).

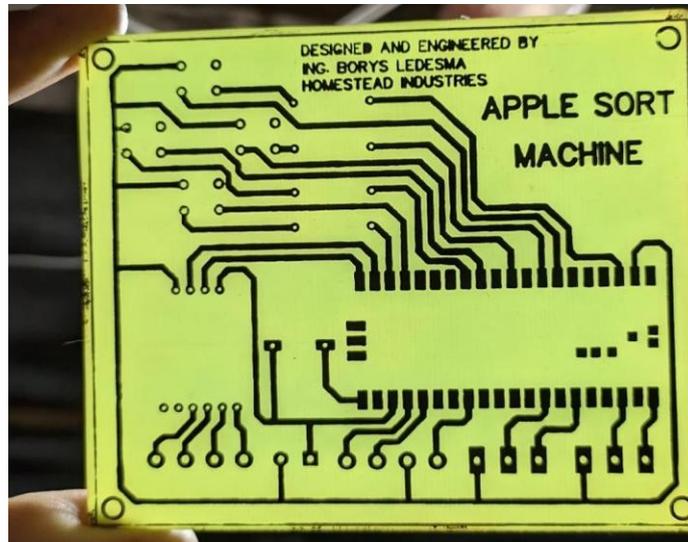


Fig. 4.51 – Circuito de la PCB en contra luz.

Finalmente, la placa es perforada utilizando una broca de 1 mm, lo que permite crear los agujeros necesarios para los componentes electrónicos. Este proceso, aunque manual, es efectivo para la creación de prototipos rápidos y económicos, permitiendo obtener una PCB funcional en un tiempo relativamente corto. En la Figura 4.52. se muestra una fotografía con de la PCB con todos los elementos.

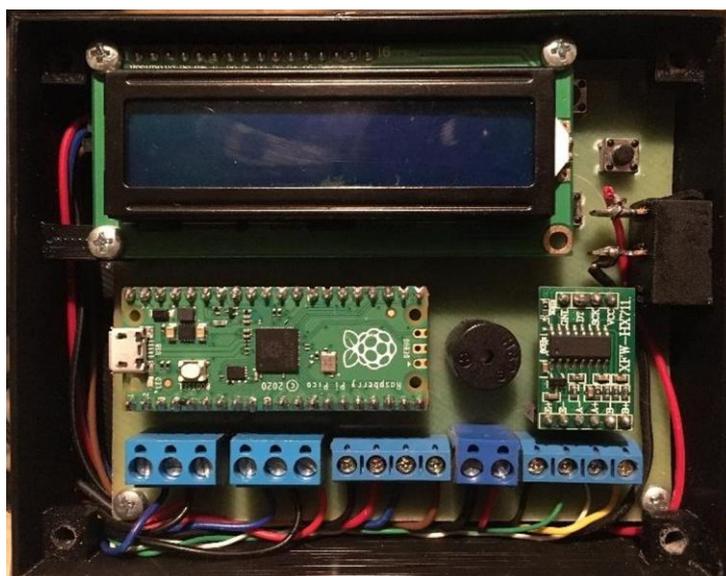


Fig. 4.52 – Componentes eléctricos del circuito montados en la PCB.

4.5. Software de control

El lenguaje de programación utilizado para la Raspberry Pi Pico fue MicroPython, una versión optimizada de Python diseñada específicamente para microcontroladores y sistemas embebidos. MicroPython ofrece una sintaxis sencilla y eficiente, facilitando el desarrollo y la implementación del código. La estructura del programa se diseñó de manera modular para mejorar la organización y facilitar futuras modificaciones. En la Figura 4.53 se detalla las librerías usadas para el software control. El Anexo A incluye todas las líneas de código utilizadas por el microcontrolador.

```
category.py
hx711_gpio.py
lcd_api.py
main.py
pico_i2c_lcd.py
```

Fig. 4.53 – Librerías para el software de control.

4.5.1. Diagrama de flujo del programa



Fig. 4.54 – Diagrama de flujo del programa de control.

4.5.2. Descripción de las librerías

El código principal se encuentra en el archivo `main.py`, donde se implementa la lógica central del sistema, coordinando la interacción entre los diferentes componentes. Para el control de los servo motores, encargados de direccionar las manzanas según su categoría, se creó una biblioteca específica llamada `category.py`, la cual encapsula las funciones necesarias para el movimiento preciso de estos actuadores. Además, se incluyó la librería `hx711_gpio.py` dedicada a la gestión del módulo HX711, el cual es responsable de procesar las señales de la celda de carga utilizada para pesar cada manzana antes de ser clasificada.

Para la comunicación con la pantalla LCD 16x2 con interfaz I2C, se integraron las bibliotecas `pico_i2c_lcd.py` y `lcd_api.py`, que permiten enviar información y mostrar datos relevantes en tiempo real, mejorando la interacción con el sistema. Esta estructura modular no solo facilita la depuración y mantenimiento del código, sino que también permite una mayor flexibilidad en la programación, asegurando un control eficiente de la máquina de clasificación de manzanas.

4.6. Pruebas de funcionamiento

El objetivo de las pruebas de funcionamiento es verificar el desempeño operativo del prototipo de la máquina para clasificar manzanas, evaluando el cumplimiento de los requerimientos funcionales definidos en el diseño. Las pruebas se enfocan en la precisión del sistema de medición, el funcionamiento de los actuadores y la correcta clasificación de las frutas según los rangos de peso establecidos.

4.6.1. Metodología de prueba

Se realizaron ensayos con lotes de manzanas de diferentes pesos conocidos, previamente medidos con una balanza digital de referencia. Cada manzana fue colocada manualmente por el operador en la cápsula de pesaje. El sistema realiza la medición del peso y, en función del valor, acciona el mecanismo de clasificación para dirigir la manzana hacia la categoría correspondiente.

4.6.2. Criterios de evaluación

Se establecieron los siguientes criterios para la evaluación del sistema:

- **Precisión de pesaje:** diferencia entre el peso medido por la máquina y el peso real de la manzana (en gramos).
- **Exactitud en clasificación:** porcentaje de manzanas correctamente clasificadas.
- **Tiempo de ciclo:** tiempo desde que se coloca la manzana hasta su clasificación.

- **Repetibilidad del sistema:** consistencia al clasificar manzanas con el mismo peso.

4.6.3. Resultado de las pruebas

Las mediciones de peso, y los resultados de clasificación se detallan en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 – Resultados de la prueba de funcionamiento.

Nº	Peso real (g)	Peso medido (g)	Clasificación esperada	Clasificación obtenida	Tiempo (s)
1	105	103	Primera Categoría	Primera Categoría	2,5
2	85	89	Segunda Categoría	Segunda Categoría	2,6
3	132	127	Primera Categoría	Primera Categoría	2,5
4	65	69	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,4
5	71	68	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,5
6	59	57	Cuarta Categoría	Cuarta Categoría	2,4
7	127	131	Primera Categoría	Primera Categoría	2,7
8	112	107	Primera Categoría	Primera Categoría	2,8
9	65	69	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,4
10	87	93	Segunda Categoría	Segunda Categoría	2,7
11	55	58	Cuarta Categoría	Cuarta Categoría	2,4
12	64	66	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,4
13	78	74	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,5
14	146	138	Primera Categoría	Primera Categoría	2,7
15	121	116	Primera Categoría	Primera Categoría	2,6
16	101	96	Primera Categoría	Segunda Categoría	2,8
17	58	56	Cuarta Categoría	Cuarta Categoría	2,7
18	57	54	Cuarta Categoría	Cuarta Categoría	2,9
19	69	73	Tercera Categoría	Tercera Categoría	2,5
20	83	84	Segunda Categoría	Segunda Categoría	2,7

Se obtuvo un porcentaje de clasificación correcta del 95%, una precisión promedio de medición de peso de $\pm 3,8$ gramos, y un tiempo de ciclo promedio de 2,6 segundos, lo cual es aceptable para la etapa de prototipo. Las pruebas de funcionamiento validan que el prototipo cumple con los requerimientos de clasificación por peso, mostrando un buen desempeño en precisión y fiabilidad.

CONCLUSIONES

El desarrollo del prototipo de una máquina clasificadora de manzanas para productores de pequeña escala permitió la integración de conocimientos de ingeniería mecatrónica en un proyecto aplicado al sector agroindustrial. A lo largo del proceso de diseño, construcción y pruebas, se cumplieron los objetivos específicos planteados, consolidando tanto las competencias técnicas del autor como la viabilidad del enfoque propuesto.

En primer lugar, se determinaron los requerimientos de los productores de manzana de pequeña escala. Con base a esta información se establecieron las directrices para la selección de los componentes que forman parte de la máquina.

Posteriormente, se diseñó una estructura funcional que combina sistemas mecánicos, electrónicos y de control para realizar la clasificación de manzanas en función de su peso. La selección de componentes como la celda de carga, el módulo HX711 y los servomotores permitió construir un sistema de pesaje confiable, el cual fue controlado mediante la placa de desarrollo Raspberry Pi Pico. Este conjunto demostró ser adecuado para tareas de medición en tiempo real y ejecución de decisiones de clasificación automática.

Durante la etapa de pruebas, el sistema alcanzó una tasa de clasificación correcta del 95%, con un margen de error promedio de $\pm 3,8$ gramos entre el peso real y el peso medido por el sistema. Estos resultados validan la precisión del sistema de pesaje y la efectividad del algoritmo de decisión implementado.

El proceso de desarrollo también permitió evaluar la pertinencia del uso de tecnologías de prototipado rápido, como la manufactura aditiva (impresión 3D), para la fabricación de piezas personalizadas que redujeron costos y facilitaron la iteración en el diseño. Además, la simulación de esfuerzos mediante software CAD permitió asegurar la integridad estructural del soporte metálico de la máquina sin recurrir en sobrecostos por sobredimensionamiento.

No obstante, el prototipo presenta algunas limitaciones. Una de ellas es la necesidad de intervención manual para colocar las manzanas sobre la plataforma de pesaje, lo que reduce la velocidad de clasificación y puede introducir variaciones en la medición.

En síntesis, el proyecto demuestra que es viable implementar soluciones mecatrónicas de bajo costo para apoyar procesos de clasificación en el sector agroalimentario. El prototipo representa una base sólida para futuras mejoras, tanto a nivel funcional como en escalabilidad industrial.

RECOMENDACIONES

A partir de la experiencia adquirida durante el desarrollo del presente proyecto, así como de los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento, se proponen las siguientes recomendaciones técnicas con el fin de optimizar el desempeño del prototipo.

- Implementar un sistema de alimentación automática de manzanas: la colocación manual de las manzanas sobre la plataforma de pesaje representa un cuello de botella en el proceso. Se recomienda diseñar e integrar un mecanismo automatizado de alimentación, como una tolva o banda transportadora controlada, que permita cargar las manzanas de forma secuencial y repetible, disminuyendo la dependencia de la intervención humana y aumentando el rendimiento operativo del sistema.
- Optimizar la estructura de soporte y los elementos de posicionamiento: durante las pruebas se evidenció que la precisión del pesaje puede verse afectado por una colocación inadecuada de la manzana. Se recomienda diseñar una guía que centre automáticamente la manzana sobre la cápsula de pesaje, asegurando una distribución uniforme del peso y mejorando la repetibilidad de las mediciones.
- Explorar la integración de una interfaz de usuario más intuitiva: la inclusión de una pantalla LCD básica resultó útil para monitorear los resultados del proceso. No obstante, se recomienda desarrollar una interfaz gráfica más completa, posiblemente una pantalla táctil o mediante una aplicación externa, que permita configurar parámetros, visualizar estadísticas, y registrar los datos de clasificación para su análisis posterior.

REFERENCIAS

- [1] A. Medina, “La producción local de manzanas no puede cubrir la demanda todo el año,” *El Comercio*, Quito, Mar. 24, 2015. Accessed: Nov. 05, 2022. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/manzanas-produccion-local-salvaguardias-ecuador.html>
- [2] A. García, “Maquinaria agrícola en Ecuador,” Quito, Apr. 2018.
- [3] J. Cajamarca, “Diseño y simulación de una máquina clasificadora y contadora de tomates de árbol,” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2021.
- [4] W. Fustamante and L. Vásquez, “Diseño de una máquina automatizada clasificadora de cebolla por tamaño y color,” Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2018.
- [5] T. Hurtado, “Máquina para clasificar aguacates por su peso,” Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2015.
- [6] Z. Debin, “Estructura de clasificación de frutas de tipo cónico con ranura espiral y máquina de clasificación de frutas, Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB, Colombia,” 2018
- [7] H. Qifeng, “Seleccionadora de frutas,” CN208275767, 2018
- [8] T. Gangqiang, “Clasificadora de limones,” CN209319890, 2019
- [9] A. Ramos, “Diseño de un sistema de clasificación para limón por tamaño y color,” *Universidad de Piura*, 2019.
- [10] L. Torres, “Propuesta y diseño de un sistema de transporte y clasificación por peso para aguacate,” Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, 2022.
- [11] M. Granados and J. Carrillo, “Diseño y construcción de una máquina clasificadora de duraznos utilizando inteligencia artificial,” Universidad Autónoma de Bucaramanga, Colombia, 2020.
- [12] J. Sánchez-Hermosilla, “Máquina clasificadora de frutas y hortalizas portátil,” *Universidad de Almería, España*, 2016.
- [13] B. Carvallo, “Diseño de un sistema automatizado para clasificar frutas y verduras para banco de alimentos,” *Escuela Superior Politécnica del Litoral*, 2022.

- [14] P. Viteri, “Manual del cultivo de manzano (*Malus domestica* B.) para los valles interandinos templados del Ecuador,” *Repositorio Digital INIAP*, 2020.
- [15] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, “Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer,” *Gobierno de México*, 2020.
- [16] Bakker Levi, “5 ventajas de la automatización con tecnología de clasificación de frutas y verduras,” *Ellips, España*, 2021.
- [17] C. Mota and C. Suárez, “Clasificación de manzanas utilizando visión artificial y redes neuronales artificiales,” *DOI 10.25054/22161325.1917*, 2022.
- [18] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Norma para las manzanas CODEX STAN 299,” 2020.
- [19] S. Gallardo, *Circuitos electrónicos analógicos*. Ediciones Paraninfo, S.A, 2023.
- [20] R. Seippel, *Fundamentos de electricidad*. Editorial Reverté, 2021.
- [21] J. Vázquez del Real, *Circuitos lógicos digitales 4ed*. Editorial Marcombo, 2024.
- [22] F. Sabry, *Computación Física: Explorando la visión por computadora en la computación física*. Editorial Mil millones de conocimientos, 2024.
- [23] C. Vieira, *MicroPython - Aprenda a programar microcontroladores*. Editorial Expressa Érica, 2021.
- [24] R. Ramírez, *Digitalización aplicada a los sectores productivo (GS)*. Editorial Marcombo, 2024.
- [25] A. Miravete de Marco, *Aparatos de elevación y transporte*. Editorial Reverté, 2021.
- [26] J. Gómez and A. Sanchez, *Simulación de sistemas mecatrónicos*. Ediciones Paraninfo, 2021.
- [27] Tolomatic, *Literatura sobre los actuadores lineales eléctricos*. 2020.
- [28] Á. González, *Accionamientos eléctricos. Fundamentos, control y aplicaciones*. Ediciones Paraninfo, 2022.
- [29] J. Roldán, *Montaje de instalaciones automatizadas*. Editorial Paraninfo, 2021.

- [30] L. Hurtado, *Mecatrónica: modelado, simulación y control de sistemas físicos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2022.
- [31] A. Martínez, H. Moreno, and I. Carrera, *Automática y robótica en Latinoamérica. Aportes desde la Academia*. Pontificia Universidad Javeriana de Cali, 2021.
- [32] A. Lamikiz Mentxada, *Fabricación Aditiva*. Editorial UNED, 2023.
- [33] J. Sancho Ródenas, *Técnicas de fabricación*. Ediciones Paraninfo, 2022.
- [34] A. Entwistle, *Fabricación aditiva industrial e impresión 3D: La introducción completa a las técnicas y la tecnología detrás del apasionante mundo de la Fabricación*. 2024.
- [35] A. Vidales, D. Ferrández, and M. Álvarez, *Innovación tecnológica y desarrollo sostenible en la edificación*. 2022.

ANEXOS

A. LINEAS DE PROGRAMACIÓN

main.py

```
from machine import Pin
import time

# Libreria para el posicionamiento de los servo motores
from category import move_to

# Libreria para el sensor de peso
from hx711_gpio import HX711

# Librerias para la pantalla LCD 16x2
from machine import I2C
from lcd_api import LcdApi
from pico_i2c_lcd import I2cLcd

# Configuración para el sensor de peso
data_pin = Pin(16, Pin.IN, pull=Pin.PULL_DOWN)
clock_pin = Pin(17, Pin.OUT)

hx711 = HX711(clock_pin, data_pin)
hx711.tare()

# Configuración de los parámetros para la pantalla LCD
I2C_ADDR = 39
I2C_NUM_ROWS = 2
I2C_NUM_COLS = 16

i2c = I2C(0, sda=machine.Pin(12), scl=machine.Pin(13),
freq=100000)
lcd = I2cLcd(i2c, I2C_ADDR, I2C_NUM_ROWS,
I2C_NUM_COLS)

# Configuración en PULL DOWN para los pulsadores
button_up = Pin(28, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
button_down = Pin(18, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
button_ok = Pin(22, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)

# Configuración del buzzer
buzzer = Pin(15, Pin.OUT)

# Pantalla de Bienvenida
buzzer.value(1)
lcd.clear()
lcd.move_to(3,0)
lcd.putstr('APPLE SORT')
lcd.move_to(4,1)
lcd.putstr('MACHINE')
time.sleep(0.7)
buzzer.value(0)
move_to(0)
time.sleep(0.7)
lcd.clear()
time.sleep(0.7)

# Pantalla de Inicio
lcd.move_to(0,0)
lcd.putstr('PRESIONAR OK')
lcd.move_to(0,1)
lcd.putstr('PARA EMPEZAR')

while not (button_ok.value()):
    pass

lcd.clear()
time.sleep(0.7)

# Inicio del Programa
while(True):
    raw_wt = hx711.read()
    sf = 0.001325

    weight = (raw_wt*sf)-335.8
    lcd.move_to(0,0)
    lcd.putstr('INSERTAR UNA')
    lcd.move_to(0,1)
    lcd.putstr('MANZANA!')
    print(round(weight,1))

    if weight > 10:
        time.sleep(0.5)
        # PRIMERA CATEGORIA
        if weight > 100:
            lcd.clear()
            lcd.move_to(0,0)
            lcd.putstr('CATEGORIA UNO')
            lcd.move_to(0,1)
            lcd.putstr('PESO: ' + str(round(weight,1)) + ' g')
            move_to(1)
            time.sleep(1)
            lcd.clear()

        # SEGUNDA CATEGORIA
        if weight > 80 and weight < 100:
            lcd.clear()
            lcd.move_to(0,0)
            lcd.putstr('CATEGORIA DOS')
            lcd.move_to(0,1)
            lcd.putstr('PESO: ' + str(round(weight,1)) + ' g')
            move_to(2)
            time.sleep(1)
            lcd.clear()

        # TERCERA CATEGORIA
        if weight > 70 and weight < 80:
            lcd.clear()
            lcd.move_to(0,0)
            lcd.putstr('CATEGORIA TRES')
            lcd.move_to(0,1)
            lcd.putstr('PESO: ' + str(round(weight,1)) + ' g')
            move_to(3)
            time.sleep(1)
            lcd.clear()

        # CUARTA CATEGORIA
        if weight < 70:
            lcd.clear()
            lcd.move_to(0,0)
            lcd.putstr('CATEGORIA CUATRO')
            lcd.move_to(0,1)
            lcd.putstr('PESO: ' + str(round(weight,1)) + ' g')
            move_to(4)
            time.sleep(1)
            lcd.clear()
```

