

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un prototipo de máquina etiquetadora automática para línea empacadora
de mango

INGE-2781

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Cristina Victoria Tigrero Tigrero

Carlos Enrique Jara Blacio

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Dedico este proyecto de desarrollo profesional a mis padres, a mi madre que siempre estuvo apoyándome en cada paso que daba en la carrera; a mi padre por apoyarme incondicionalmente con sus consejos de vida que me ayudaron a sobrellevar los momentos bajos en mi carrera. A mi pareja, compañera sincera de carrera y de vida, su arduo apoyo me ayudó en la finalización de este gran reto.

Carlos Enrique Jara Blacio

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, cuyo esfuerzo y sacrificio me han permitido recorrer este camino. A mis hermanos, por ser pilares fundamentales en mi vida y por brindarme siempre su apoyo incondicional. A mis abuelitos, por su cariño y por encontrar siempre una manera de ayudarme en cada paso de este recorrido.

Cristina Victoria Tigreiro Tigreiro

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por brindarme su apoyo durante todo este camino lleno de experiencias, a mis hermanos por estar alentándome en cada paso que daba, a mi pareja por estar en cada momento crucial y al PhD. Marcelo Fajardo Pruna por brindarme sus consejos y conocimientos para la realización de este proyecto.

Carlos Enrique Jara Blacio

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios por permitir llegar a este momento de vida. A mis padres, hermanos, abuelitos y demás familiares por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. A mis amigos, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles, y en especial a Andrés, por su constante motivación y por estar siempre cuando lo necesité.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos y consejos, guiándome con dedicación en esta etapa de mi formación.

Cristina Victoria Tigreiro Tigreiro

Declaración Expresa

Nosotros, Carlos Enrique Jara Blacio y Cristina Victoria Tigrero Tigrero, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 10 de octubre del 2024.



Carlos Enrique Jara
Blacio



Cristina Victoria Tigrero
Tigrero

Evaluadores

Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD

Profesor de Materia

Jorge Luis Hurel Ezeta, PhD

Tutor de proyecto

Resumen

El mango es una fruta de alta exportación en Ecuador, pero su etiquetado sigue siendo manual, afectando la eficiencia del proceso. Este proyecto desarrolla un prototipo de máquina etiquetadora automática para mejorar la productividad, reducir costos y tiempos operativos. Se emplearon materiales como plástico ABS y PETG, un motor paso a paso NEMA 23, sensores de barrera y un robot delta IRB 360 FlexPicker, mientras que para el modelado y la simulación se utilizaron los softwares Inventor, SolidWorks y RobotStudio. Los resultados mostraron que el tiempo de etiquetado por caja se redujo de 20 a 7 segundos, aumentando la eficiencia en un 189%. Se concluye que la automatización del etiquetado mejora la producción y reduce costos operativos, permitiendo a las empresas ecuatorianas mejorar su competitividad en el mercado internacional.

Palabras Clave: Robot delta, seguimiento de cinta, movimiento paralelo, trayectorias móviles.

Abstract

Mango is a highly exported fruit in Ecuador, but its labeling process remains manual, affecting efficiency. This project develops a prototype of an automatic labeling machine to improve productivity, reduce costs, and optimize operational time. Materials such as ABS and PETG plastic, a NEMA 23 stepper motor, barrier sensors, and a Delta IRB 360 FlexPicker robot were used, while SolidWorks and RobotStudio software were utilized for modeling and simulation. The results showed that labeling time per box was reduced from 20 to 7 seconds, increasing efficiency by 189%. It is concluded that labeling automation enhances production and reduces operational costs, allowing Ecuadorian companies to improve their competitiveness in the international market.

Keywords: *Delta robot, conveyor tracking, parallel movement, mobile trajectories.*

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviatura	V
Simbología	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1.....	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del Problema	3
1.2 Justificación del Problema	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 <i>Proceso de empacado</i>	5
1.4.2 <i>Técnicas de etiquetado</i>	6
1.4.2.1 Etiquetado manual.	7
1.4.2.2 Etiquetado automático..	7
1.4.2.3 Etiquetado semiautomático.....	7
1.4.3 <i>Tipos de etiquetadoras</i>	7
1.4.4 <i>Tecnologías de etiquetado</i>	8
1.4.4.3 Inyección de aire o soplado.....	9
1.4.5 <i>Normas y regulaciones para el control de calidad del mango</i>	10
1.4.5.1 CODEX STAN 184-1993 - Tratamiento de calidad para el mango.	10
1.4.5.2 CXS 1-1985 - Etiquetado de los alimentos preenvasados.	11
1.4.6 <i>Estado del arte</i>	11
Capítulo 2.....	14
2. Metodología	15
2.1 Requerimientos del diseño	16

2.2	Alternativas de solución.....	17
2.2.1	<i>Alternativa de solución 1</i>	17
2.2.2	<i>Alternativa de solución 2</i>	17
2.2.3	<i>Alternativa de solución 3</i>	18
2.3	Criterios de evaluación	18
2.4	Diseño mecánico.....	20
2.4.1	<i>Diseño del dispensador de etiquetas</i>	20
2.4.1.1	Requerimientos del sistema.	21
2.4.1.2	Análisis funcional del sistema.	22
2.4.1.3	Diseño del sistema mecánico para el dispensador de etiquetas.	22
2.4.1.4	Diseño del sistema de control del dispensador..	29
2.4.1.5	Selección de materiales y componentes.....	32
2.5	Diseño de la estación del robot	34
Capítulo 3	40
3.	Resultados y análisis.....	41
3.1	Estación del robot	41
3.1.1	<i>Simulación con estación completa</i>	42
3.2	Dispensador de etiquetas.....	51
3.2.1	<i>Análisis mecánico de los componentes</i>	51
3.2.2	<i>Simulación del sistema electrónico</i>	51
3.2.3	<i>Análisis de elementos finitos</i>	53
3.3	Análisis de costos.....	57
Capítulo 4	61
4.	Conclusiones y recomendaciones	62
4.1	Conclusiones	62
4.2	Recomendaciones	63
Referencias	64
Apéndices	67

Abreviatura

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
HMI	Interfaz Máquina-Humana
I2C	Inter Integrated Circuit
LCD	Liquid Crystal Display
PETG	Polietileno tereftalato glicol
PLC	Controladores Lógicos Programables
RFID	Identificación por Radiofrecuencia
SC	Smart Component
TCP	Tool Center Point
VAN	Valor Actual Neto
WO	Work Object

Simbología

a	Aceleración
D	Diámetro
T	Torque
d	Distancia
F	Fuerza
g	Gravedad
η	Eficiencia del Sistema
R	Radio de rollo de etiquetas
t	Tiempo
v	Velocidad
ω	Velocidad angular