category.py

```
from machine import Pin, PWM
from time import sleep

upper_servo = PWM(Pin(0))
upper_servo.freq(50)

lower_servo = PWM(Pin(4))
lower_servo.freq(50)

# Funciones para mover los servo motores
def move_upper_servo(angle):
    duty = int(1160 + (angle / 180) * (6553-3276)) # Mapear
    ángulo a PWM
    upper_servo.duty_u16(duty) # Configurar el ciclo de trabajo

def move_lower_servo(angulo):
    duty = int(1160 + (angulo / 180) * (6553-3276)) # Mapear
    ángulo a PWM
    lower_servo.duty_u16(duty) # Configurar el ciclo de trabajo

# Funcion para ubicar la capsula en las categorias
def move_to(category):
    # Categoria neutra
    if category == 0:
        move_lower_servo(178)
        move_upper_servo(1)

    # Primera Categoria
    if category == 1:
        move_lower_servo(7)
        sleep(0.3)
        move_upper_servo(80)
        sleep(0.5)
        move_lower_servo(178)

        move_upper_servo(1)

    # Segunda Categoria
    if category == 2:
        move_lower_servo(105)
        sleep(0.2)
        move_upper_servo(80)
        sleep(0.5)
        move_lower_servo(178)
        move_upper_servo(1)

    # Tercera Categoria
    if category == 3:
        move_lower_servo(255)
        sleep(0.2)
        move_upper_servo(80)
        sleep(0.5)
        move_lower_servo(178)
        move_upper_servo(1)

    # Cuarta Categoria
    if category == 4:
        move_lower_servo(348)
        sleep(0.3)
        move_upper_servo(80)
        sleep(0.5)
        move_lower_servo(178)
        move_upper_servo(1)
```

hx711_gpio.py

```
from machine import enable_irq, disable_irq, idle, Pin
import time

class HX711:
    def __init__(self, clock, data, gain=128):
        self.clock = clock
        self.data = data
        self.clock.value(False)

        self.GAIN = 0
        self.OFFSET = 0
        self.SCALE = 1

        self.time_constant = 0.25
        self.filtered = 0

        self.set_gain(gain);

    def set_gain(self, gain):
        if gain is 128:
            self.GAIN = 1
        elif gain is 64:
            self.GAIN = 3
        elif gain is 32:
            self.GAIN = 2

        self.read()
        self.filtered = self.read()

    def conversion_done_cb(self, data):
        self.conversion_done = True
        data.irq(handler=None)

    def read(self):
        self.conversion_done = False
        self.data.irq(trigger=Pin.IRQ_FALLING,
        handler=self.conversion_done_cb)
        # wait for the device being ready
        for _ in range(500):
            if self.conversion_done == True:
                break
            time.sleep_ms(1)
        else:
            self.data.irq(handler=None)
            raise OSError("Sensor does not respond")

        # shift in data, and gain & channel info
        result = 0
        for j in range(24 + self.GAIN):
            state = disable_irq()
            self.clock(True)
            self.clock(False)
            enable_irq(state)
            result = (result << 1) | self.data()

        # shift back the extra bits
        result >>= self.GAIN

        # check sign
        if result > 0x7ffff:
            result -= 0x1000000

        return result

    def read_average(self, times=3):
        sum = 0
```

```

    for i in range(times):
        sum += self.read()
    return sum / times

def read_lowpass(self):
    self.filtered += self.time_constant * (self.read() -
self.filtered)
    return self.filtered

def get_value(self):
    return self.read_lowpass() - self.OFFSET

def get_units(self):
    return self.get_value() / self.SCALE

def tare(self, times=15):
    self.set_offset(self.read_average(times))

def set_scale(self, scale):
    self.SCALE = scale

```

```

def set_offset(self, offset):
    self.OFFSET = offset

def set_time_constant(self, time_constant = None):
    if time_constant is None:
        return self.time_constant
    elif 0 < time_constant < 1.0:
        self.time_constant = time_constant

def power_down(self):
    self.clock.value(False)
    self.clock.value(True)

def power_up(self):
    self.clock.value(False)

```

lcd_api.py

```

import time

class LcdApi:

    # Implements the API for talking with HD44780 compatible
    character LCDs.
    # This class only knows what commands to send to the LCD,
    and not how to get
    # them to the LCD.
    #
    # It is expected that a derived class will implement the hal_xxx
    functions.
    #
    # The following constant names were lifted from the avrlib
    lcd.h header file,
    # with bit numbers changed to bit masks.

    # HD44780 LCD controller command set
    LCD_CLR = 0x01 # DB0: clear display
    LCD_HOME = 0x02 # DB1: return to home position

    LCD_ENTRY_MODE = 0x04 # DB2: set entry mode
    LCD_ENTRY_INC = 0x02 # DB1: increment
    LCD_ENTRY_SHIFT = 0x01 # DB0: shift

    LCD_ON_CTRL = 0x08 # DB3: turn lcd/cursor on
    LCD_ON_DISPLAY = 0x04 # DB2: turn display on
    LCD_ON_CURSOR = 0x02 # DB1: turn cursor on
    LCD_ON_BLINK = 0x01 # DB0: blinking cursor

    LCD_MOVE = 0x10 # DB4: move cursor/display
    LCD_MOVE_DISP = 0x08 # DB3: move display (0->
move cursor)
    LCD_MOVE_RIGHT = 0x04 # DB2: move right (0-> left)

    LCD_FUNCTION = 0x20 # DB5: function set
    LCD_FUNCTION_8BIT = 0x10 # DB4: set 8BIT mode (0-
>4BIT mode)
    LCD_FUNCTION_2LINES = 0x08 # DB3: two lines (0->one
line)
    LCD_FUNCTION_10DOTS = 0x04 # DB2: 5x10 font (0-
>5x7 font)
    LCD_FUNCTION_RESET = 0x30 # See "Initializing by
Instruction" section

    LCD_CGRAM = 0x40 # DB6: set CG RAM address
    LCD_DDRAM = 0x80 # DB7: set DD RAM address

    LCD_RS_CMD = 0

```

```

LCD_RS_DATA = 1

LCD_RW_WRITE = 0
LCD_RW_READ = 1

def __init__(self, num_lines, num_columns):
    self.num_lines = num_lines
    if self.num_lines > 4:
        self.num_lines = 4
    self.num_columns = num_columns
    if self.num_columns > 40:
        self.num_columns = 40
    self.cursor_x = 0
    self.cursor_y = 0
    self IMPLIED_NEWLINE = False
    self.backlight = True
    self.display_off()
    self.backlight_on()
    self.clear()
    self.hal_write_command(self.LCD_ENTRY_MODE |
self.LCD_ENTRY_INC)
    self.hide_cursor()
    self.display_on()

def clear(self):
    # Clears the LCD display and moves the cursor to the top left
    corner
    self.hal_write_command(self.LCD_CLR)
    self.hal_write_command(self.LCD_HOME)
    self.cursor_x = 0
    self.cursor_y = 0

def show_cursor(self):
    # Causes the cursor to be made visible
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL |
self.LCD_ON_DISPLAY |
self.LCD_ON_CURSOR)

def hide_cursor(self):
    # Causes the cursor to be hidden
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL |
self.LCD_ON_DISPLAY)

def blink_cursor_on(self):
    # Turns on the cursor, and makes it blink
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL |
self.LCD_ON_DISPLAY |
self.LCD_ON_CURSOR |
self.LCD_ON_BLINK)

```

```

def blink_cursor_off(self):
    # Turns on the cursor, and makes it no blink (i.e. be solid)
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL |
self.LCD_ON_DISPLAY |
    self.LCD_ON_CURSOR)

def display_on(self):
    # Turns on (i.e. unblanks) the LCD
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL |
self.LCD_ON_DISPLAY)

def display_off(self):
    # Turns off (i.e. blanks) the LCD
    self.hal_write_command(self.LCD_ON_CTRL)

def backlight_on(self):
    # Turns the backlight on.

    # This isn't really an LCD command, but some modules have
backlight
    # controls, so this allows the hal to pass through the
command.
    self.backlight = True
    self.hal_backlight_on()

def backlight_off(self):
    # Turns the backlight off.

    # This isn't really an LCD command, but some modules have
backlight
    # controls, so this allows the hal to pass through the
command.
    self.backlight = False
    self.hal_backlight_off()

def move_to(self, cursor_x, cursor_y):
    # Moves the cursor position to the indicated position. The
cursor
    # position is zero based (i.e. cursor_x == 0 indicates first
column).
    self.cursor_x = cursor_x
    self.cursor_y = cursor_y
    addr = cursor_x & 0x3f
    if cursor_y & 1:
        addr += 0x40 # Lines 1 & 3 add 0x40
    if cursor_y & 2: # Lines 2 & 3 add number of columns
        addr += self.num_columns
    self.hal_write_command(self.LCD_DDRAM | addr)

def putchar(self, char):
    # Writes the indicated character to the LCD at the current
cursor
    # position, and advances the cursor by one position.
    if char == '\n':
        if self.implied_newline:
            # self.implied_newline means we advanced due to a
wraparound,
            # so if we get a newline right after that we ignore it.
            pass
        else:

```

```

        self.cursor_x = self.num_columns
    else:
        self.hal_write_data(ord(char))
        self.cursor_x += 1
    if self.cursor_x >= self.num_columns:
        self.cursor_x = 0
        self.cursor_y += 1
        self.implied_newline = (char != '\n')
    if self.cursor_y >= self.num_lines:
        self.cursor_y = 0
    self.move_to(self.cursor_x, self.cursor_y)

def putstr(self, string):
    # Write the indicated string to the LCD at the current cursor
# position and advances the cursor position appropriately.
    for char in string:
        self.putchar(char)

def custom_char(self, location, charmap):
    # Write a character to one of the 8 CGRAM locations,
available
    # as chr(0) through chr(7).
    location &= 0x7
    self.hal_write_command(self.LCD_CGRAM | (location <<
3))
    self.hal_sleep_us(40)
    for i in range(8):
        self.hal_write_data(charmap[i])
        self.hal_sleep_us(40)
    self.move_to(self.cursor_x, self.cursor_y)

def hal_backlight_on(self):
    # Allows the hal layer to turn the backlight on.
    # If desired, a derived HAL class will implement this
function.
    pass

def hal_backlight_off(self):
    # Allows the hal layer to turn the backlight off.
    # If desired, a derived HAL class will implement this
function.
    pass

def hal_write_command(self, cmd):
    # Write a command to the LCD.
    # It is expected that a derived HAL class will implement this
function.
    raise NotImplementedError

def hal_write_data(self, data):
    # Write data to the LCD.
    # It is expected that a derived HAL class will implement this
function.
    raise NotImplementedError

def hal_sleep_us(self, usecs):
    # Sleep for some time (given in microseconds)
    time.sleep_us(usecs)

```

pico_i2c_lcd.py

```

import utime
import gc

from lcd_api import LcdApi
from machine import I2C

# PCF8574 pin definitions
MASK_RS = 0x01 # P0
MASK_RW = 0x02 # P1

```

```

MASK_E = 0x04 # P2

SHIFT_BACKLIGHT = 3 # P3
SHIFT_DATA = 4 # P4-P7

class I2cLcd(LcdApi):

    #Implements a HD44780 character LCD connected via
PCF8574 on I2C

```

```

def __init__(self, i2c, i2c_addr, num_lines, num_columns):
    self.i2c = i2c
    self.i2c_addr = i2c_addr
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([0]))
    utime.sleep_ms(20) # Allow LCD time to powerup
    # Send reset 3 times
    self.hal_write_init_nibble(self.LCD_FUNCTION_RESET)
    utime.sleep_ms(5) # Need to delay at least 4.1 msec
    self.hal_write_init_nibble(self.LCD_FUNCTION_RESET)
    utime.sleep_ms(1)
    self.hal_write_init_nibble(self.LCD_FUNCTION_RESET)
    utime.sleep_ms(1)
    # Put LCD into 4-bit mode
    self.hal_write_init_nibble(self.LCD_FUNCTION)
    utime.sleep_ms(1)
    LcdApi.__init__(self, num_lines, num_columns)
    cmd = self.LCD_FUNCTION
    if num_lines > 1:
        cmd |= self.LCD_FUNCTION_2LINES
    self.hal_write_command(cmd)
    gc.collect()

def hal_write_init_nibble(self, nibble):
    # Writes an initialization nibble to the LCD.
    # This particular function is only used during initialization.
    byte = ((nibble >> 4) & 0x0f) << SHIFT_DATA
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte | MASK_E]))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte]))
    gc.collect()

def hal_backlight_on(self):
    # Allows the hal layer to turn the backlight on
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([1 <<
SHIFT_BACKLIGHT]))
    gc.collect()

def hal_backlight_off(self):
    #Allows the hal layer to turn the backlight off

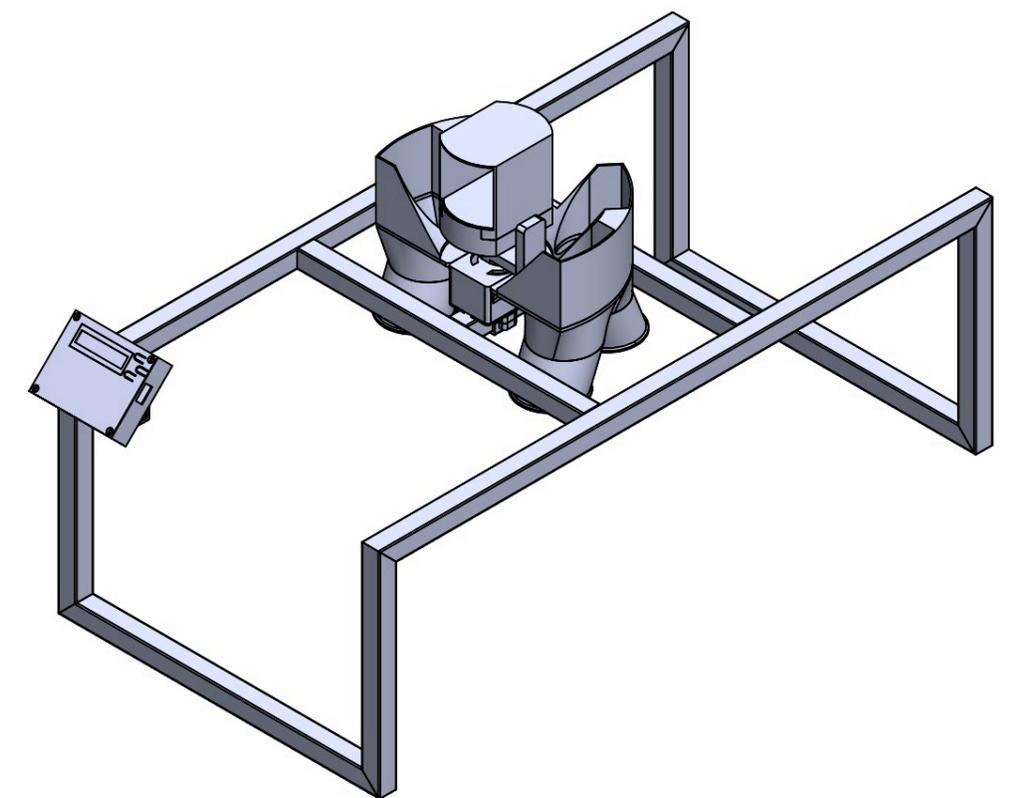
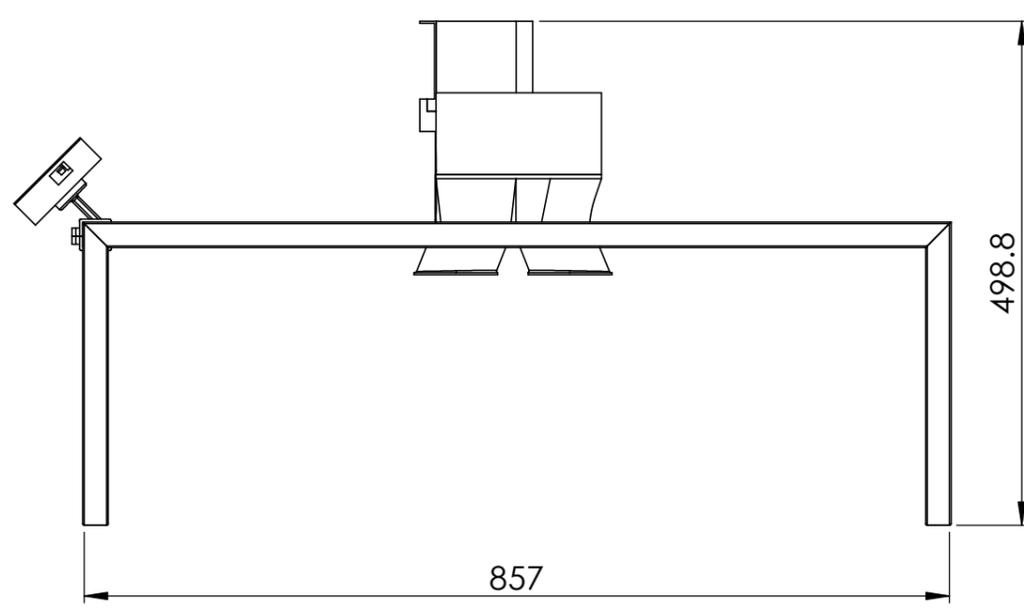
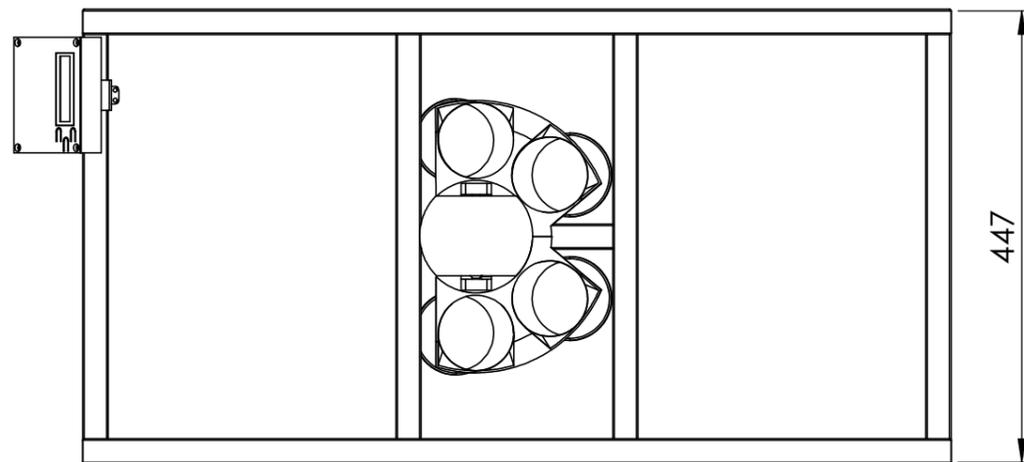
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([0]))
    gc.collect()

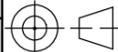
def hal_write_command(self, cmd):
    # Write a command to the LCD. Data is latched on the falling
edge of E.
    byte = ((self.backlight << SHIFT_BACKLIGHT) |
            (((cmd >> 4) & 0x0f) << SHIFT_DATA))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte | MASK_E]))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte]))
    byte = ((self.backlight << SHIFT_BACKLIGHT) |
            ((cmd & 0x0f) << SHIFT_DATA))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte | MASK_E]))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte]))
    if cmd <= 3:
        # The home and clear commands require a worst case
delay of 4.1 msec
        utime.sleep_ms(5)
        gc.collect()

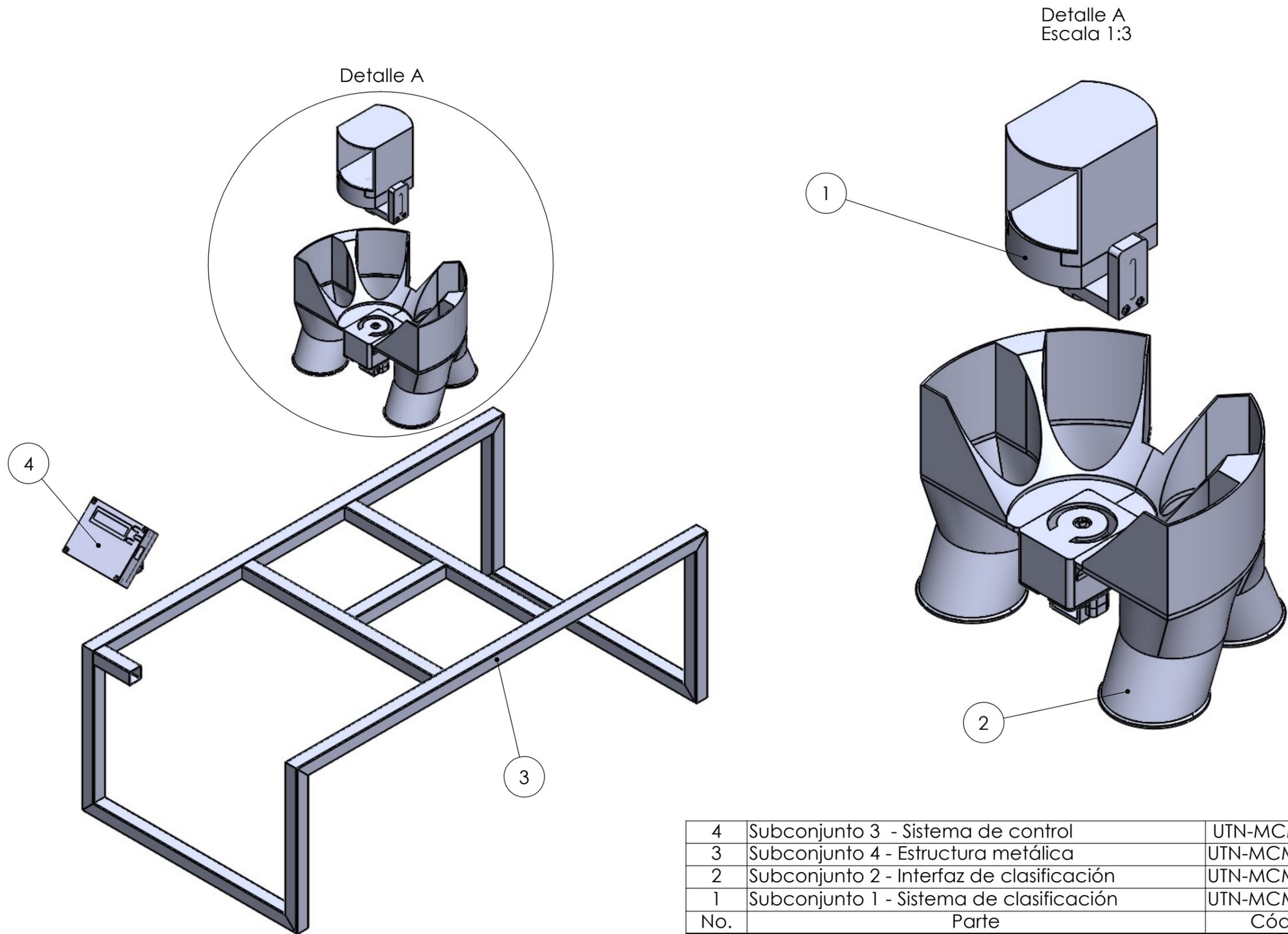
def hal_write_data(self, data):
    # Write data to the LCD. Data is latched on the falling edge
of E.
    byte = (MASK_RS |
            (self.backlight << SHIFT_BACKLIGHT) |
            (((data >> 4) & 0x0f) << SHIFT_DATA))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte | MASK_E]))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte]))
    byte = (MASK_RS |
            (self.backlight << SHIFT_BACKLIGHT) |
            ((data & 0x0f) << SHIFT_DATA))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte | MASK_E]))
    self.i2c.writeto(self.i2c_addr, bytes([byte]))
    gc.collect()