Índice de figuras

Figura 1.1 <i>Cantidades exportadas de mango de los mayores exportadores para el periodo de 2019 al 2023</i> [1].....	2
Figura 1.2 <i>Varietades de mangos con mayor exportación</i>	3
Figura 1.3 <i>Mecanismo de etiquetado con aplicación de cepillo de rodillo según</i> [20].....	8
Figura 1.5 <i>Mecanismo de etiquetado con aplicación de cilindros neumáticos según</i> [20].....	9
Figura 1.6 <i>Mecanismo de etiquetado con aplicación de soplado de aire</i> [20].....	9
Figura 1.7 <i>Diagrama de fases del proceso de etiquetado</i> [17].....	12
Figura 1.8 <i>Diagrama de aplicación del etiquetado</i> [19].....	12
Figura 1.9 <i>Secciones de la máquina modular</i> [19].....	13
Figura 1.10 <i>Sistema de maniobra</i> [19].....	13
Figura 2.1 <i>Diagrama de decisión</i>	15
Figura 2.2 <i>Alternativa de solución 1</i>	17
Figura 2.3 <i>Alternativa de solución 2</i>	18
Figura 2.4 <i>Alternativa de solución 3</i>	18
Figura 2.5 <i>Proceso de diseño</i>	20
Figura 2.6 <i>Tamaño de la etiqueta de referencia</i>	21
Figura 2.7 <i>Partes del diseño tentativo del dispensador</i>	22
Figura 2.8 <i>Eje principal del dispensador</i>	23
Figura 2.9 <i>Anillo para freno de fricción</i>	24
Figura 2.10 <i>Tornillo de cabeza plana M8x1.25</i>	24
Figura 2.11 <i>Eje giratorio</i>	25
Figura 2.12 <i>Sistema de sujeción en el eje giratorio</i>	25
Figura 2.13 <i>Plataforma</i>	26
Figura 2.14 <i>Diseño tentativo del dispensador para un rollo</i>	27
Figura 2.15 <i>Cara frontal del dispensador de etiquetas</i>	27
Figura 2.16 <i>Cara posterior del dispensador</i>	28
Figura 2.17 <i>Parte expandible del dispensador</i>	28
Figura 2.18 <i>Esquema de diseño</i>	29
Figura 2.19 <i>Flujo de control del sistema</i>	30
Figura 2.20 <i>Componentes del sistema electrónico y de control</i>	31

Figura 2.21 Motor NEMA 23 57HD4016-01	33
Figura 2.22 Caja modelada en SolidWorks.	34
Figura 2.23 Medidas de los picos en las cajas.....	35
Figura 2.24 Referencia de la etiqueta en SolidWorks.....	35
Figura 2.25 Primera prueba estática.	36
Figura 2.26 Área de trabajo del robot.	37
Figura 2.27 Historial de los puntos y trayectorias.	38
Figura 2.28 Vista final de la primera simulación.	39
Figura 3.1 Efector final de succión por vacío.....	41
Figura 3.2 Proyección del efector.....	42
Figura 3.3 Estación de trabajo robotizada	43
Figura 3.4 Árbol de las piezas.....	44
Figura 3.5 Componentes subordinados.....	44
Figura 3.6 Diseño del efector final.	45
Figura 3.7 Conexión al robot	46
Figura 3.8 Módulo de conveyor tracking.....	47
Figura 3.9 Punto de partida	47
Figura 3.10 Configuración de la conexión con la zona de trabajo	48
Figura 3.11 Puntos de trayectoria para el etiquetado	49
Figura 3.12 Estado del sistema inactivo	50
Figura 3.13 Diseño final del dispensador de etiquetas.....	51
Figura 3.14 Prueba del sistema	52
Figura 3.15 Diagrama de conexión del circuito	53
Figura 3.16 Análisis de elementos finitos Tensión de Von Mises	54
Figura 3.17 Coeficiente de seguridad.....	55
Figura 3.18 Análisis de elementos finitos- Tensión de Von Mises para el eje móvil.....	56
Figura 3.19 Análisis de elementos finitos – Desplazamiento Eje móvil	56
Figura 3.20 Análisis de elementos finitos – Coeficiente de seguridad para el eje móvil	57

Índice de tablas

Tabla 1.1. Áreas de cultivos de mango	3
Tabla 1.2. Clasificación de mangos según su peso	10
Tabla 2.1. Especificaciones del sistema.....	16
Tabla 2.2. Criterios según su peso y ponderación	19
Tabla 2.3. Conclusiones de las evaluaciones	20
Tabla 2.4. Medidas aproximadas del rollo de etiquetas.....	21
Tabla 3.1. Rubros totales	58

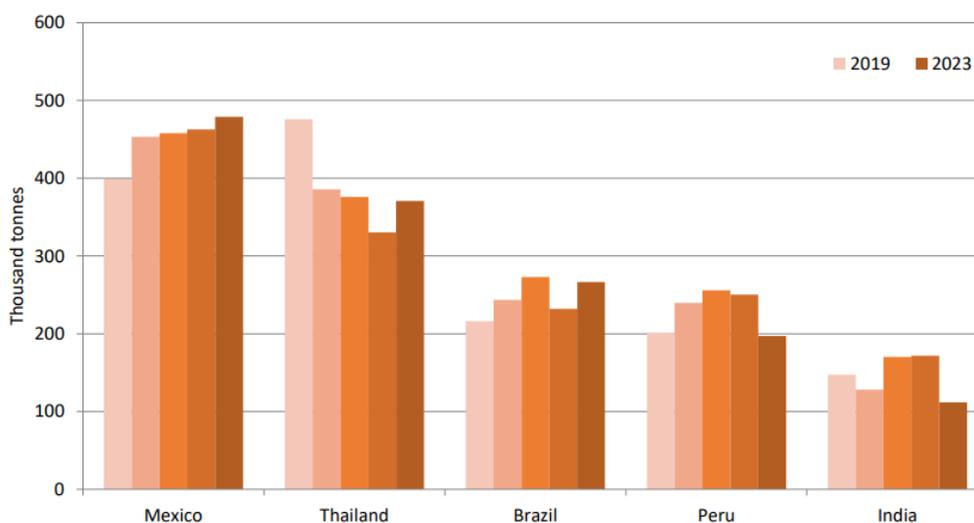
Capítulo 1

1. Introducción

El mango es una de las tres frutas con mayor exportación y producción a nivel mundial, contabilizando 43 millones de toneladas métricas en la temporada del 2023. A manera regional, América del Sur contribuyó con 611,726 toneladas métricas a la exportación mundial, siendo Brasil y Perú los de mayor aportación a la región con 275,818 y 266,045 toneladas métricas respectivamente [1].

Figura 1.1

Cantidades exportadas de mango de los mayores exportadores para el periodo de 2019 al 2023 [1].



En la actualidad, Ecuador registra 6300 hectáreas de plantaciones de producción de mango dedicadas para la exportación contando con el mayor porcentaje en la zona oeste (Vía a la Costa) del país con 40.52% [2]. Además, el mango ecuatoriano se posicionó como el tercer producto no agropecuario con menor crecimiento en exportaciones, registrando una reducción anual de 11 puntos, debido a una diferencia de 13 mil dólares en exportaciones entre diciembre de 2023 y enero de 2024 [3].

Tabla 1.1*Áreas de cultivos de mango [2]*

Zona	Fincas	Hectáreas	%
Oeste	36	2513.33	40.52 %
Norte	29	1891.27	30.49 %
Central	37	1718.06	27.10 %
Sur	1	80.10	1.29 %
Total	103	6202.76	100 %

Dentro de la cosecha de la fruta en el Ecuador, existen diferentes tipos de mango para la exportación. De los cuales se destacan las variedades Tommy Atkins, Kent, Ataulgo, Haden, Keitt, representando alrededor del 98% de las exportaciones realizadas en el periodo 2022-2023 [2]. De acuerdo con IncarPalm, “Tommy Atkins es la variedad más exportada por Ecuador, sumando cerca del 70% del total de la fruta” [4].

Figura 1.2*Variedades de mangos con mayor exportación*

1.1 Descripción del Problema

El etiquetado es una etapa crucial en la comercialización internacional de frutas y verduras, porque garantiza el cumplimiento de normativas y facilita la trazabilidad en los mercados de destino [5]. En la industria del mango en Ecuador, este proceso adquiere particular importancia debido al gran volumen de exportaciones y a las rigurosas regulaciones internacionales para la venta de fruta fresca. A pesar de ello, en las líneas de producción el etiquetado sigue realizándose manualmente, lo

que puede limitar la eficiencia y precisión necesarias para satisfacer la demanda global. Esto también implica una inversión significativa de tiempo por medio de los operadores del procesos, así como, una inversión en la mano de obra para colocar la etiqueta.