```

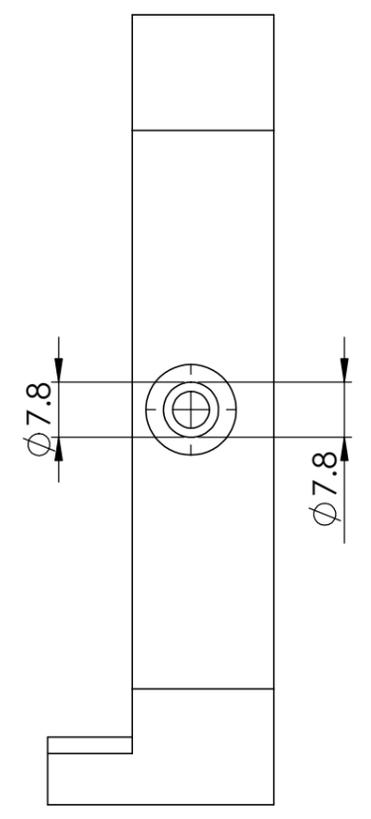
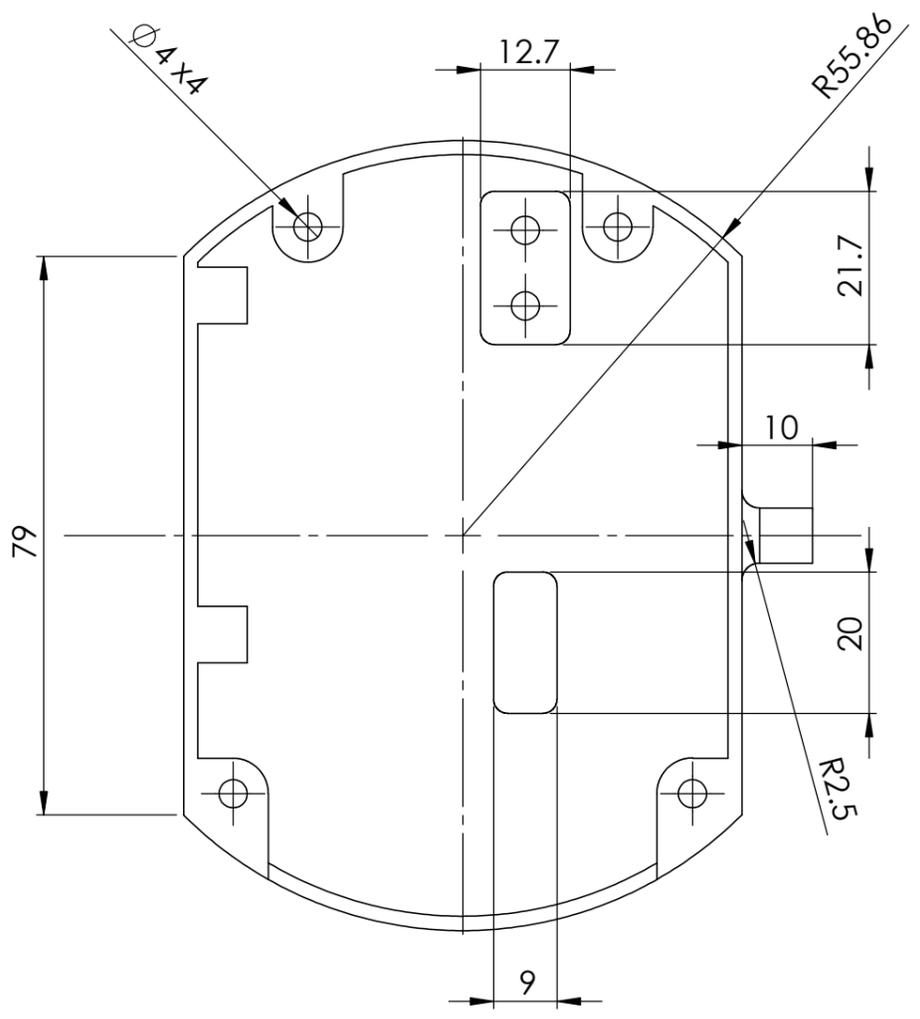
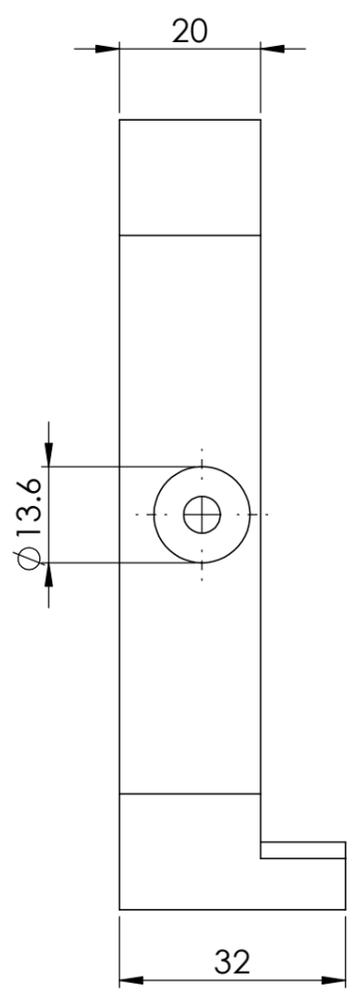
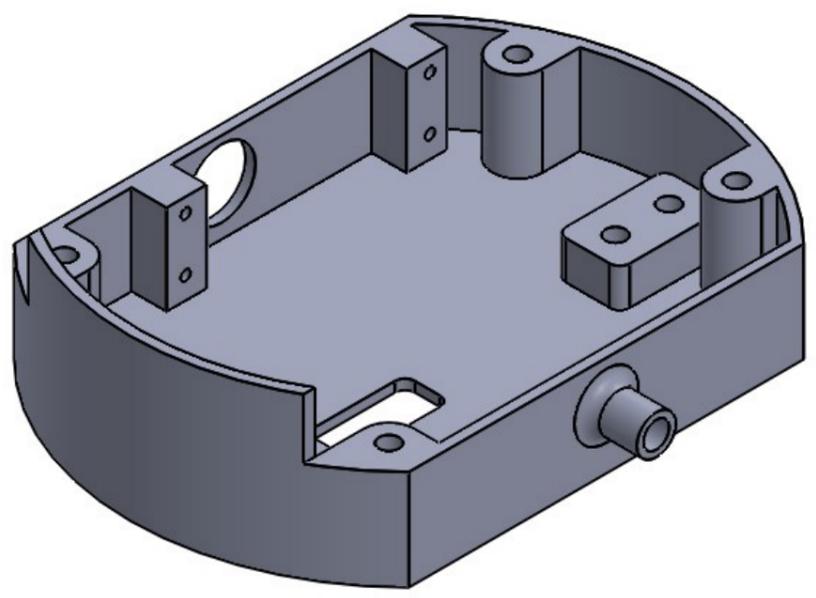
B. PLANOS MECÁNICOS

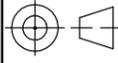


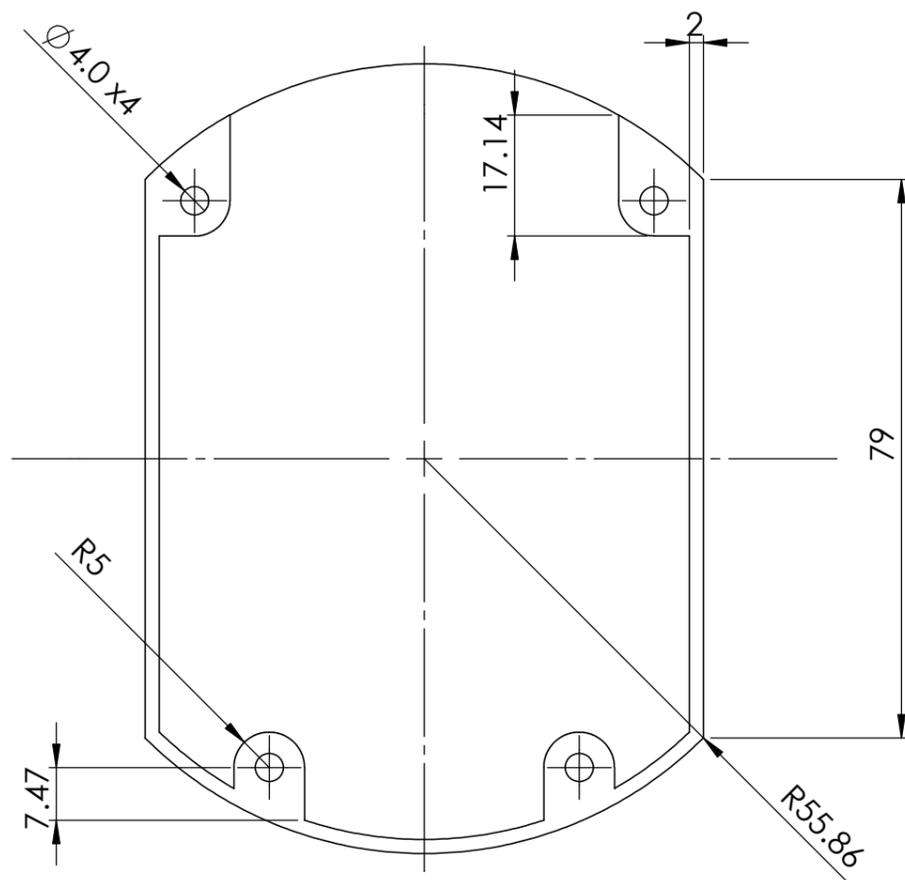
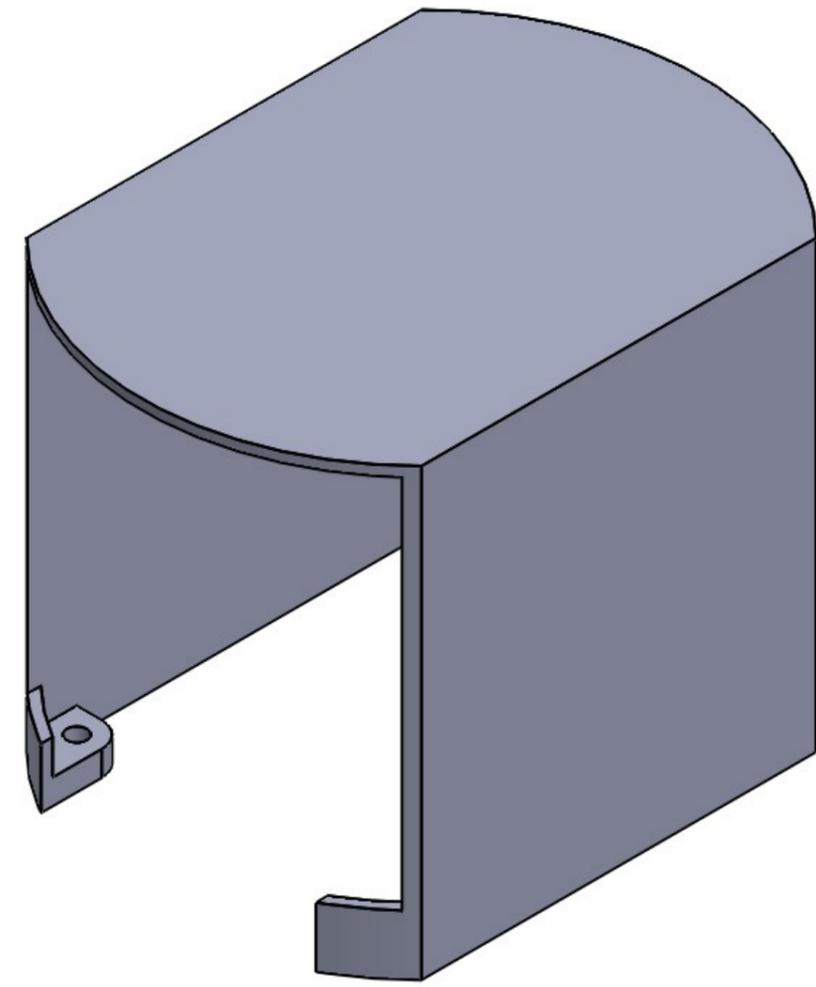
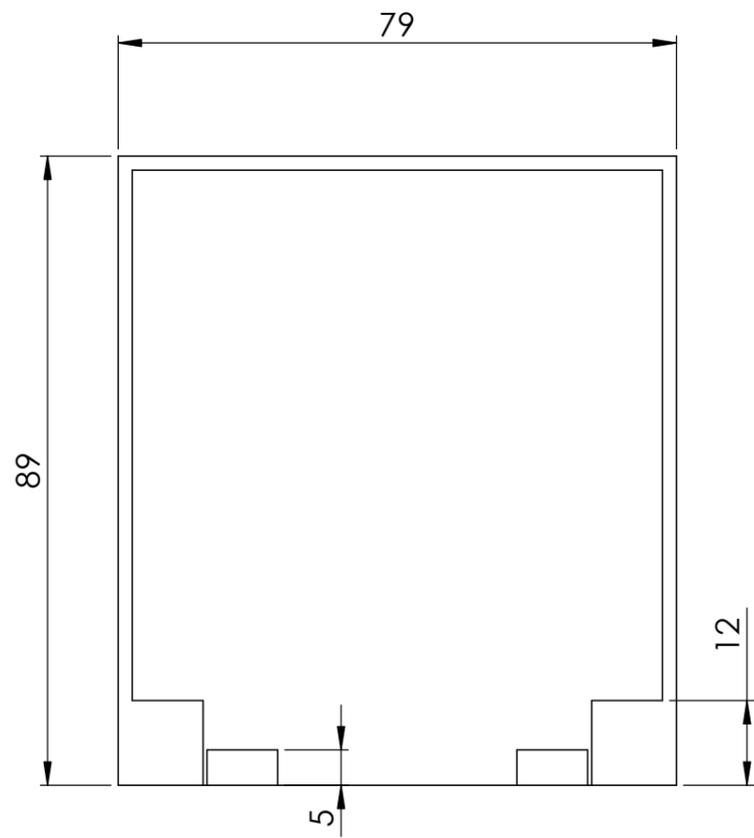
	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas				Escala 1:7 	
	Conjunto: Ensamble en explosión					
	Código: UTN-MCM-00-02					
	Peso:	4500 g	Diseño:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 1/31
	Largo:	860 mm	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Ancho:	450 mm	Revisó:	Gámez B.	06/2025		
Alto:	500 mm	Aprobó:	Gámez B.	06/2025		
FICA	CIME					

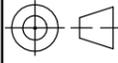


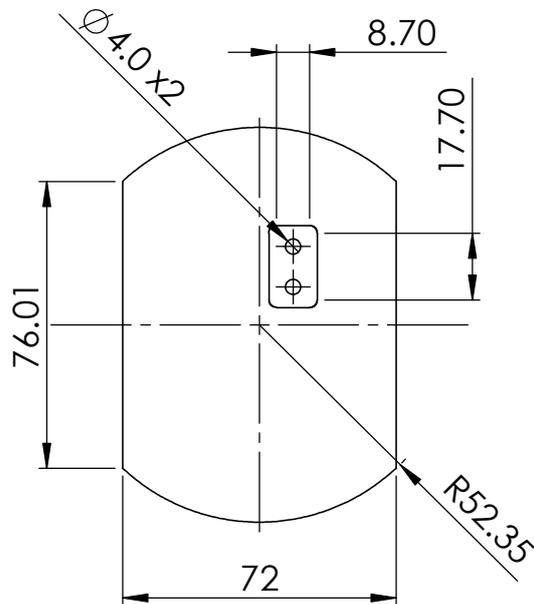
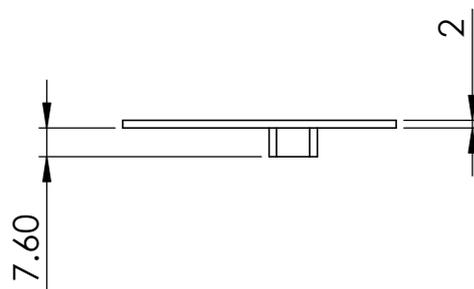
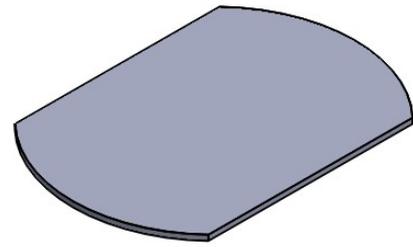
4	Subconjunto 3 - Sistema de control	UTN-MCM-03-05	1
3	Subconjunto 4 - Estructura metálica	UTN-MCM-04-08	1
2	Subconjunto 2 - Interfaz de clasificación	UTN-MCM-02-09	1
1	Subconjunto 1 - Sistema de clasificación	UTN-MCM-01-07	1
No.	Parte	Código	Canti.
		Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas	
		Conjunto: Ensamble en explosión	
		Código: UTN-MCM-00-02	
	Peso: 4500 g	Diseñó: Ledesma B.	06/2024
	Largo: 860 mm	Dibujó: Ledesma B.	06/2024
	Ancho: 450 mm	Revisó: Gámez B.	06/2025
	Alto: 500 mm	Aprobó: Gámez B.	06/2025
FICA	CIME		
			Escala 1:5
			Hoja 2/31



	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala		
	Parte: Cuerpo Inferior de la cápsula			1:1		
	Código: UTN-MCM-01-01			Tolerancia: ± 0.4		
	Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 3/31
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025		
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025		
FICA	CIME					

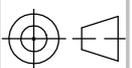


	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala		
	Parte: Cuerpo Superior de la cápsula			1:1		
	Código: UTN-MCM-01-02			Tolerancia: ± 0.4		
	Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 4/31
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025		
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025		
FICA		CIME				



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Base para celda de carga

Código: UTN-MCM-01-03

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

5/31

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

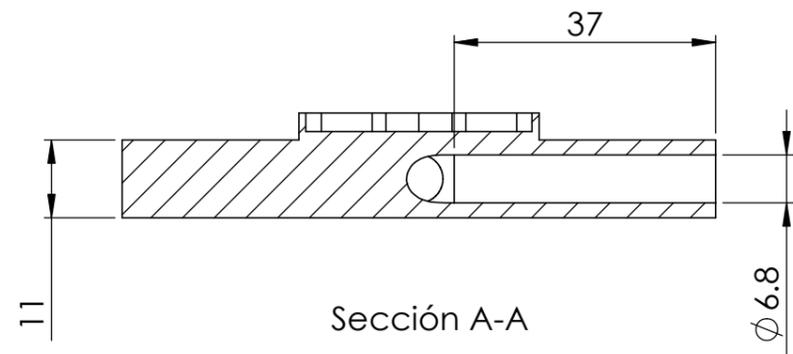
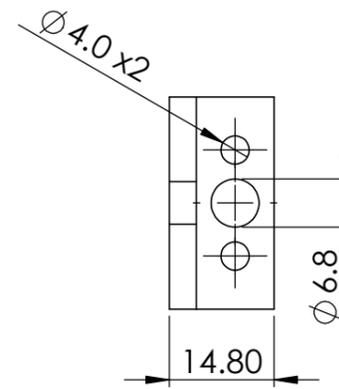
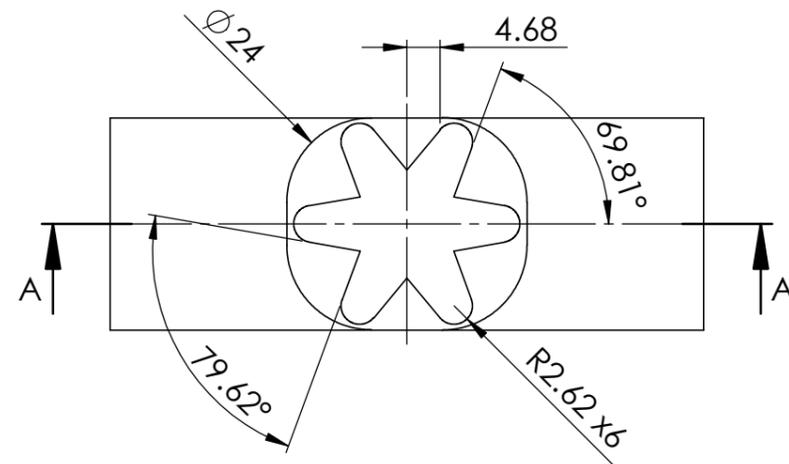
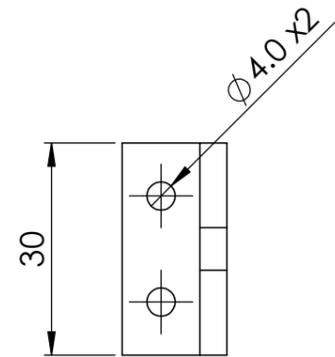
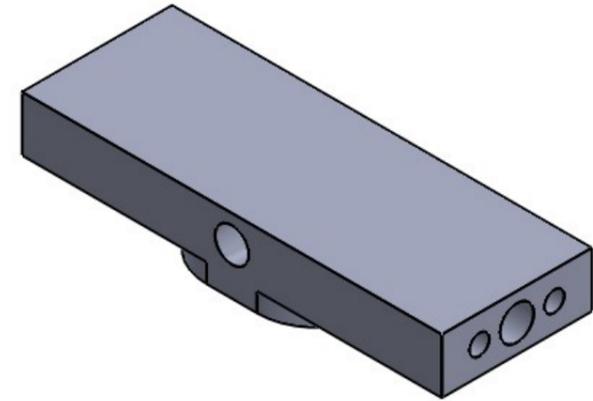
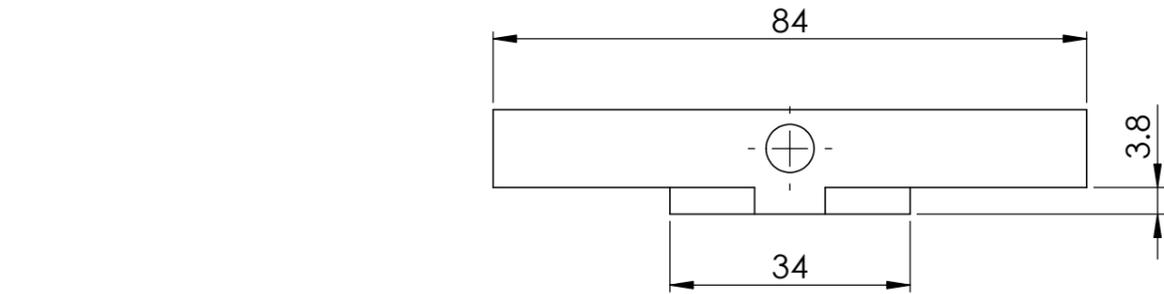
Cantidad: 1

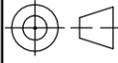
Aprobó: Gámez B. 06/2025

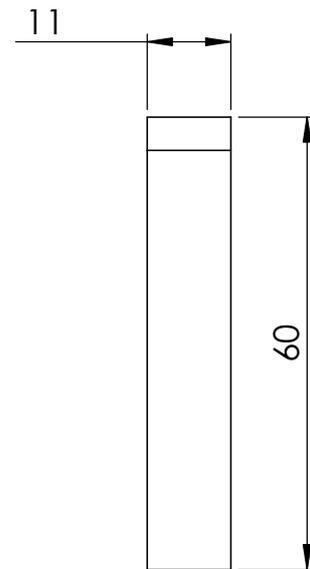
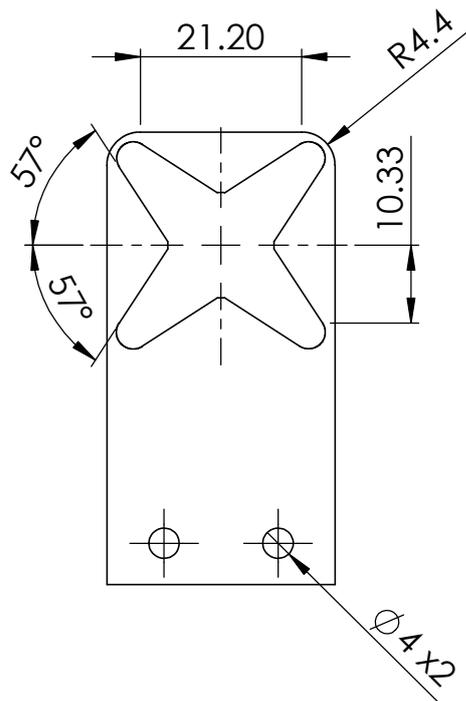
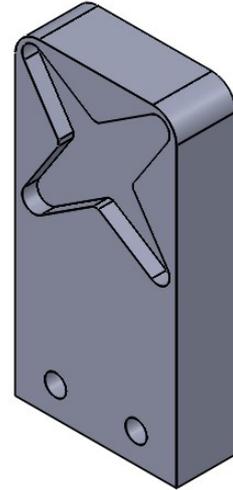
06/2025

FICA

CIME

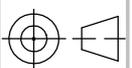


	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas				Escala	
	Parte: Soporte horizontal de la cápsula de pesaje				1:1	
	Código: UTN-MCM-01-04				Tolerancia: ± 0.4	
	Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B. 06/2024	Hoja 6/31	
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B. 06/2024		
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B. 06/2025			
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B. 06/2025			
FICA		CIME				



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:1



Parte: Soporte vertical izquierdo para la cápsula

Código: UTN-MCM-01-05

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

7/31

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

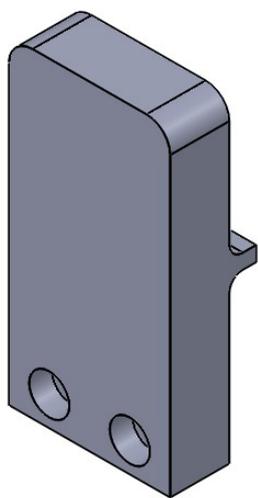
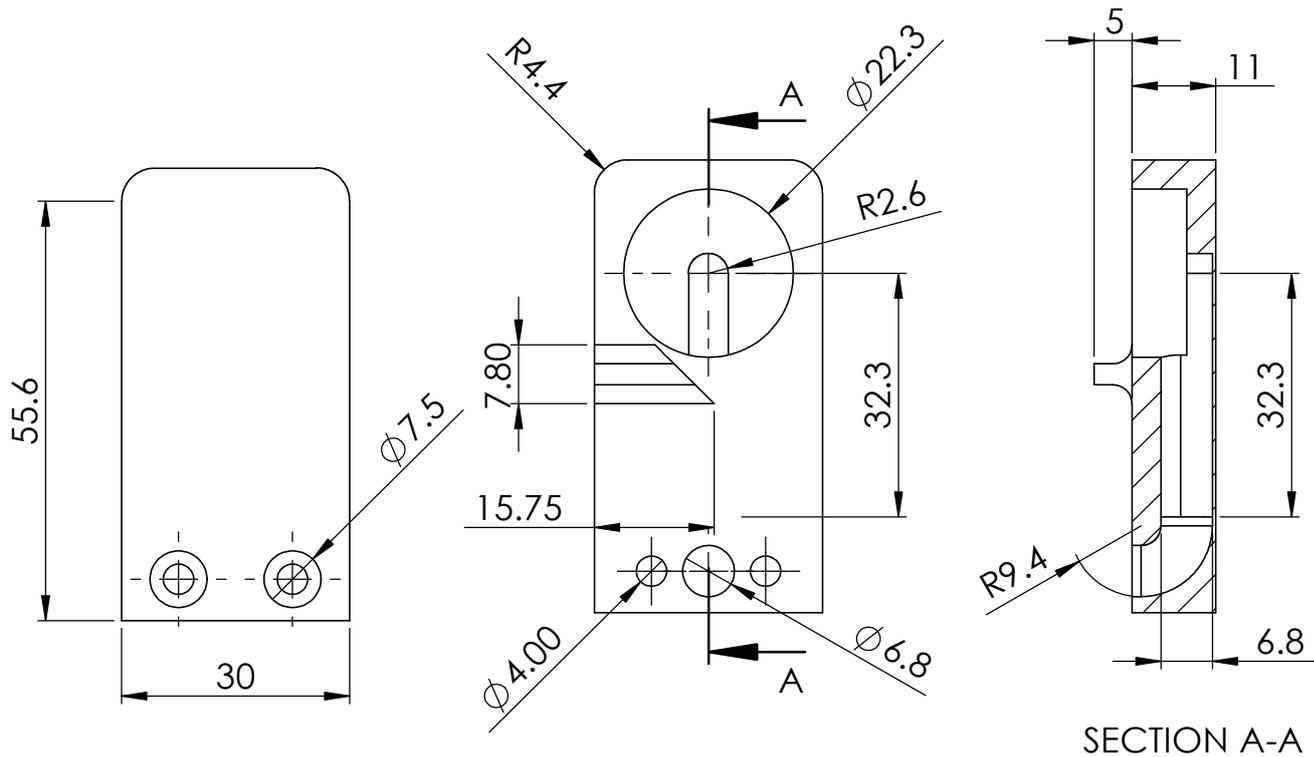
Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025

FICA

CIME



	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala 1:1		
	Parte: Soporte vertical derecho para la cápsula					
	Código: UTN-MCM-01-06			Tolerancia: ±0.4		
	Material:	PLA	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 8/31
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025		
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025		
FICA	CIME					

8

7

6

5

4

3

2

1

F

E

D

C

B

A

1

2

3

4

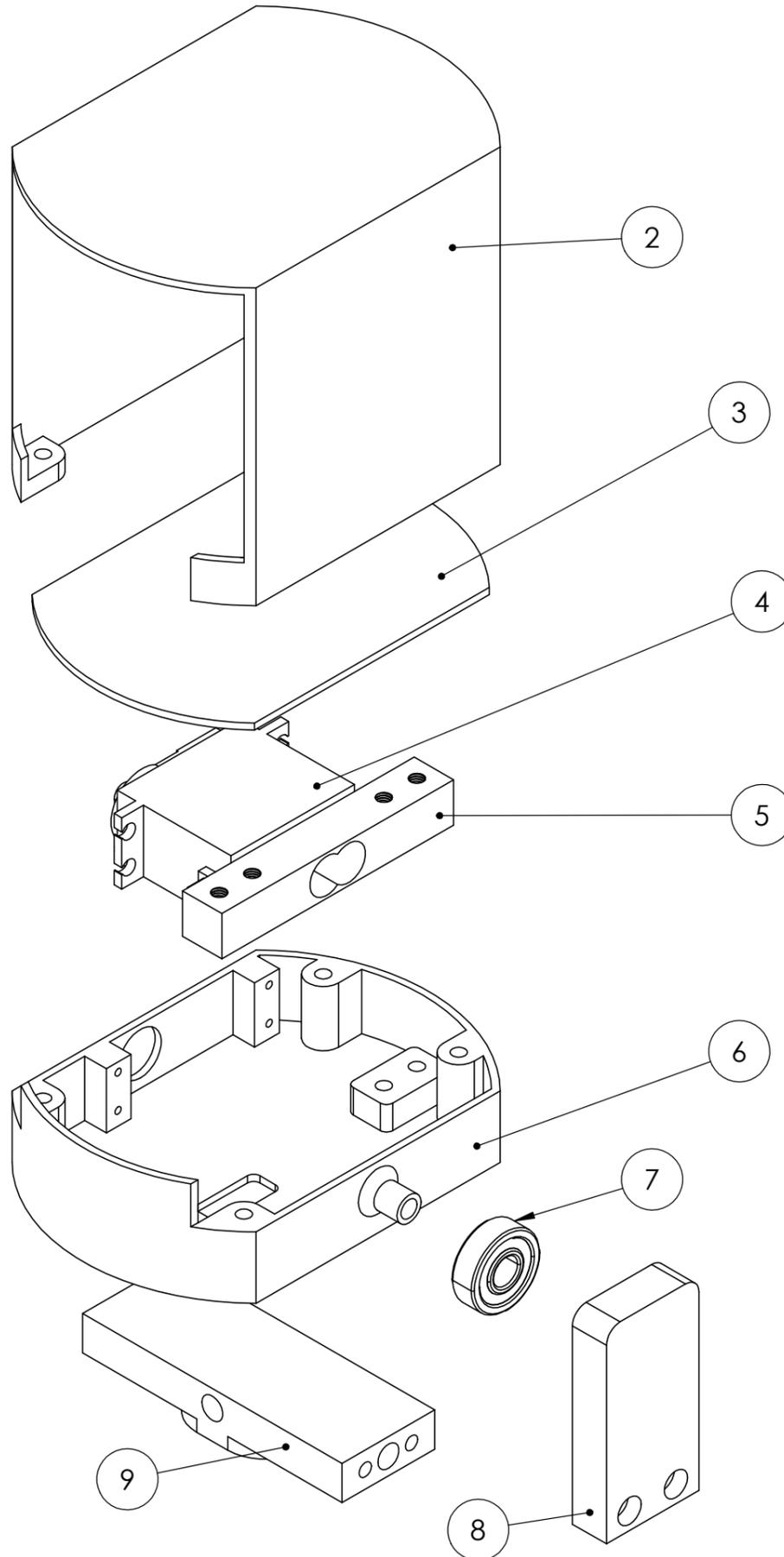
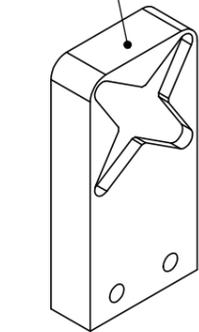
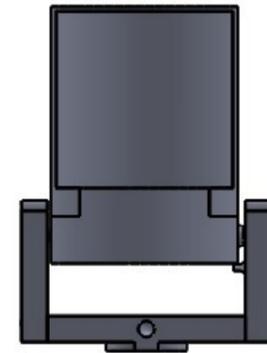
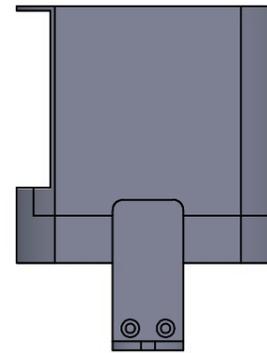
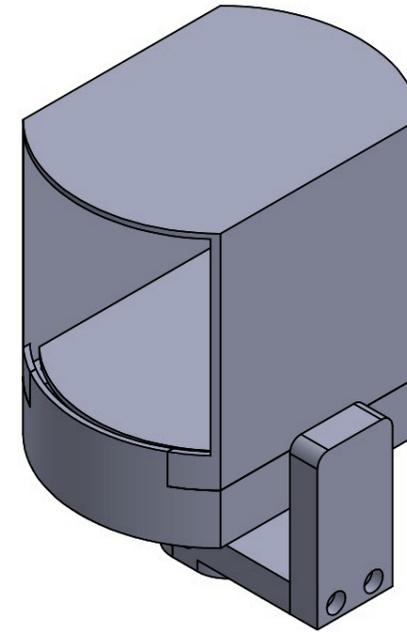
5

6

7

9

8



9	Soporte horizontal de la cápsula de pesaje	UTN-MCM-01-04	1
8	Soporte vertical derecho para la cápsula	UTN-MCM-01-06	1
7	Rodamiento 22 mm	-	1
6	Cuerpo Inferior de la cápsula	UTN-MCM-01-01	1
5	Celda de carga - 1 kg	-	1
4	Servo motor MG995	-	1
3	Base para celda de carga	UTN-MCM-01-03	1
2	Cuerpo Superior de la cápsula	UTN-MCM-01-02	1
1	Soporte vertical izquierdo para la cápsula	UTN-MCM-01-05	1
No.	Parte	Código	Canti.