Además, es importante tener en cuenta que la disponibilidad de esta fruta en el país se limita al periodo de octubre a enero, lo cual exige maximizar la eficiencia en el tiempo de producción para satisfacer la demanda de exportación dentro de esta ventana limitada [6]. El desarrollo de una máquina etiquetadora automatizada agilizará significativamente el proceso de empaque y etiquetado, minimizando los tiempos de intervención manual y reduciendo el margen de error en la operación.

Las empresas exportadoras de frutas ecuatorianas carecen de esta etapa, por lo cual, es necesario la intervención de personal para el etiquetado. Es indispensable desarrollar un prototipo de máquina etiquetadora para mangos, que pueda realizar esta tarea cuando la fruta ya se encuentra dentro de la caja de exportación, la cual es transportada en una banda a una velocidad determinada. Sabiendo que, la disposición de los mangos en las cajas varía según la cantidad de fruta colocada en cada una.

1.2 Justificación del Problema

La industria exportadora de Ecuador enfrenta retos constantes al momento de modernizar procesos para la mejora de la competitividad y los tiempos de producción al nivel de los mercados internacionales. El etiquetado de productos de exportación, como el mango, representa una fase de suma importancia dentro de la cadena productiva, debido a que se deben seguir ciertas normativas para los productos de exportación.

Sin embargo, el etiquetado manual genera ineficiencias significativas, debido a que, demanda una considerable cantidad de tiempo de operación, esfuerzo humano y riesgos de errores, lo que afecta a la productividad del proceso [7]. Por esta razón, la automatización de esta etapa resulta fundamental para reducir tiempos de operación y minimizar costos operativos, lo cual ayuda a las empresas a

mejorar sus márgenes de eficiencia y a cumplir con los estándares de regulación y con esto ser competitivos a nivel internacional.

Al desarrollar un prototipo de máquina etiquetadora, se impulsa la economía local mediante la demanda de insumos y componentes nacionales. Esto fomenta la producción interna de los elementos necesarios, reduciendo la dependencia de importaciones y promoviendo la participación de proveedores locales, lo que fortalece la industria nacional y genera un impacto positivo en el crecimiento económico del país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de máquina etiquetadora automática, fundamentado en el análisis de los sistemas de etiquetado manual actuales, para la mejora del proceso de etiquetado y reducción de los costos operativos en la producción de mangos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el desempeño del sistema autónomo para la comparación de la tasa de producción con el método manual.
- Identificar el sistema de etiquetado que permita cumplir con los ‘parámetros y requerimientos para el proceso de exportación de frutas.
- Ensamblar los circuitos necesarios para el funcionamiento eficiente del equipo asegurando la integración óptima de sus componentes.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de empaado

Debido a que Ecuador es un país exportador, la preparación para exportar el mango es un proceso importante, repetitivo y que se realiza en gran escala. En este proceso están involucradas

diferentes fases: recolección y selección de los mangos, limpieza, encartonado, etiquetado y carga [8].

Primero, los mangos se transportan en un máximo de 36 horas desde su cosecha, manteniéndolos a la sombra y sin superar las 4 horas para su descarga en la empacadora [9]. Luego, se los selecciona de acuerdo con el peso deseado por el cliente, con tamaños que varían entre 12 y 18 cm [10]. En cuanto a la limpieza, se utilizan agitadores con corrientes de aire para mover el agua e ir removiendo los residuos de la fruta sabiendo que dicha agua debe ser desinfectada previamente con cloro a 150 partes por millón [11].

Posteriormente, pasan por un tratamiento térmico yendo de temperaturas altas (46°C) a bajas (21°C) para el control de la mosca debido a que se van a exportar a Estados Unidos, Japón y Europa [10]. Al terminar este proceso, la cera del mango se pierde por lo cual se añade una artificialmente para realizar el empaclado en cajas de 4.1kg aproximadamente [9].

Después, se añade la etiqueta que emite información relevante a los clientes sobre el producto, esta puede ir adherida directamente en el producto o en su caja dependerá del propósito de la etiqueta y de la información que esta contenga. El proceso de realizar los etiquetados es complejo, en el sentido de que debe ser capaz de adaptarse a diferentes superficies, materiales y diseños [12]. Por último, se los ordena y carga mediante pallets para dar estabilidad y realizar un transporte eficiente.

1.4.2 Técnicas de etiquetado

Existen diversos tipos de aplicadores, lo que da lugar a distintas clasificaciones. Sin embargo, todos comparten un elemento fundamental: un sistema para separar la etiqueta de su papel soporte o respaldo. Este proceso se lleva a cabo desenrollando una bobina de etiquetas troqueladas y haciendo pasar el papel soporte por una pletina o separador con un ángulo específico. A medida que el papel avanza por ese ángulo cerrado, el borde delantero de la etiqueta se despega. Las placas separadoras pueden presentarse en diferentes configuraciones, como platinas fijas, móviles o neumáticas [13].

1.4.2.1 Etiquetado manual. Son empleadas en pequeñas empresas para simplificar el proceso de etiquetado de superficies cilíndricas, utilizando etiquetas autoadhesivas presentadas en rollo [7].

1.4.2.2 Etiquetado automático. Es una máquina diseñada para aplicar etiquetas autoadhesivas de forma continua, integrándose normalmente en una línea de envasado y etiquetado. Su operación no requiere intervención constante de un operario, aunque puede necesitar asistencia para cargar los productos a etiquetar. Estos equipos suelen incluir uno o varios cabezales para colocar las etiquetas, junto con sistemas de separación y alineación de los productos. Además, incorporan una cinta transportadora y una mesa de acumulación en la salida, facilitando la distribución o recolección de los artículos etiquetados, entre otros [13].

1.4.2.3 Etiquetado semiautomático. Lleva a cabo el proceso de etiquetado mediante un dispositivo que necesita la intervención mecánica de un operador. Aunque ofrece gran precisión, no está exenta de posibles errores humanos. Este tipo de equipo es capaz de etiquetar diversas superficies como cilíndricas, planas, ovaladas, irregulares o cónicas [13].

1.4.3 Tipos de etiquetadoras

Las etiquetadoras se clasifican en: el grado de automatización, lo que permite dividir las en semiautomáticas y automáticas; la necesidad de intervención humana en su funcionamiento y la orientación del contenedor durante el proceso, distinguiendo entre etiquetadoras verticales y horizontales. Asimismo, se agrupan según el tipo de etiqueta que aplican abarcando etiquetas en hoja, en rollo, adhesivas en caliente, sensibles a la presión, y aquellas que aplican mangas de película retráctil [14].

También, la forma de clasificar las etiquetadoras es según el movimiento del contenedor: en las lineales, los productos avanzan en línea recta, mientras que, en las rotativas, los productos giran durante el etiquetado. También se pueden diferenciar según las características del proceso de

aplicación, como las de prensado, rotativas, de laminado y de trazo con cepillo, cada una optimizada para aplicaciones específicas [14].

1.4.4 Tecnologías de etiquetado

Label Factory determinó que una vez que las etiquetas se han separado del papel soporte, existen varias formas de acercarlas y aplicarlas en la ubicación correcta sobre el producto [13].

1.4.4.1 Rodillos. Una técnica común para pegar las etiquetas a los productos es utilizando rodillos de caucho o espuma, esto trabaja con aplicadores de tambor y también, en algunos casos, con cepillos complementarios. Estos métodos son eficaces especialmente para los paquetes de forma plana o cilíndrica, aunque también sirven en aplicaciones con superficies cóncavas o convexas. En la Figura 1.3, se presenta un producto desarrollado mediante un sistema de aplicación con un cepillo de rodillo.