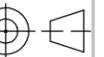
Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Conjunto: Subconjunto 1

Código: UTN-MCM-01-07

Peso:	700 g	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024
Largo:	106 mm	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024
Ancho:	112 mm	Revisó:	Gámez B.	06/2025
Alto:	146 mm	Aprobó:	Gámez B.	06/2025

Escala
1:3



Hoja

9/31

FICA

CIME

8

7

6

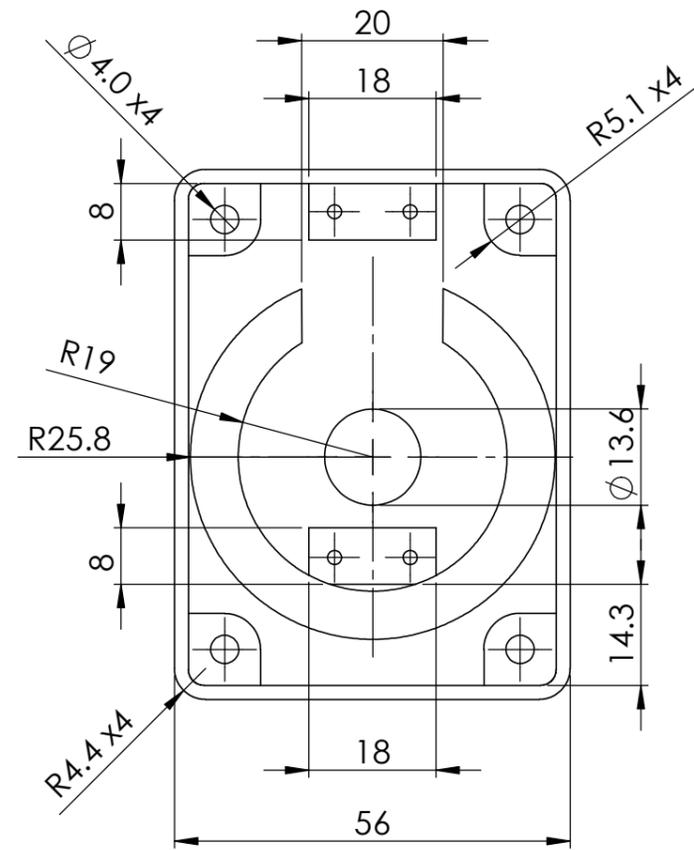
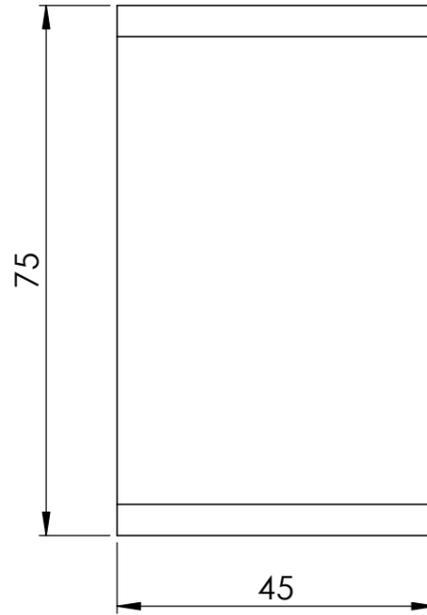
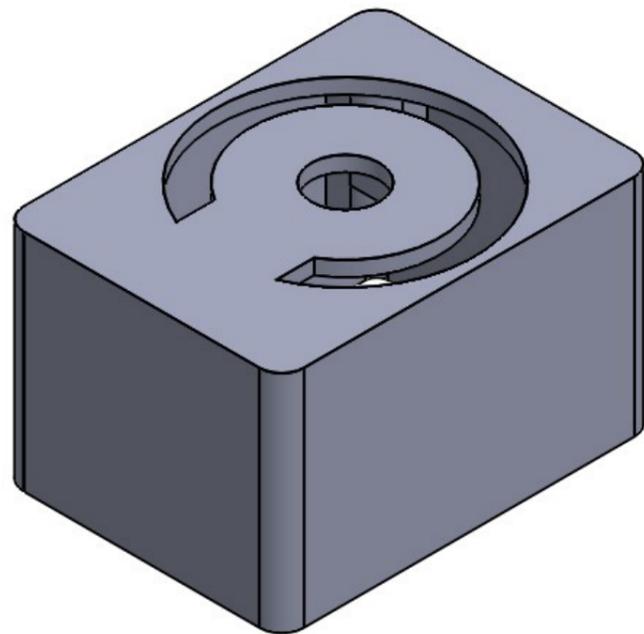
5

4

3

2

1



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas				Escala	
Parte: Base para la interfaz de clasificación				1:1	
Código: UTN-MCM-02-01				Tolerancia: ± 0.4	
Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 10/31
Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025	
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

FICA CIME

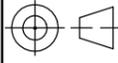
8 7 6 5 4 3 2 1

F E D C B A

10.2 2 14
10
50.60
10

56 23 10 7
30 17.6 75 22.5
7.1 7.1
R4.4 x4 Ø4.0 x4 R3.8 x4 Ø7.5 x4

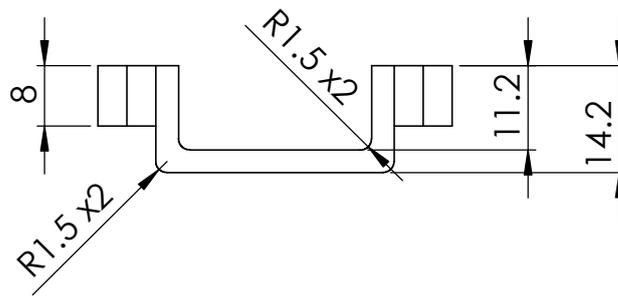
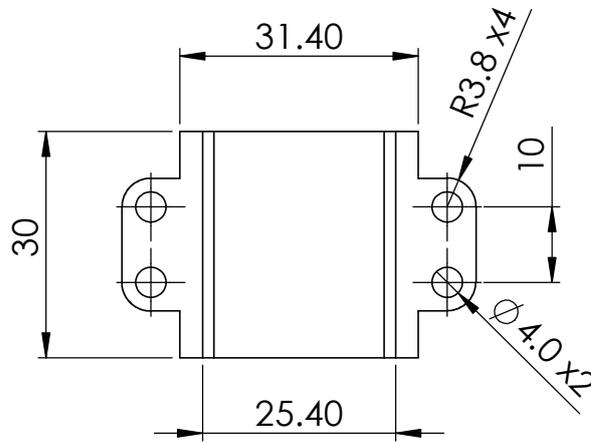
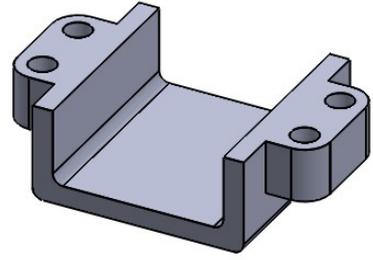
10.6 10.6
R5 X2 8 10.2

	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala: 1:1	
	Parte: Anclaje de la base para la interfaz 1-2			Tolerancia: ±0.4	
	Código: UTN-MCM-02-02				
	Material: PLA	Diseño: Ledesma B.	06/2024		Hoja 11/31
	Tratamiento: Ninguno	Dibujó: Ledesma B.	06/2024		
Recubrimiento: Ninguno	Revisó: Gámez B.	06/2025			
Cantidad: 1	Aprobó: Gámez B.	06/2025			

FICA CIME

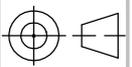
8 7 6 5 4 3 2 1

F E D C B A



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:1



Parte: Anclaje de la base para la interfaz 2-2

Código: UTN-MCM-02-03

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Ledesma B. 06/2025

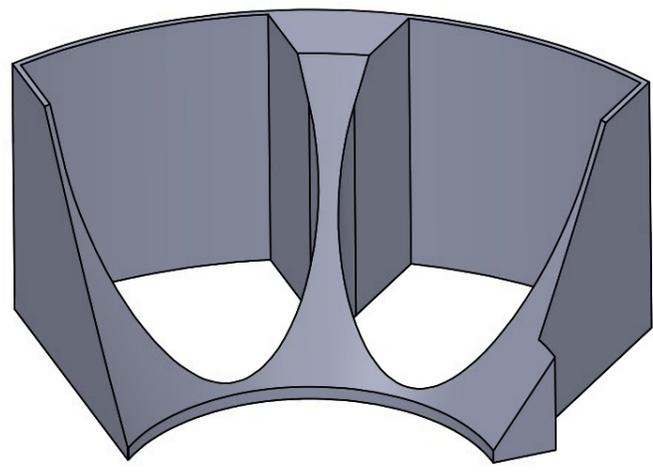
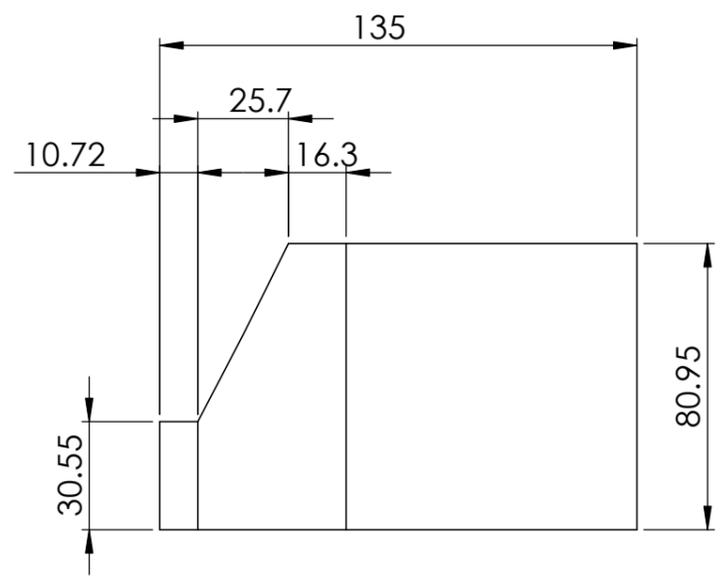
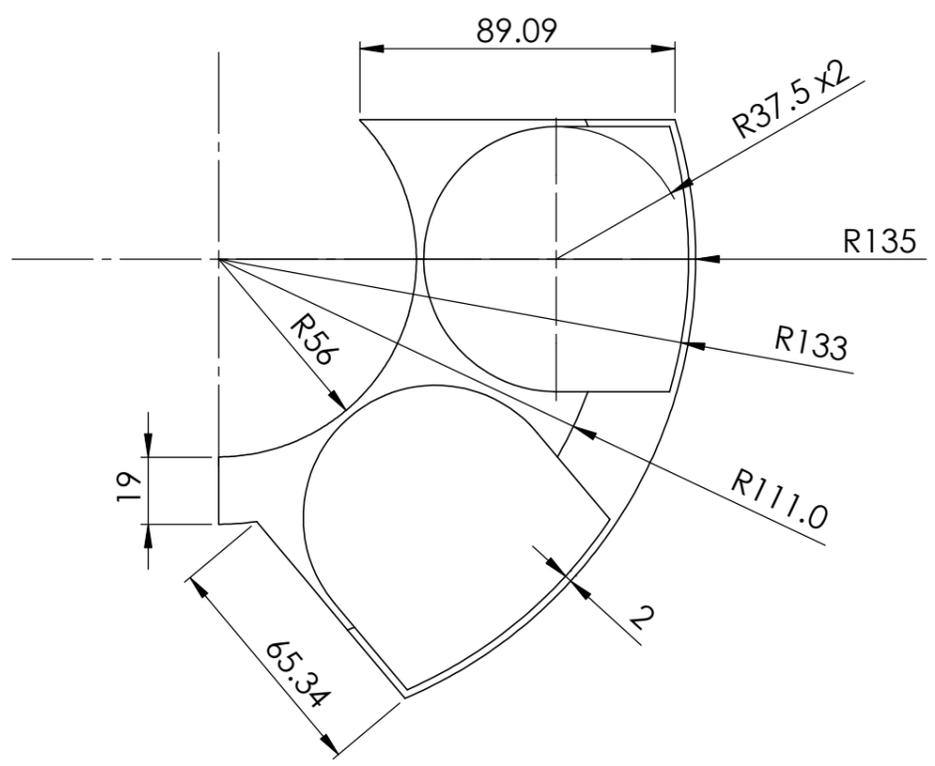
12/31

Cantidad: 1

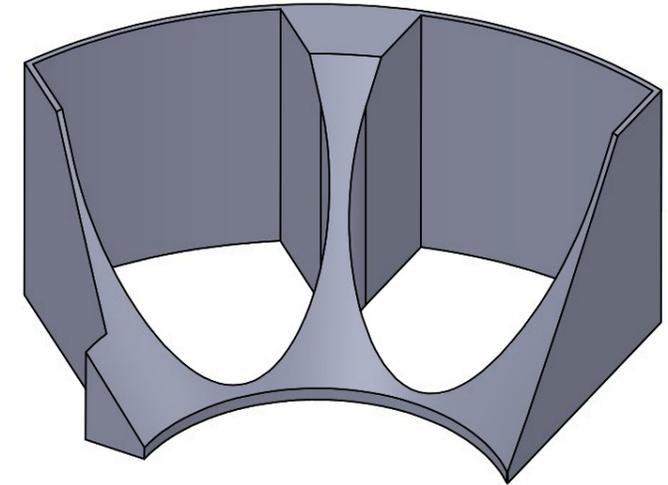
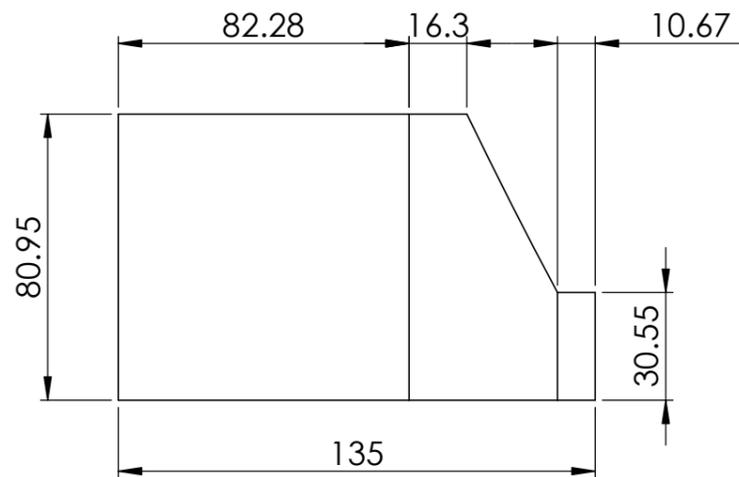
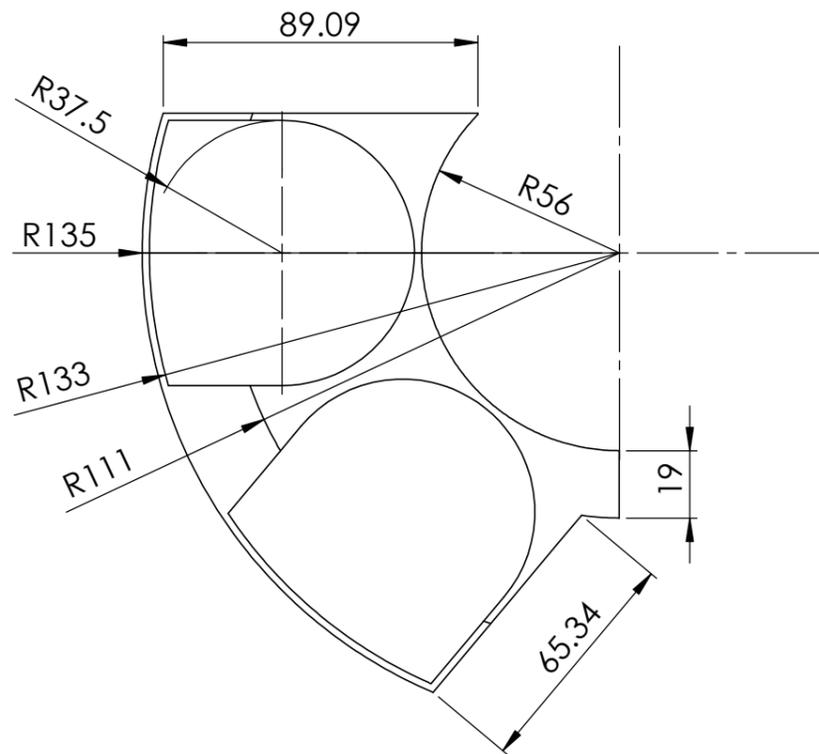
Aprobó: Ledesma B. 06/2025

FICA

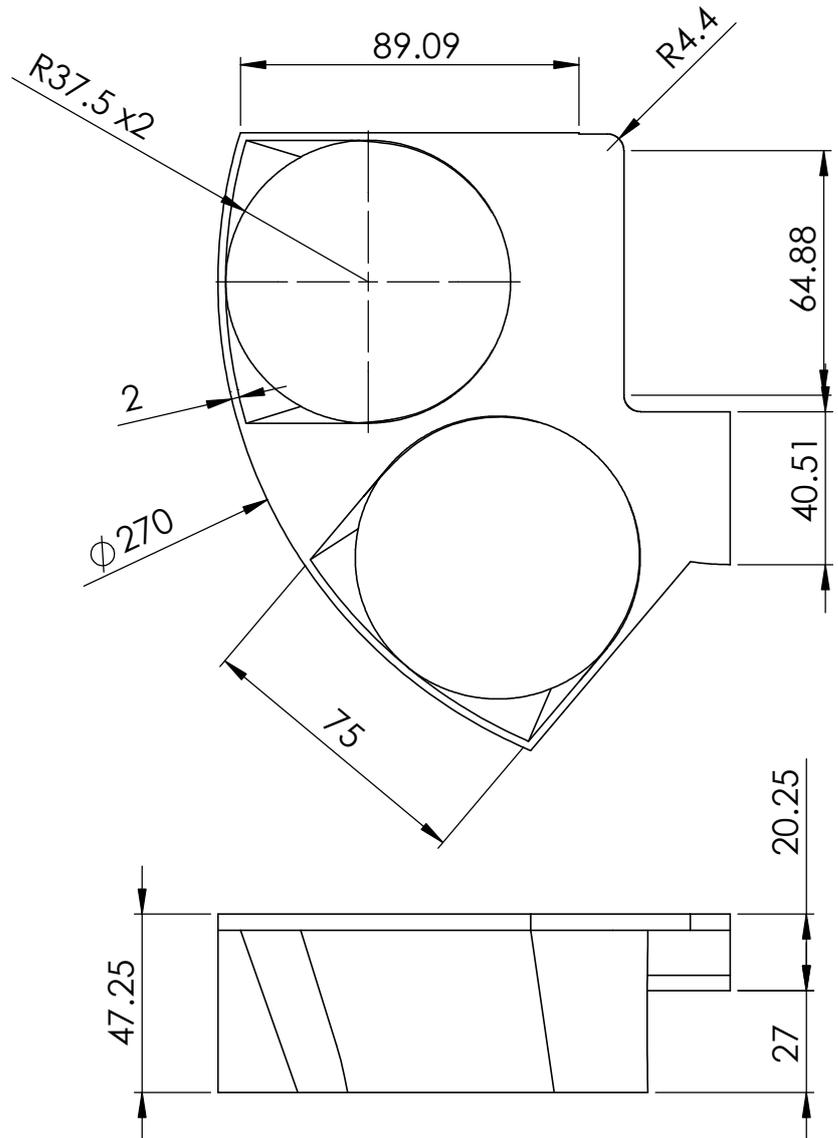
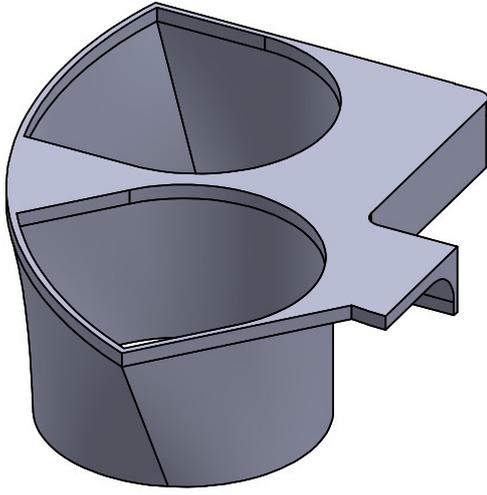
CIME



	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala		
	Parte: Estructura para la interfaz 1-4			1:2		
	Código: UTN-MCM-02-04			Tolerancia: ± 0.4		
	Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 13/31
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025		
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025		
FICA		CIME				

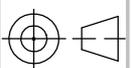


FICA CIME	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala: 1:2	
	Parte: Estructura para la interfaz 2-4			Tolerancia: ± 0.4	
	Código: UTN-MCM-02-05				
	Material:	PLA	Diseño:	Ledesma B. 06/2024	Hoja 14/31
	Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B. 06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B. 06/2025		
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B. 06/2025		



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala



Parte: Estructura para la interfaz 3-4

1:2

Código: UTN-MCM-02-06

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B.

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B.

06/2024

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B.

06/2025

15/31

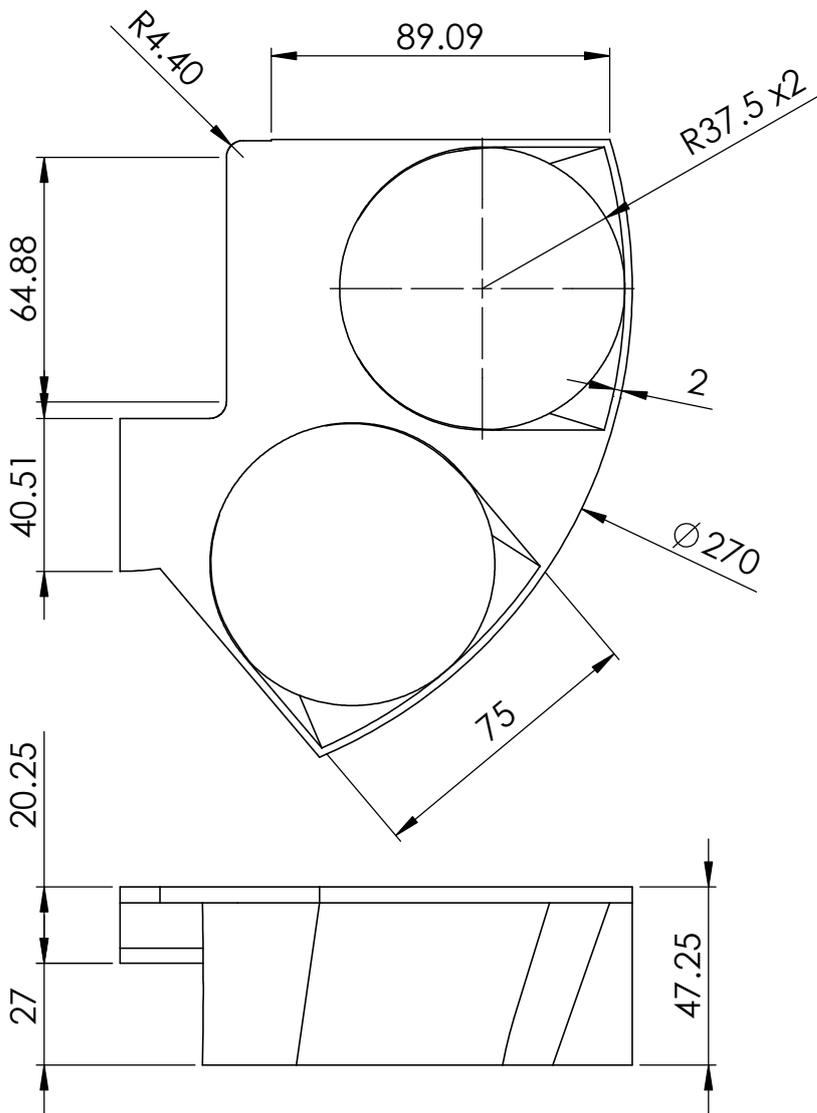
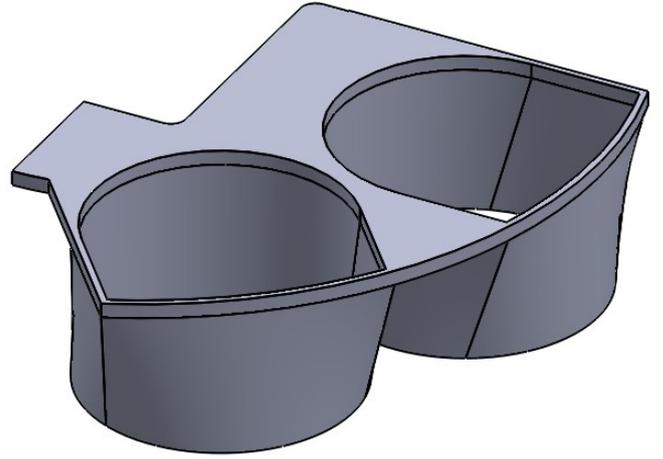
Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B.

06/2025

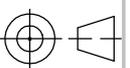
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Estructura para la interfaz 4-4

Código: UTN-MCM-02-07

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

FICA

CIME

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

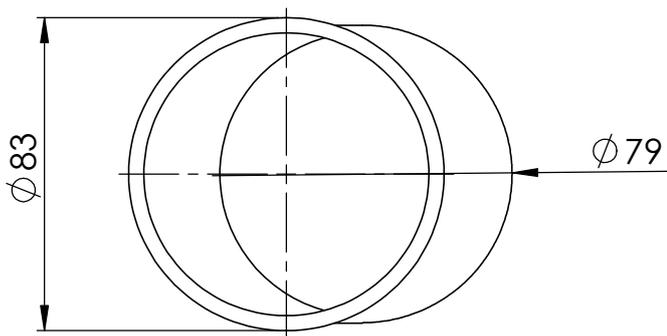
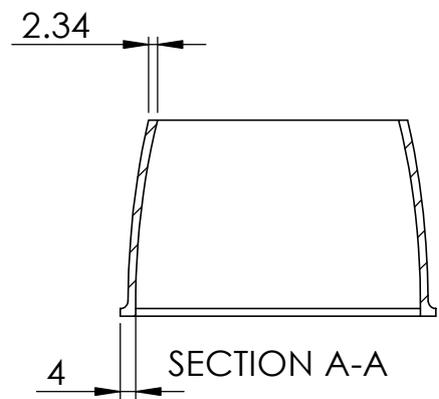
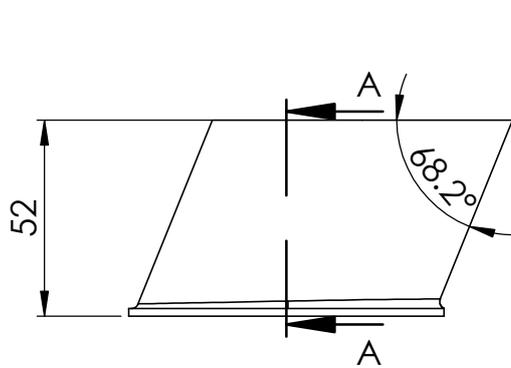
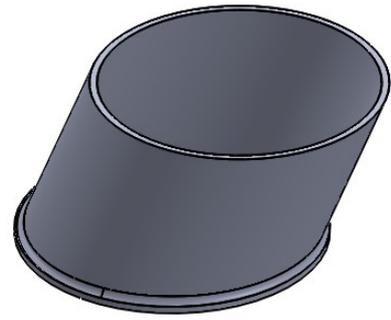
06/2025

16/31

Cantidad: 1

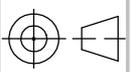
Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Ducto angular para la interfaz

Código: UTN-MCM-02-08

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

FICA

CIME

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

17/31

Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025

8

7

6

5

4

3

2

1

F

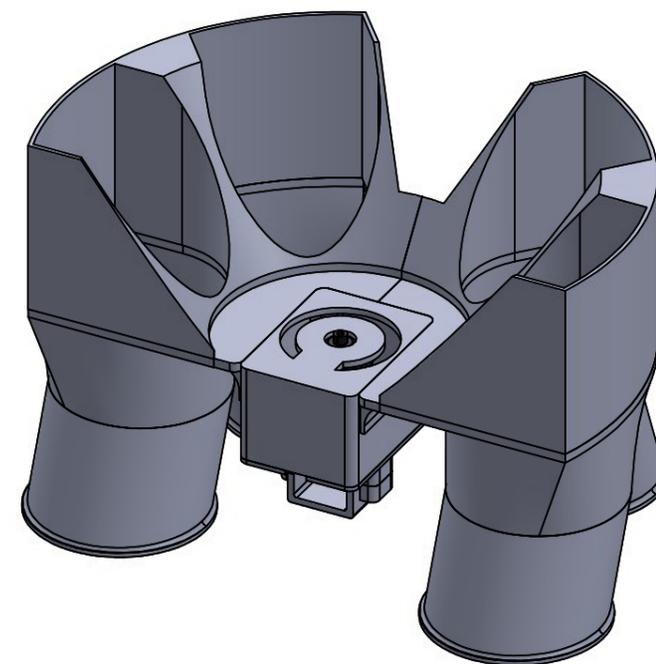
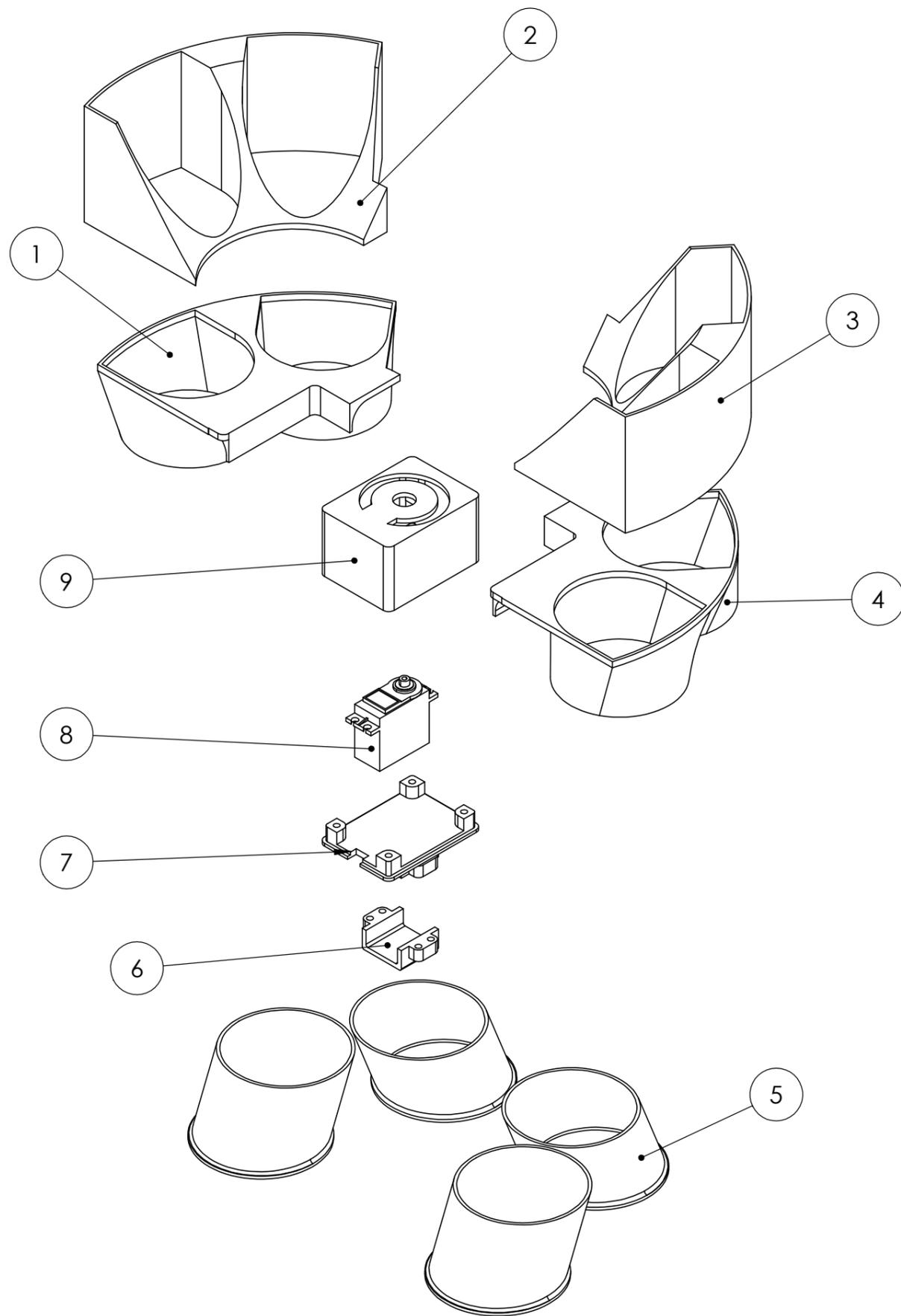
E

D

C

B

A



F

E

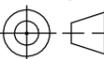
D

C

B

A

9	Base para la interfaz de clasificación	UTN-MCM-02-01	1
8	Servo motor MG995	-	1
7	Anclaje de la base para la interfaz 1-2	UTN-MCM-02-02	1
6	Anclaje de la base para la interfaz 2-2	UTN-MCM-02-03	1
5	Ducto angular para la interfaz	UTN-MCM-02-08	4
4	Estructura para la interfaz 3-4	UTN-MCM-02-06	1
3	Estructura para la interfaz 2-4	UTN-MCM-02-05	1
2	Estructura para la interfaz 1-4	UTN-MCM-02-04	1
1	Estructura para la interfaz 4-4	UTN-MCM-02-07	1
No.	Parte	Código	Canti.
		Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas	
		Conjunto: Subconjunto 2	
		Código: UTN-MCM-02-09	
Peso:	800 g	Diseñó:	Ledesma B. 06/2024
Largo:	270 mm	Dibujó:	Ledesma B. 06/2024
Ancho:	200 mm	Revisó:	Gámez B. 06/2025
Alto:	180 mm	Aprobó:	Gámez B. 06/2025
FICA CIME			

Escala
1:3

Hoja

18/31

8

7

6

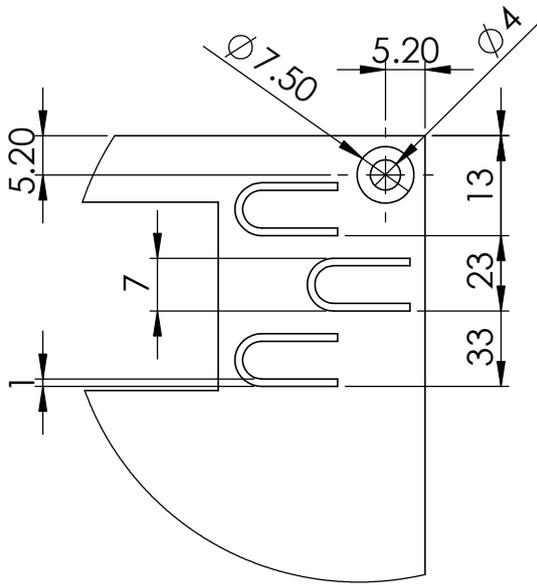
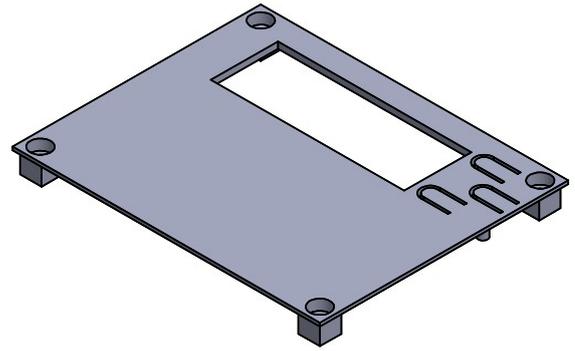
5