Figura 1.3

Mecanismo de etiquetado con aplicación de cepillo de rodillo según [20]



1.4.4.2 Almohadillas de presión o pistones neumáticos. En algunos casos de aplicación se utilizan almohadillas o pistones para colocar las etiquetas en el lugar correspondiente, en estos casos, las etiquetas una vez dispensadas se succionan hacia la almohadilla al vacío en el extremo de un pistón para luego colocarse en el objeto cuando este se encuentre en la posición correspondiente, se libera la succión y con esto se logra un etiquetado de alta precisión, estos sistemas se pueden colocar

la etiqueta en cualquier superficie, ángulo dirección. En la Figura 1.5 se utiliza este mecanismo como medio de aplicación.

Figura 1.4

Mecanismo de etiquetado con aplicación de cilindros neumáticos según [20]



1.4.4.3 Inyección de aire o soplado. Uno de los métodos más utilizados para la aplicación de etiquetas es mediante el soplado con aire a presión. Este tipo de sistema recoge una etiqueta a la vez con una ligera succión y después la sopla lanzándola hacia el producto. Se utiliza cuando se requiere colocar la etiqueta sobre superficies que con sistemas comunes no sería posible o existen diversos inconvenientes, también cuando es necesario colocar la etiqueta en productos delicados o que no se pueda tener contacto con el aplicador de la etiqueta. En la Figura 1.6 se muestra un mecanismo de etiquetado que pone en práctica este tipo de aplicación.

Figura 1.5

Mecanismo de etiquetado con aplicación de soplado de aire [20]



1.4.5 Normas y regulaciones para el control de calidad del mango

Las normas y regulaciones en la producción de mango tienen como objetivo asegurar calidad, seguridad y consistencia del producto a lo largo de toda la cadena de suministro, desde su cultivo hasta su consumo. Estas normativas establecen criterios básicos para el manejo adecuado de la fruta, garantizando que cumpla con estándares de calidad que permiten su comercialización en mercados nacionales e internacionales. A continuación, se describen algunas normativas relacionadas:

1.4.5.1 CODEX STAN 184-1993 - Tratamiento de calidad para el mango. Detalla los requisitos que deben cumplir las variedades comerciales de mango (*Mangifera indica* L) destinados al consumo en fresco, excluyendo aquellos para uso industrial. Los mangos deben cumplir con condiciones mínimas de calidad: deben estar enteros, sanos, limpios y sin materia extraña visible, así como exentos de daños por plagas, humedad anormal (excepto por condensación al salir de una cámara frigorífica), y cualquier olor o sabor inusual. Deben ser firmes, frescos en apariencia, sin daños por bajas temperaturas, y presentar un desarrollo y madurez satisfactorios que permitan su transporte y manipulación sin deteriorarse [15]. También clasifica a los mangos por su peso como se describe en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2

Clasificación de mangos según su peso [15]

Calibre	Masa(gramos)
A	200 - 350
B	351 - 550
C	551 - 800

En cuanto a la presentación, la norma exige envases homogéneos que contengan mangos de la misma calidad, variedad y calibre, y envasados de manera que protejan adecuadamente el producto. Los envases deben cumplir con el Código Internacional de Prácticas para el Envasado y Transporte

de Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 44-1995), incluyendo materiales nuevos o reciclados de calidad alimentaria. También se establecen requisitos específicos para el etiquetado, como el nombre del producto, variedad, origen, y especificaciones comerciales como el calibre y peso neto, de ser necesario [15].

1.4.5.2 CXS 1-1985 - Etiquetado de los alimentos preenvasados. Esta normativa establece requisitos fundamentales para el etiquetado de alimentos preenvasados destinados al consumidor final o a la industria de hostelería. La norma regula aspectos clave como el nombre del producto, lista de ingredientes, contenido neto, país de origen y fecha de caducidad, con el objetivo de ofrecer información clara, veraz y no engañosa. También incluye directrices para el marcado de alérgenos, ingredientes genéricos y la declaración de aditivos alimentarios.

Además, la norma exige información sobre condiciones especiales de almacenamiento y uso para preservar la calidad del producto. También regula el etiquetado de alimentos irradiados y define exenciones para productos de pequeñas dimensiones. La norma permite etiquetado opcional adicional siempre que no contradiga los requisitos obligatorios, y exige que la información se presente de forma legible y en el idioma adecuado para el consumidor final [16].

1.4.6 Estado del arte

La siguiente revisión bibliográfica tiene como objetivo la recopilación de información relevante y significativa sobre los temas relacionados a los sistemas de etiquetado de la industria para tener una base sólida de opciones de diseño, alternativas de solución, y establecer una idea clara y óptima para encontrar soluciones innovadoras en el país.

Primero, un sistema de etiquetado de envases plásticos cilíndricos presentado por Bajaan y Barroso [17], donde la aplicación de la etiqueta se realiza mediante rodillos y una banda vertical recubierta de goma con soporte paralelo, todo esto siguiendo el diagrama de la Figura 1.7. Además, se resalta que es importante que el rollo tenga la tensión suficiente para un mejor desprendimiento,

en este trabajo se sigue un proceso donde primero ingresa la botella, se coloca la etiqueta y se realiza un giro de la botella. El cual está destinado a presionar la etiqueta para que se adhiera mejor a la botella, y que la botella avance hasta la siguiente etapa, como se muestra en la Figura 1.8.

Figura 1.6

Diagrama de fases del proceso de etiquetado [17]

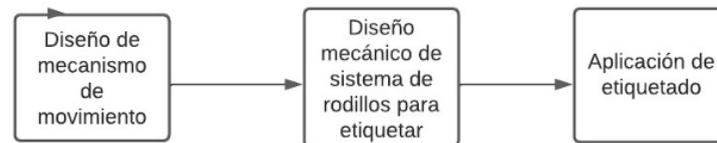
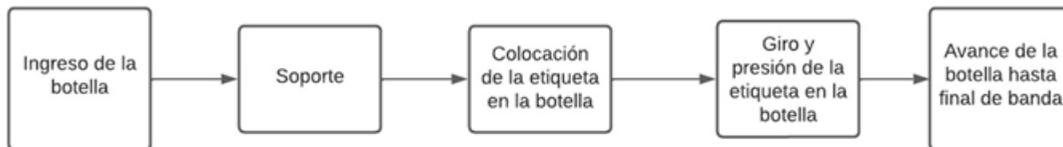


Figura 1.7

Diagrama de aplicación del etiquetado [19]



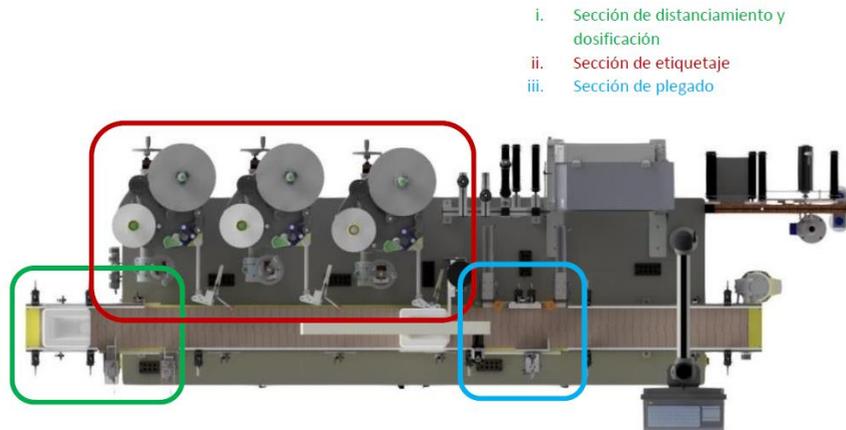
El desarrollo de una etiquetadora manual para banano implementado por Barahona y Lobo [18], donde se utilizó un enfoque cuantitativo tomando en cuenta disponibilidad de piezas, facilidad de ensamble, el peso adecuado de la herramienta y los costos que implica la manufactura. Los aspectos destacables de esta metodología son la delimitación del diseño según el tamaño de la etiqueta y el diseño del mecanismo del trinquete. Implican ecuaciones para calcular el diámetro del trinquete, el trinquete es el mecanismo que hace posible el proceso de etiquetado debido a que garantiza la movilidad de la etiqueta de papel y la salida continua de la misma [18].