4

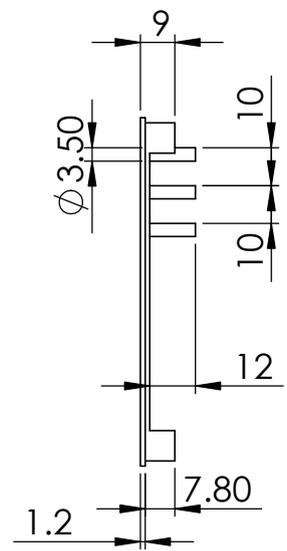
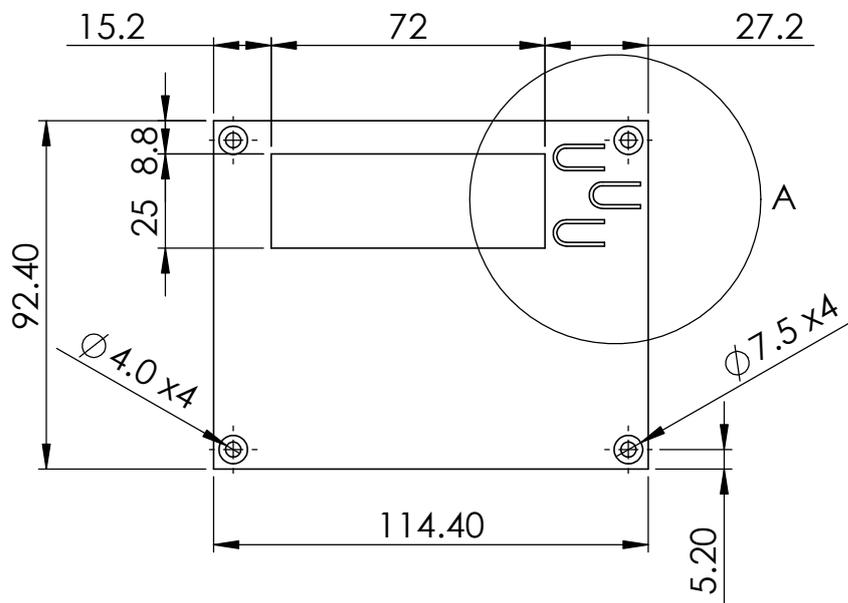
3

2

1

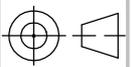


Detalle A



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala



Parte: Cubierta de la caja para el sistema de control

1:2

Código: UTN-MCM-03-02

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

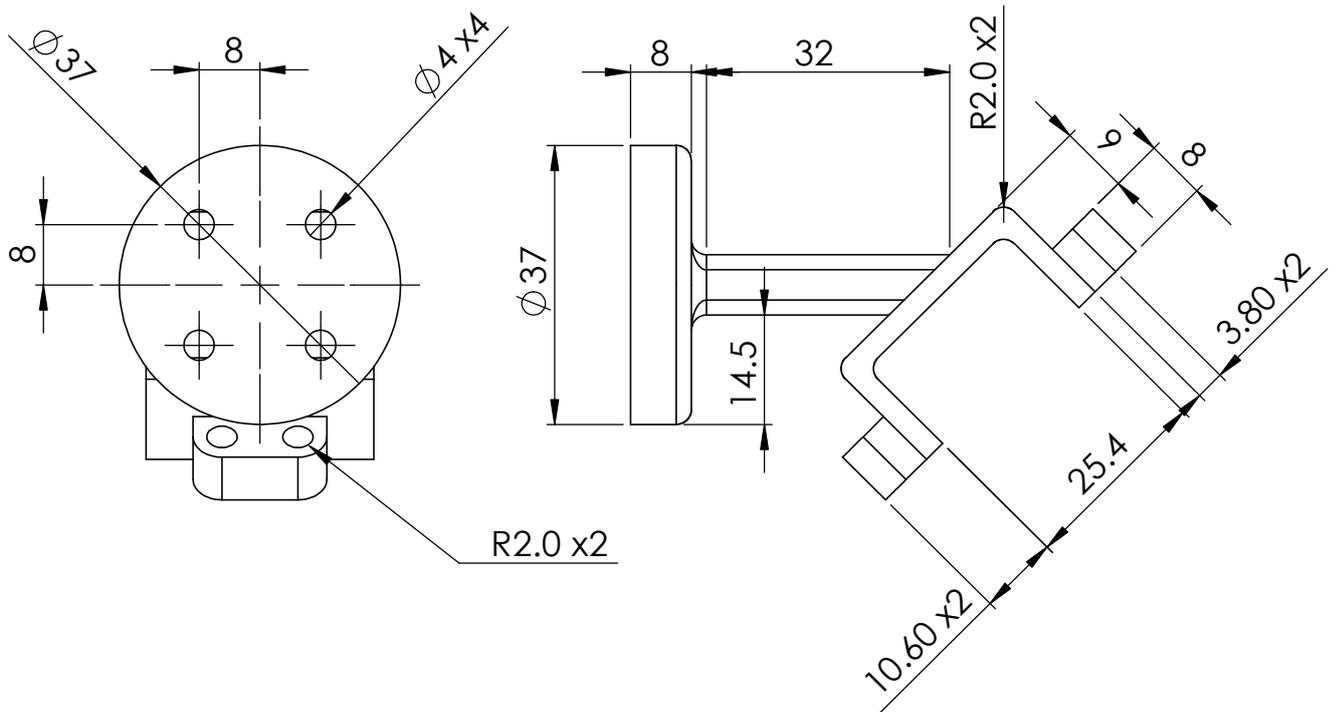
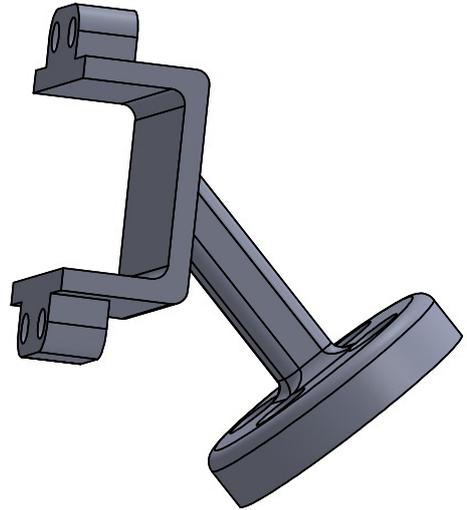
20/31

Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B. 06/2025

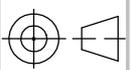
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala



Parte: Soporte para el sistema de control 1-2

1:1

Código: UTN-MCM-03-03

Tolerancia: ± 0.4

Material: PLA

Diseño: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

21/31

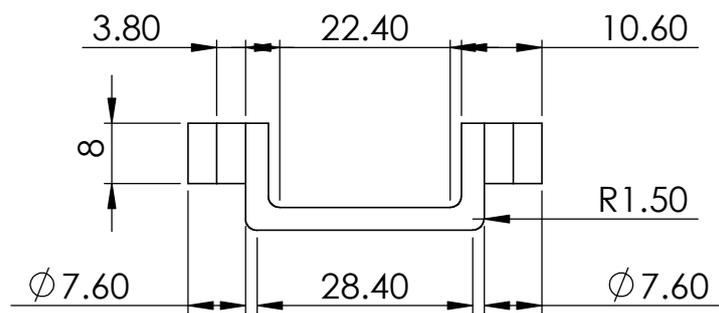
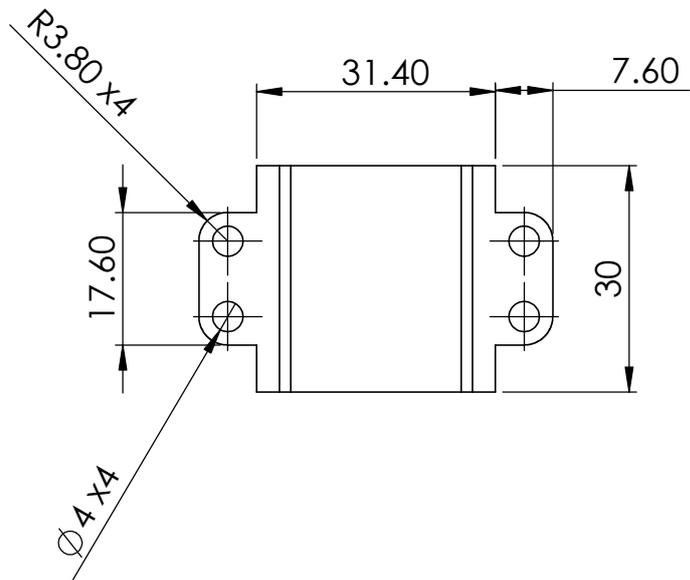
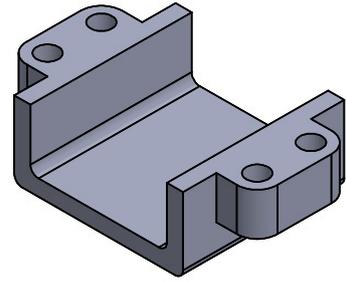
Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025

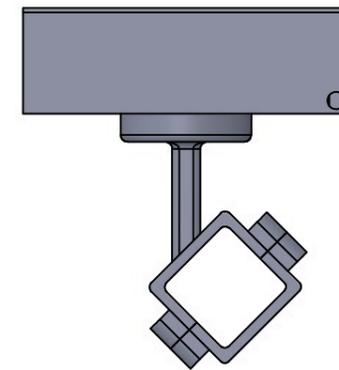
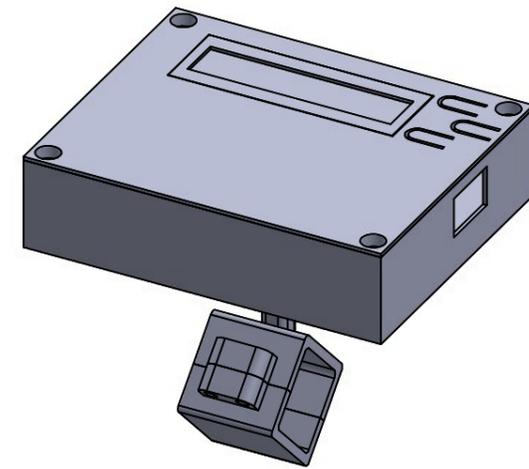
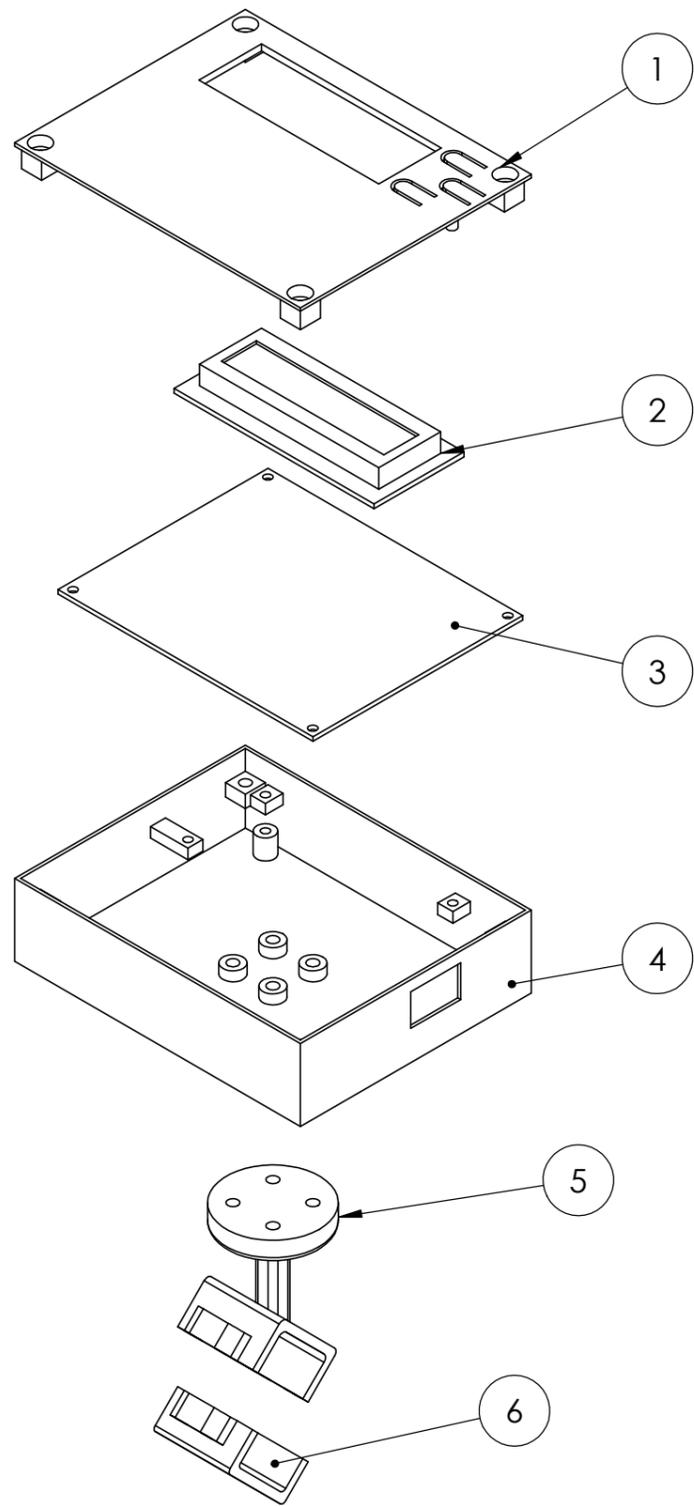
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala		
Parte: Soporte para el sistema de control 2-2			1:1		
Código: UTN-MCM-03-04			Tolerancia: ± 0.4		
Material:	PLA	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 22/31
Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025	
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

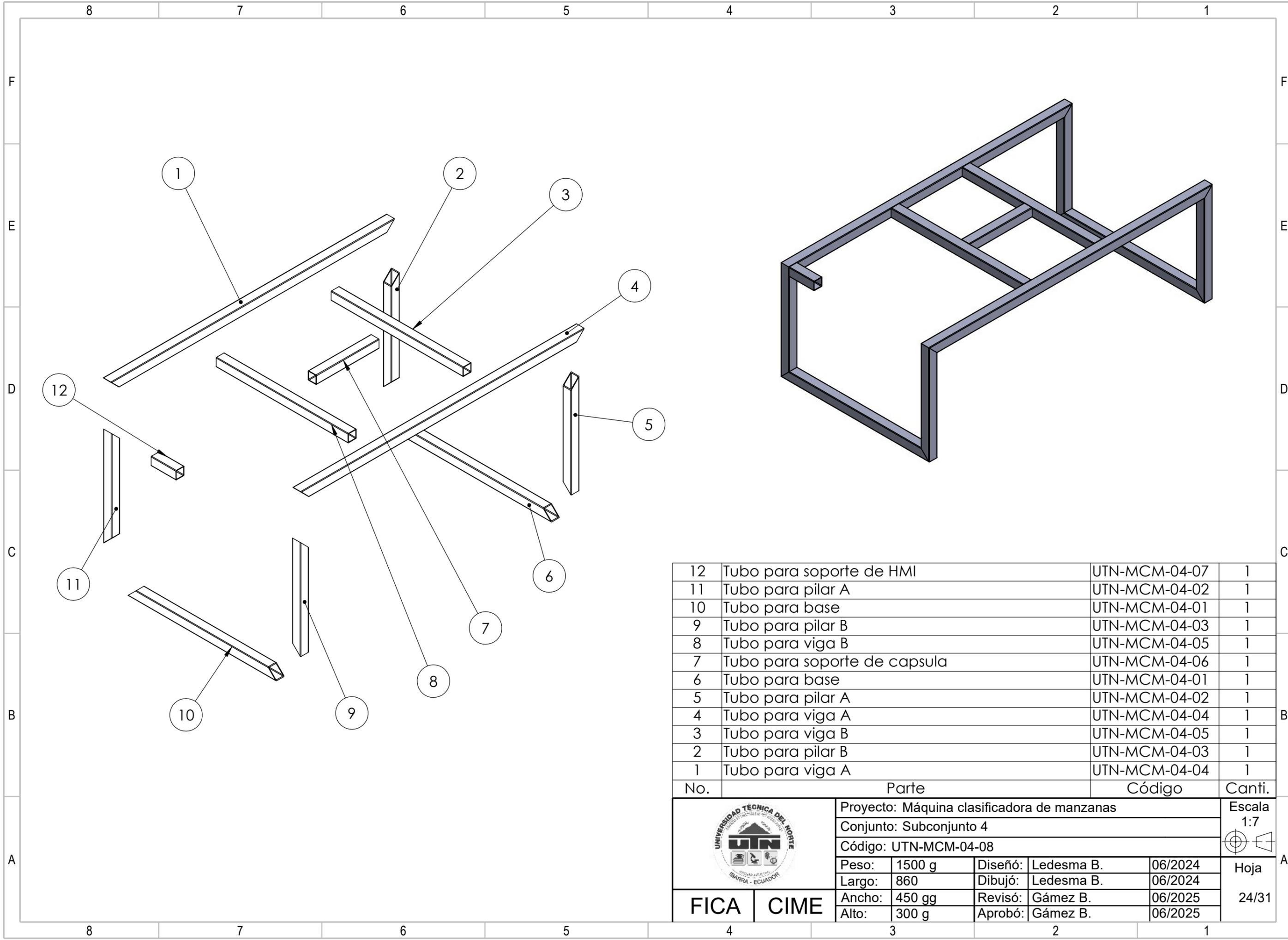
FICA CIME



No.	Parte	Código	Canti.
6	Soporte para el sistema de control 2-2	UTN-MCM-03-04	1
5	Soporte para el sistema de control 1-2	UTN-MCM-03-03	1
4	Caja para el sistema de control	UTN-MCM-03-01	1
3	Placa de circuito impreso	-	1
2	Pantalla LCD 16x2	-	1
1	Cubierta de la caja para el sistema de control	UTN-MCM-03-02	1

	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas				Escala 1:2
	Conjunto: Subconjunto 3				
	Código: UTN-MCM-03-05				
	Peso:	300 g	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024
	Largo:	114.4 mm	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024
Ancho:	102 mm	Revisó:	Gámez B.	06/2025	Hoja 23/31
Alto:	92.4 mm	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