Según Gras [19], el diseño de una máquina etiquetadora automática enfocada en el etiquetaje de productos que puede tener variedad de tamaños. Esta máquina cuenta con tres estaciones de etiquetado, siendo la primera estación para aplicar el tipo de etiqueta RFID (según lo requiera), la segunda para etiquetas pequeñas y la última para etiquetas grandes. Cuando se trata de productos de

dimensiones grandes, como canecas de gasolina, se hace el uso de la siguiente estación de trabajo para el plegado de la etiqueta en el producto.

Figura 1.8

Secciones de la máquina modular [19]



El control de la máquina completa es realizado por un PLC que cuenta también con una interfaz máquina-humana (HMI) para observar y modificar los procesos, manual o automático, según le convenga al operario, seguido de otro menú con la funcionalidad de regular los parámetros de los distintos elementos que componen a la máquina. Finalmente, también tiene integrada una impresora para la personalización de la etiqueta grande.

Figura 1.9

Sistema de maniobra [19].



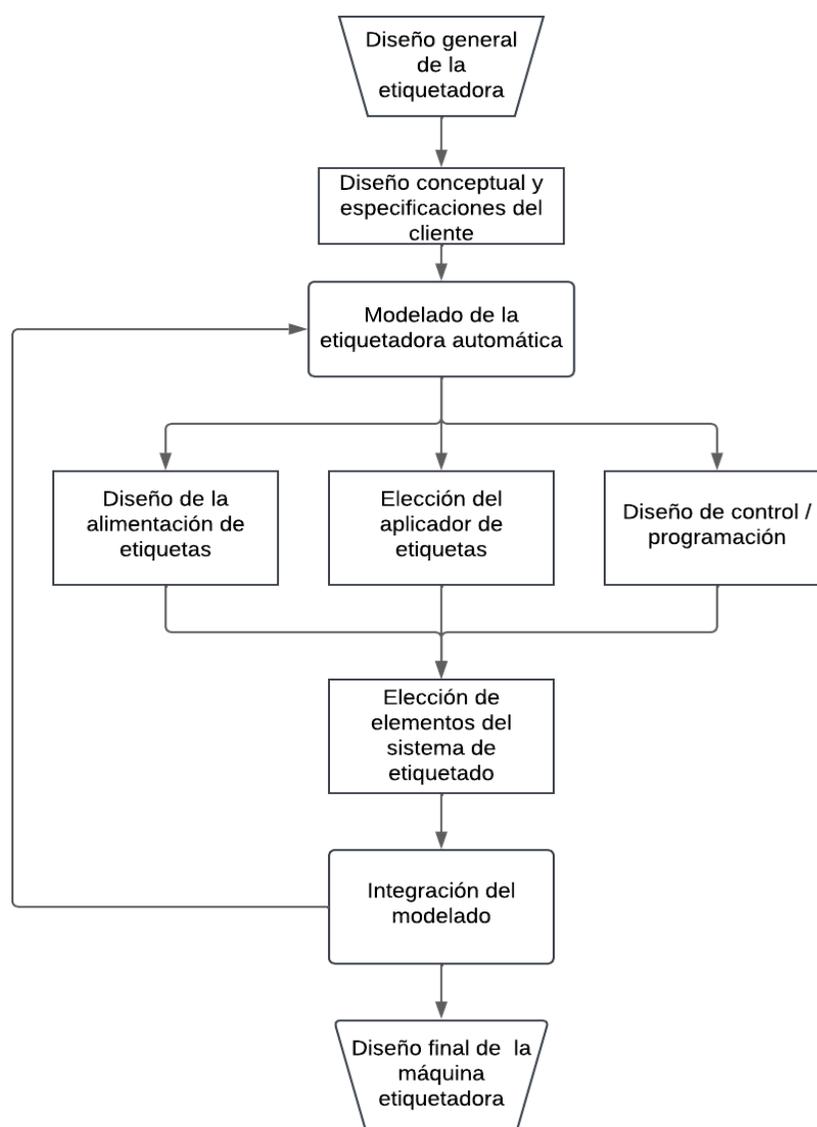
Capítulo 2

2. Metodología

El procedimiento seguido para la determinación y desarrollo del prototipo de una máquina etiquetadora automática de mangos, diseñado para cumplir con los requerimientos establecidos, se presenta de manera estructurada en la Figura 2.1.

Figura 2.1

Diagrama de decisión.



La fase inicial del diseño consiste en identificar los elementos y sistemas más comunes que integran una máquina etiquetadora. Posteriormente, se procede a establecer un diseño conceptual basado en las especificaciones proporcionadas por el cliente. Con estos aspectos claros, se avanza al modelado de la máquina etiquetadora, el cual se divide en tres subetapas. Estas subetapas abarcan el diseño de las partes identificadas en la fase inicial, como un alimentador de etiquetas que debe operar de manera sincronizada con el aplicador de etiquetas. El cual, debe ajustarse a los requisitos del cliente. Además, se incorpora un sistema de control o informático para supervisar y gestionar el proceso de etiquetado del diseño propuesto.

Una vez definidos los sistemas de la máquina, se procede a seleccionar los elementos que la componen, incluyendo materiales, actuadores, sensores y controladores. Finalmente, se realiza la integración de todos los componentes modelados para consolidar el diseño final de la máquina etiquetadora automática.

2.1 Requerimientos del diseño

Para realizar un diseño adecuado con el cliente, al inicio se establecieron las especificaciones con las que debe contar el sistema de etiquetado, las cuales se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

Especificaciones del sistema

Tipo de máquina etiquetadora	Automática
Presión máxima de aplicación	1.5 N/cm ²
Velocidad de la banda	35 mm/s
Contenido de la caja	De 6 a 12 mangos dependiendo su tamaño
Forma de la caja	Rectangular con elevaciones en los extremos de la caja
Tamaño de la caja	Alto de 275mm y un ancho de 350mm

2.2 Alternativas de solución

Para comenzar el proceso de diseño se proporcionan tres alternativas de solución, las cuales están enfocadas en el método de aplicación de la etiqueta. Estas soluciones fueron obtenidas de la investigación realizada en el capítulo uno, tomando en cuenta los conceptos necesarios para realizar una correcta adherencia de la etiqueta al mango.

2.2.1 Alternativa de solución 1

La primera alternativa de solución para la aplicación de la etiqueta es un robot delta, el cual recogerá la etiqueta en un punto fijo utilizando su efector final, para luego realizar presión y colocar la etiqueta en el mango correspondiente. Este robot funcionará con un sistema de detección y conteo de mangos ya realizado, este sistema contará solo con un robot el cual realizará todo el etiquetado de los mangos.

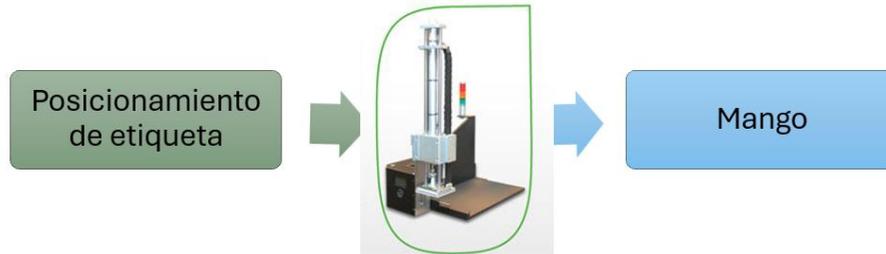
Figura 2.2

Alternativa de solución 1.



2.2.2 Alternativa de solución 2

Para la segunda solución, se propone un mecanismo basado en la aplicación de presión de aire, inspirado en las tecnologías actuales de etiquetado neumático. Este sistema utiliza cilindros y válvulas neumáticas para aplicar las etiquetas. Primero, la etiqueta se posiciona debajo de la válvula y es expulsada hacia la fruta mediante un flujo de aire. Además, el diseño es similar al concepto de almohadillas, en el que la etiqueta se coloca inicialmente sobre una almohadilla que desciende una distancia controlada y utiliza una menor presión de aire para expulsar la etiqueta de forma precisa.

Figura 2.3*Alternativa de solución 2.*

2.2.3 Alternativa de solución 3

La última alternativa para el aplicador de etiquetas consiste en simular un mecanismo de rodillos, donde la etiqueta se posiciona directamente en la superficie del rodillo. Este sistema puede incluir un cepillo para ejercer mayor presión y garantizar una adhesión efectiva. Una vez colocada la etiqueta, el objeto pasa por debajo del rodillo y la etiqueta se adhiere de manera precisa. Es fundamental que el objeto se encuentre a la misma altura que el aplicador para asegurar una fijación adecuada.

Figura 2.4*Alternativa de solución 3.*

2.3 Criterios de evaluación

Una vez definidas las alternativas de solución, se establecieron los criterios a considerar para la elección de la solución más adecuada para el sistema a desarrollar.

- Costo: Lo que busca el cliente es reducir los costos de realizar esta operación de manera manual, por lo cual se debe considerar que la construcción de este sistema de etiquetado represente una ganancia a largo plazo.
- Tiempo de operación: Debido a que esta operación se realiza de forma frecuente y en intervalos prolongados de tiempo, se debe tomar en cuenta el tiempo que se emplea al etiquetar todos los mangos dentro de una caja.
- Mantenimiento: debe tomarse en cuenta debido a que se quiere reducir el tiempo de intervención de los operarios en esta operación.
- Adaptabilidad: debe procurarse que el sistema se ajuste a los requerimientos de la caja, y a la distribución de los mangos en la caja.

Después se designó un peso relativo a cada criterio a considerar para la elección de la solución, los cuales se muestran en la Tabla 2.2.

$$\textit{Adaptabilidad} > \textit{Tiempo de operación} > \textit{Costo} = \textit{Mantenimiento}$$

Tabla 2.2

Criterios según su peso y ponderación

Criterio	$\Sigma +1$	Ponderación
Adaptabilidad	4	40%
Tiempo de operación	3	30%
Costo	1.5	15%
Mantenimiento	1.5	15%
Suma	10	100%

En la siguiente etapa se realizó la evaluación de cada una de las soluciones propuestas, de acuerdo con cada criterio listado con anterioridad, después de obtener los valores de cada propuesta

se muestran los resultados en la tabla de conclusiones, para obtener la solución más factible según los requerimientos y consideraciones de este proyecto.

Tabla 2.3

Conclusiones de las evaluaciones

Conclusión	Adaptabilidad	Tiempo	Costo	Mantenimiento	Suma	Prioridad
Solución 1	0.2	0.15	0.025	0.0625	0.4375	1
Solución 2	0.1	0.1	0.05	0.0625	0.3125	2
Solución 3	0.1	0.05	0.075	0.025	0.25	3

2.4 Diseño mecánico

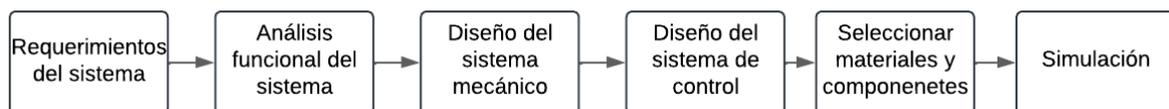
El sistema de etiquetado, independientemente del método utilizado para colocar las etiquetas, incluye un mecanismo de alimentación de etiquetas. Para esta aplicación específica, se ha considerado el uso de un dispensador automático que posiciona cada etiqueta en un punto fijo. Además, este sistema debe garantizar la correcta eliminación del papel protector sin que interfiera con los demás componentes del mecanismo.

2.4.1 Diseño del dispensador de etiquetas

En cuanto el diseño del dispensador de etiqueta se siguió la secuencia mostrada en el diagrama de flujo de la Figura 2.5.

Figura 2.5

Proceso de diseño.



2.4.1.1 Requerimientos del sistema. Para este sistema se tomó en cuenta las dimensiones del rollo de las etiquetas, las cuales son presentadas en la en la Tabla 2.4 , con valores aproximados, este punto fue importante para saber la dimensión interna del agujero del rollo, además, las dimensiones externas del rollo que influyen en la mecánica y la distribución de los otros elementos del sistema del alimentador de etiquetas.

También, un dato importante considerado fue el tamaño individual de la etiqueta, el cual se presenta en la Figura 2.6 , esto con el fin de poder identificar la distancia que se debe desplazar para colocar otra etiqueta en el punto final.

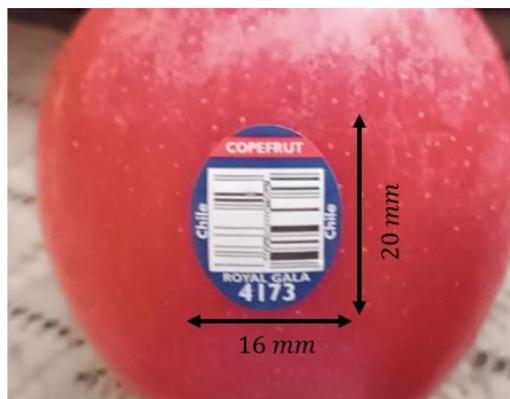
Tabla 2.4

Medidas aproximadas del rollo de etiquetas

Ancho del rollo	Mayor a 16 mm
Diámetro externo	100 mm a 200 mm
Peso	412g – 1.25kg
Cantidad	1100 etiquetas por rollo
Core size	25 mm a 76 mm

Figura 2.6

Tamaño de la etiqueta de referencia.



Se consideró que las etiquetas son de polipropileno, debido a que son las más usadas para aplicaciones de etiquetado de frutas y productos agrícolas. La velocidad de etiquetado depende del aplicador a utilizar, en este caso se tiene un robot delta como alternativa seleccionada, por lo cual, se asume que se colocaran un aproximado de 20 etiquetas por minuto.