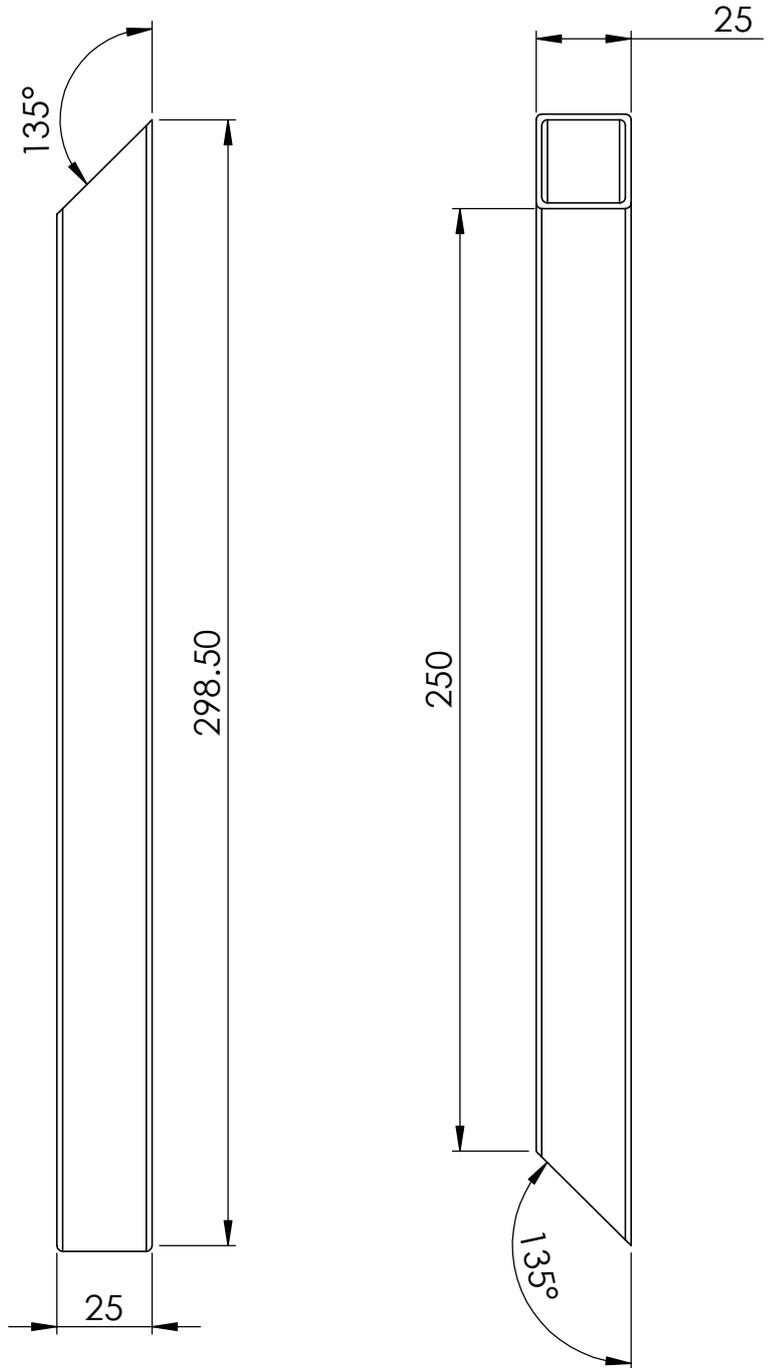
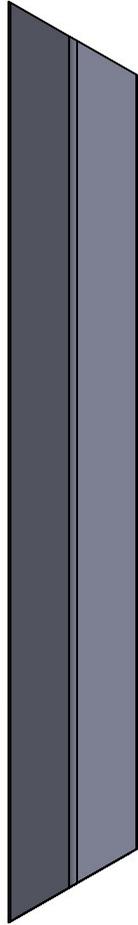
FICA CIME



12	Tubo para soporte de HMI	UTN-MCM-04-07	1
11	Tubo para pilar A	UTN-MCM-04-02	1
10	Tubo para base	UTN-MCM-04-01	1
9	Tubo para pilar B	UTN-MCM-04-03	1
8	Tubo para viga B	UTN-MCM-04-05	1
7	Tubo para soporte de capsula	UTN-MCM-04-06	1
6	Tubo para base	UTN-MCM-04-01	1
5	Tubo para pilar A	UTN-MCM-04-02	1
4	Tubo para viga A	UTN-MCM-04-04	1
3	Tubo para viga B	UTN-MCM-04-05	1
2	Tubo para pilar B	UTN-MCM-04-03	1
1	Tubo para viga A	UTN-MCM-04-04	1
No.	Parte	Código	Canti.

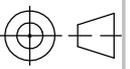
	Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas				Escala 1:7
	Conjunto: Subconjunto 4				
	Código: UTN-MCM-04-08				
	Peso:	1500 g	Diseñó:	Ledesma B.	
Largo:	860	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Ancho:	450 gg	Revisó:	Gámez B.	06/2025	Hoja 24/31
Alto:	300 g	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

FICA CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Tubo para pilar A

Código: UTN-MCM-04-02

Tolerancia: ± 0.5

Material: Acero negro

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

26/31

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

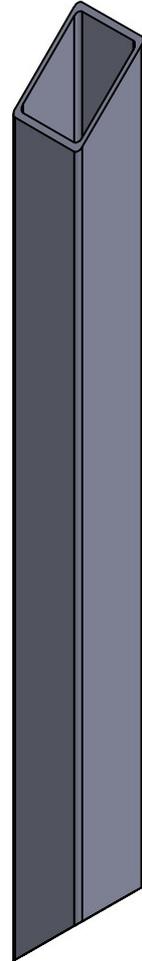
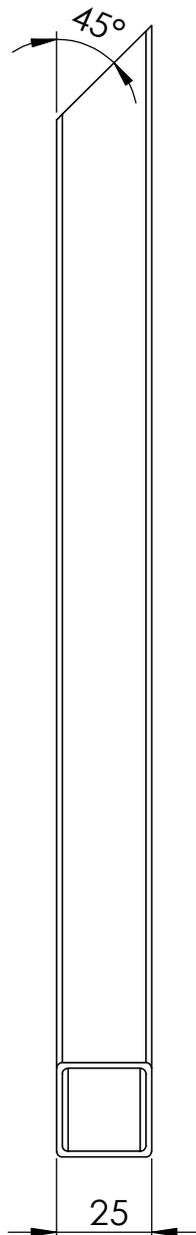
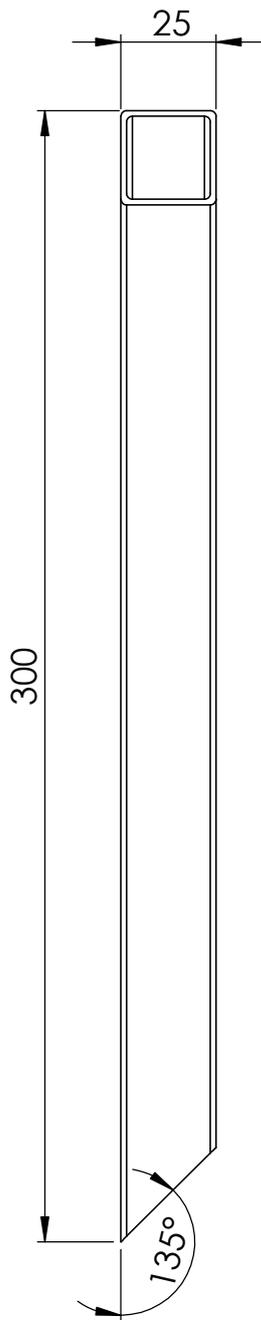
Cantidad: 2

Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025

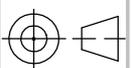
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Tubo para pilar B

Código: UTN-MCM-04-03

Tolerancia: ± 0.5

Material: Acero negro

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

FICA

CIME

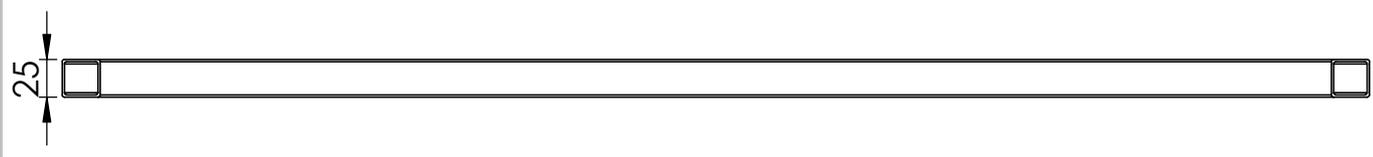
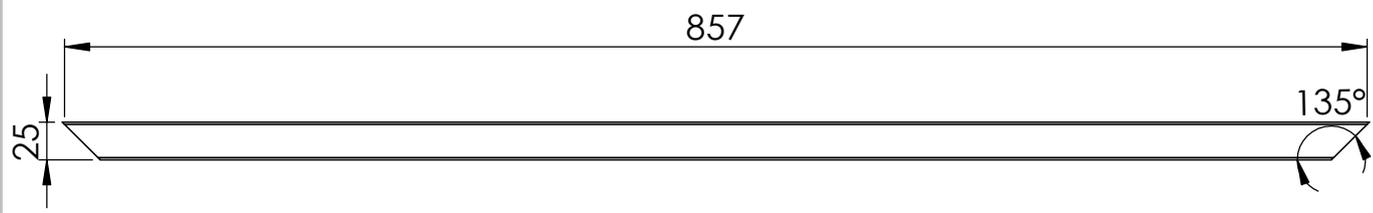
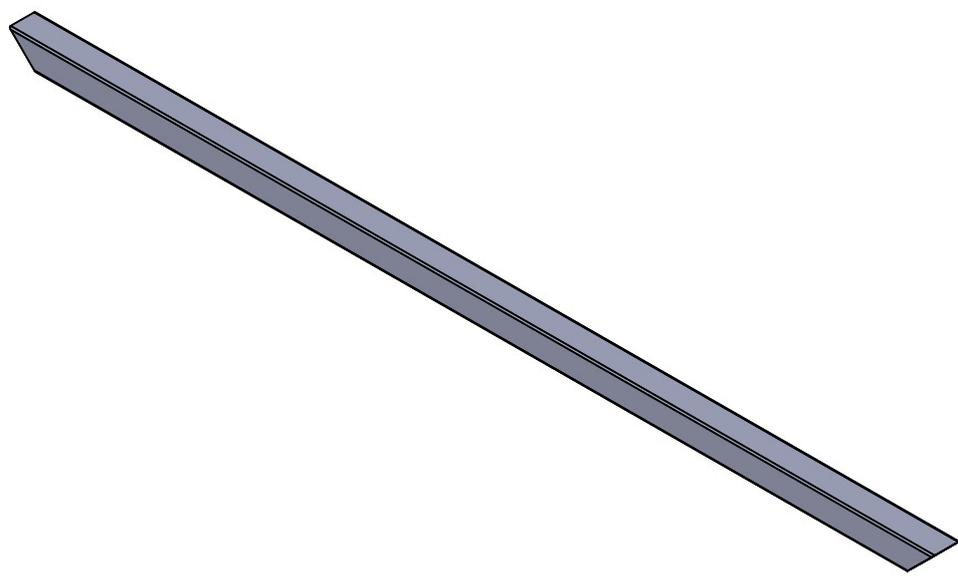
Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

27/31

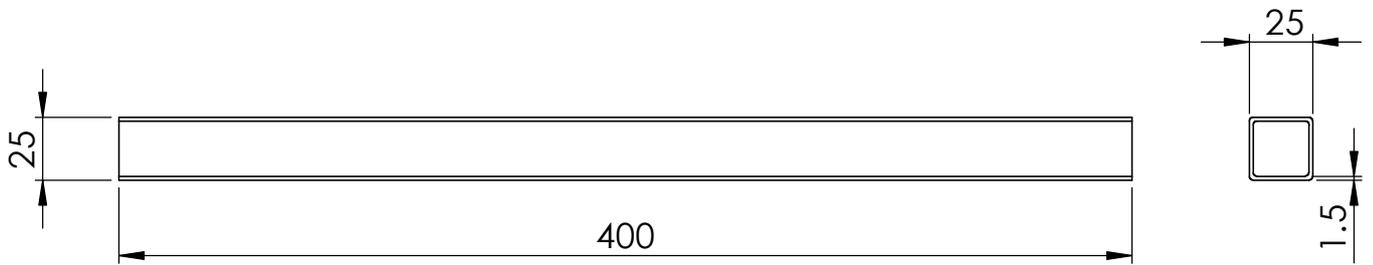
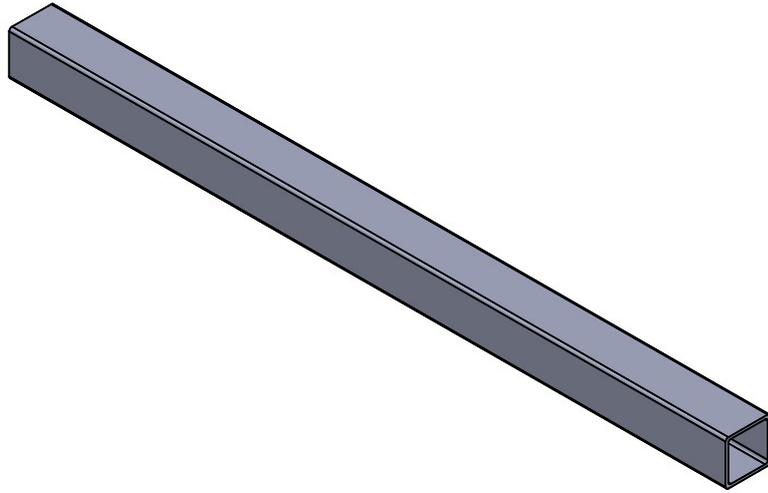
Cantidad: 2

Aprobó: Gámez B. 06/2025



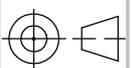
Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas			Escala 1:5		
Parte: Tubo para viga A					
Código: UTN-MCM-04-04			Tolerancia: ±0.5		
Material:	Acero negro	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024	Hoja 28/31
Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	
Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025	
Cantidad:	2	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

FICA CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:3



Parte: Tubo para viga B

Código: UTN-MCM-04-05

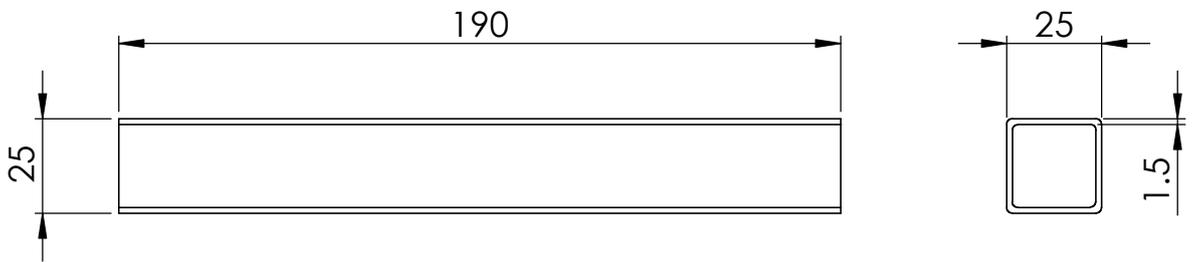
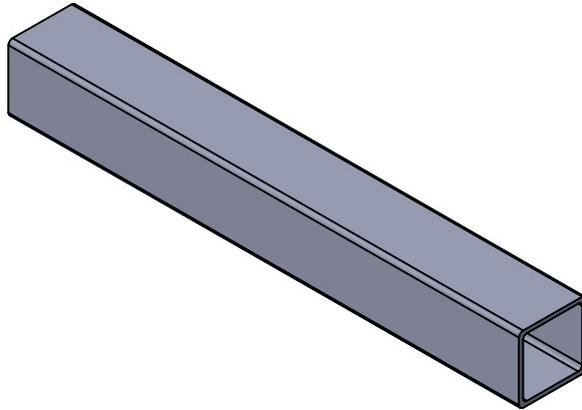
Tolerancia: ± 0.5

Material:	Acero negro	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024	Hoja
Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	

Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025	29/31
Cantidad:	2	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

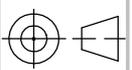
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:2



Parte: Tubo para soporte de capsula

Código: UTN-MCM-04-06

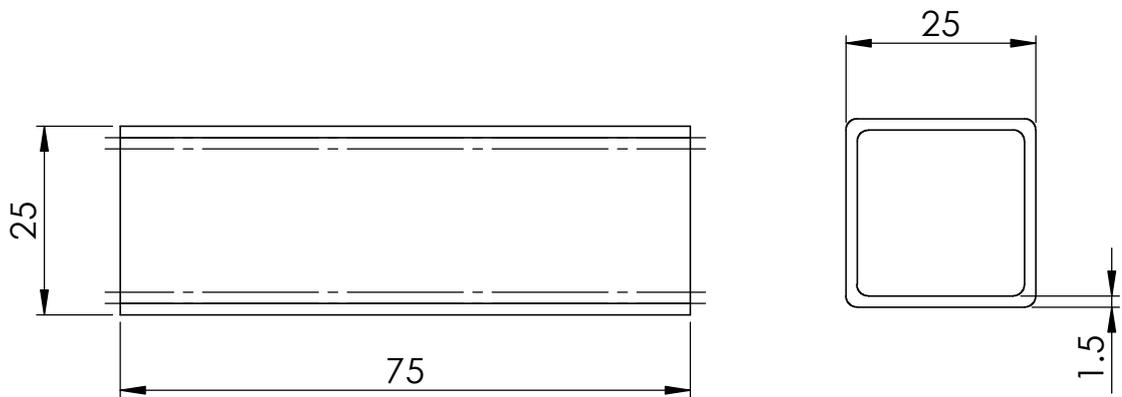
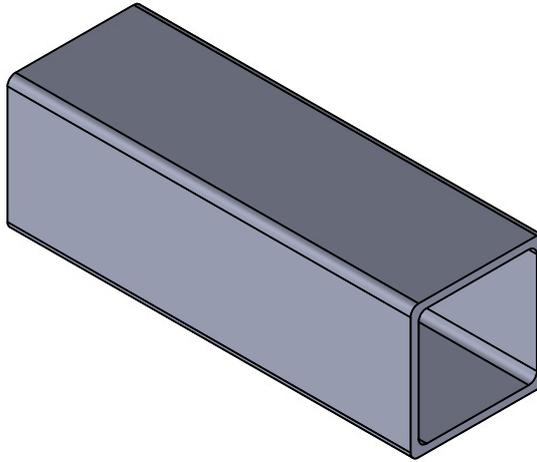
Tolerancia: ± 0.5

Material:	Acero negro	Diseñó:	Ledesma B.	06/2024	Hoja
Tratamiento:	Ninguno	Dibujó:	Ledesma B.	06/2024	

Recubrimiento:	Ninguno	Revisó:	Gámez B.	06/2025	30/31
Cantidad:	1	Aprobó:	Gámez B.	06/2025	

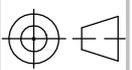
FICA

CIME



Proyecto: Máquina clasificadora de manzanas

Escala
1:1



Parte: Tubo para soporte de HMI

Código: UTN-MCM-04-07

Tolerancia: ± 0.5

Material: Acero negro

Diseñó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

Hoja

Tratamiento: Ninguno

Dibujó: Ledesma B. 06/2024

06/2024

31/31

Recubrimiento: Ninguno

Revisó: Gámez B. 06/2025

06/2025

FICA

CIME

Cantidad: 1

Aprobó: Gámez B. 06/2025

06/2025