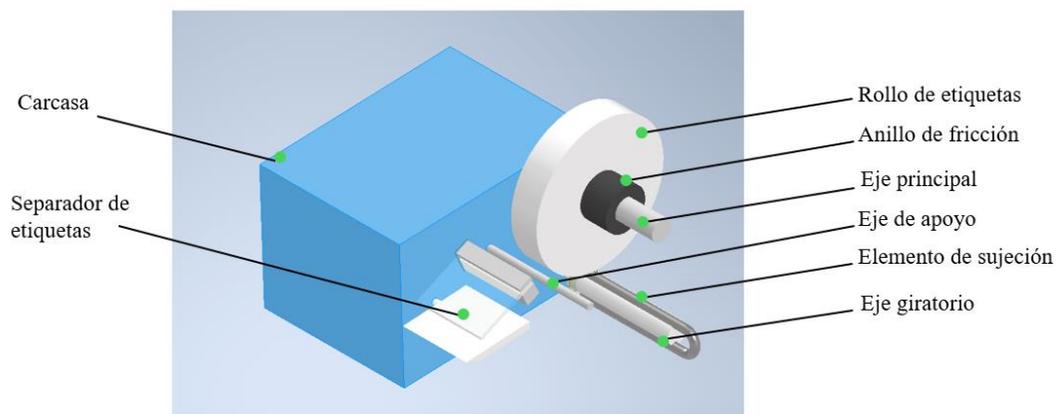
2.4.1.2 Análisis funcional del sistema. Se identificaron las principales funciones del sistema dispensador de etiquetas, las cuales se dividen en tres:

- Garantizar un flujo continuo de etiquetas, sin interrupciones prolongadas, desde el rollo de la etiqueta hasta la posición final necesaria.
- Tener un separador de etiquetas, el cual va a desprender la etiqueta del papel protector, sin llegar a dañar la etiqueta.
- Posicionar la etiqueta en un lugar fijo, el cual servirá como punto para el efector final del robot.

2.4.1.3 Diseño del sistema mecánico para el dispensador de etiquetas. El diseño del dispensador se realizó en base a un dispensador comercial, por lo cual se tienen elementos similares en su estructura como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2.7

Partes del diseño tentativo del dispensador

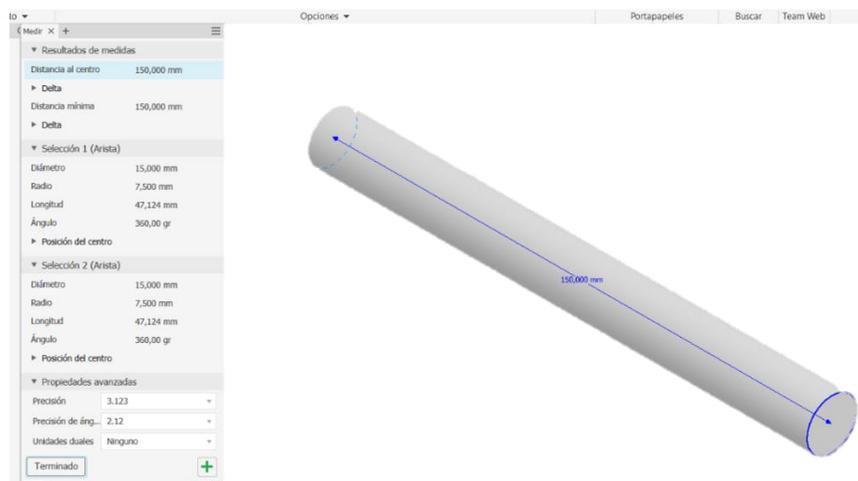


Primero se identificó que se necesita un eje sobre el cual reposará el rollo de etiquetas, se toma como consideración un diámetro de 15 mm, el cual no excede el diámetro mínimo fijado del tamaño del núcleo. La longitud de este eje dependerá de cuantos rollos de etiqueta se quieran colocar en el dispensador, también del ancho del rollo de etiquetas, en este caso se tomó en cuenta las siguientes dimensiones del eje que sujetará el rollo de etiquetas, el cual es mostrado en la Figura 2.8.

El material para el eje principal se fija en acero, debido a que este soportará todo el peso del rollo de etiquetas, por lo tanto, estará expuesto a una fuerza, además este también se verá afectado por el torque que se ejerza sobre el mismo debido al eje móvil.

Figura 2.8

Eje principal del dispensador.



Se necesita también un freno para controlar la velocidad del rollo, se escogió utilizar el principio de un freno por fricción, debido a que este es sencillo de implementar y económico. Por lo cual se coloca un anillo, o un disco en el eje del rollo para aplicar la presión para regular la velocidad del rollo, como se muestra en la Figura 2.9, que cuenta con un tornillo para ajustar la presión que se ejerce al rollo. Para la selección del tornillo, se buscaron tornillos comerciales, con una cabeza que permita el ajuste, sin necesidad de recurrir a herramientas adicionales, una vez que se encontró el tornillo.

Se seleccionó el diámetro adecuado para las dimensiones del anillo bosquejado y el paso de la rosca. Además, se adaptó un agujero con las medidas necesarias de rosca interna para que el tornillo entre y trabaje de forma efectiva. El tornillo de la Figura 2.10 es el que se tomó como referencia para el agujero interno.

Figura 2.9

Anillo para freno de fricción.

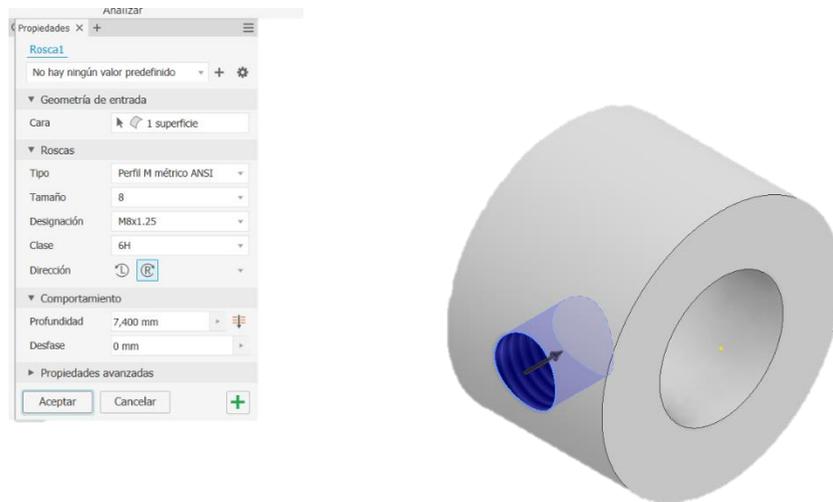


Figura 2.10

Tornillo de cabeza plana M8x1.25.



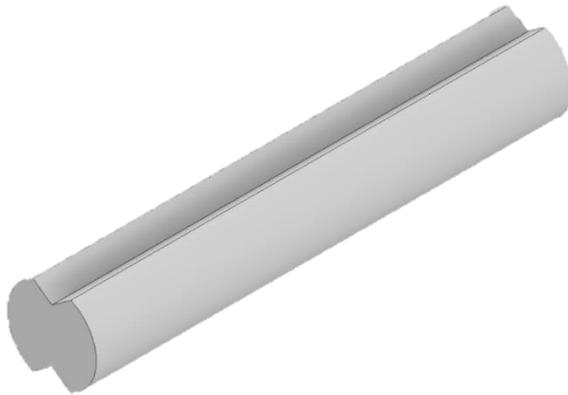
Para la salida del papel protector de las etiquetas y el movimiento del rollo de etiquetas, se utiliza un eje que determina el comportamiento del sistema. Este eje debe contar con un mecanismo que asegure el papel protector, permitiendo que se mantenga fijo y facilite el inicio del movimiento del sistema en su totalidad. El diseño del eje no sigue una forma convencional con un área transversal completamente circular. En su lugar, se incorporan cavidades específicas donde se posicionará el

elemento de fijación del papel protector, garantizando así una sujeción adecuada y eficiente para el funcionamiento del sistema, esto también evita el posible movimiento del elemento de sujeción.

Para el material de eje giratorio se sugiere utilizar plástico ABS, debido a su forma y a su proceso de fabricación.

Figura 2.11

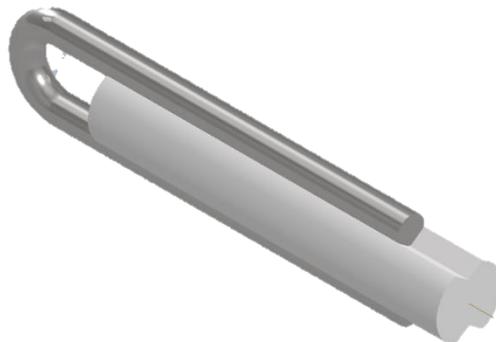
Eje giratorio



Mientras que, para el sistema de sujeción se sugiere una barra de un material maleable pero resistente existente en el mercado, como referencia se tomó un diámetro de 6 mm para el elemento de sujeción.

Figura 2.12

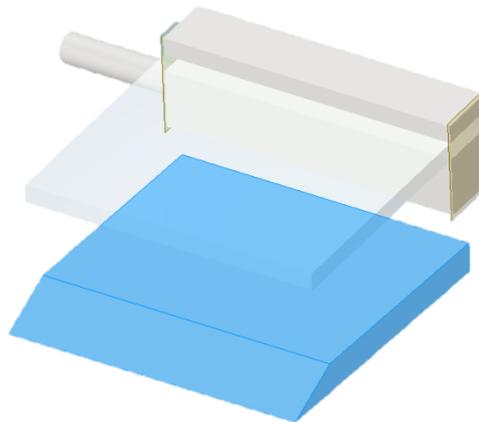
Sistema de sujeción en el eje giratorio



Después de tener los principales elementos de la estructura del dispensador, se debe analizar el sistema separador de las etiquetas de su papel protector, para esta acción se cuenta con dos caminos, utilizar una cuchilla inclinada que separe la etiqueta, o un borde curvo que obligue a la etiqueta a separarse del papel protector, por motivo del diseño del eje giratorio, se eligió utilizar un borde curvo para esto, debido a que ya se tiene una tensión aplicada al papel durante todo el proceso, además, este borde se puede utilizar para tener la etiqueta lista para ser colocada en la fruta. También se debe emplear un elemento que mantenga a la etiqueta de completamente recta.

Figura 2.13

Plataforma



Se necesita un eje adicional para mantener la tensión del papel protector de la etiqueta. Una vez diseñado los elementos principales del dispensador de etiquetas, se necesita diseñar la estructura general que contendrá los elementos mecánicos del sistema, ya con las piezas listas, se realiza una retroalimentación, con el fin de ajustar medidas de los elementos.

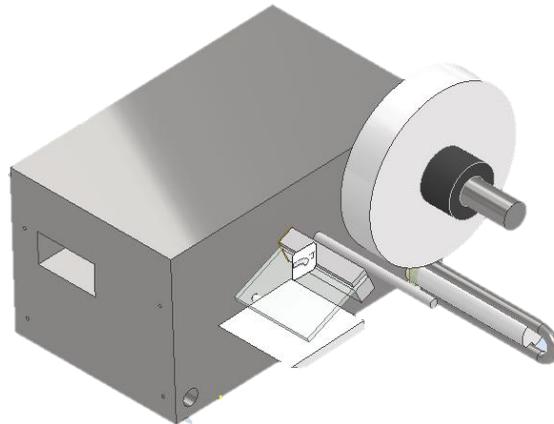
La etiqueta se debe colocar en una posición de fácil acceso para el efector final del robot delta, además se debe proveer un canal de salida del papel protector de etiqueta, por eso se tiene una plataforma donde estará la etiqueta, como se muestra en la Figura 2.13.

La base del dispensador debe ser sólida y robusta para la estabilidad, una vez identificado estos componentes del sistema, se realiza el modelo en el software Inventor y se obtiene el modelo

presentado en la Figura 2.14, con el cual se realizarán estudios y pruebas para verificar su funcionamiento.

Figura 2.14

Diseño tentativo del dispensador para un rollo

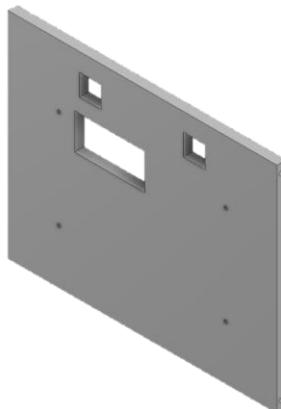


Una vez teniendo todos los elementos del dispensador se diseñó la carcasa, esta contará con un lado de mayor grosor donde reposaran los ejes de los elementos.

Luego se diseña cara por cara la carcasa donde se ubicarán los elementos electrónicos del sistema. En la cara delantera se dejaron los agujeros correspondientes a la pantalla LCD con el módulo I2C, así como los espacios respectivos para los pulsadores del sistema, como se muestra en la Figura 2.15.

Figura 2.15

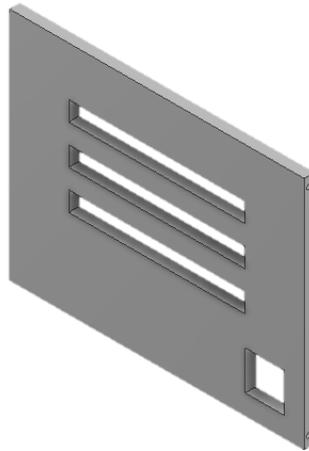
Cara frontal del dispensador de etiquetas



Uno de los lados laterales de la carcasa va fijo en unión con el lado que sostiene la base de los ejes, para la parte posterior de la carcasa, se dejaron los espacios necesarios para la salida del alimentador del sistema electrónico, así como espacios de ventilación, los cuales evitaran el sobrecalentamiento del motor, como se muestra en la Figura 2.16.

Figura 2.16

Cara posterior del dispensador

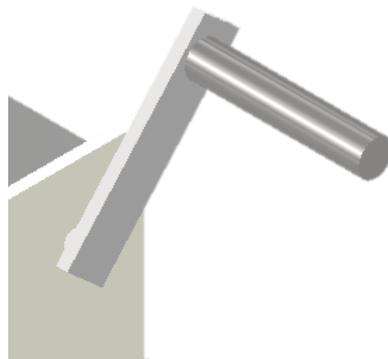


Para facilitar el mantenimiento del dispensador de etiquetas un lado debe ser desmontable, por lo tanto, la cara contraria a la base de los ejes se diseña de tal manera que pueda encajar mediante agujeros con la carcasa general.

Para añadir modularidad al sistema, se optó por agregar una parte expandible a los elementos, para que se pueda trabajar con otros valores de diámetro del rollo, el cual puede ser de hasta 200 mm.

Figura 2.17

Parte expandible del dispensador.



2.4.1.4 Diseño del sistema de control del dispensador. En cuanto el diseño del sistema de control del dispensador, primero se seleccionó el esquema que se utilizará para el diseño del sistema de control del dispensador como se observa en la Figura 2.18.

Figura 2.18

Esquema de diseño.



Se identificaron las entradas y salidas del sistema del dispensador, como entrada se tiene la señal que identifica cuando la etiqueta ha sido retirada del dispensador. Mientras que, la salida del sistema se tiene el movimiento del motor, para posicionar la nueva etiqueta. En este punto se identificó que el componente principal del movimiento del sistema radica en un motor, como se requiere una aplicación precisa de posicionamiento, se optó por un motor paso a paso.

La selección entre un motor bipolar y unipolar se rigió según las ventajas y desventajas que cada uno ofrece, el motor que más ventajas ofrece para esta aplicación fue el motor bipolar, debido a su tamaño, costo, precisión y estabilidad de rotación.

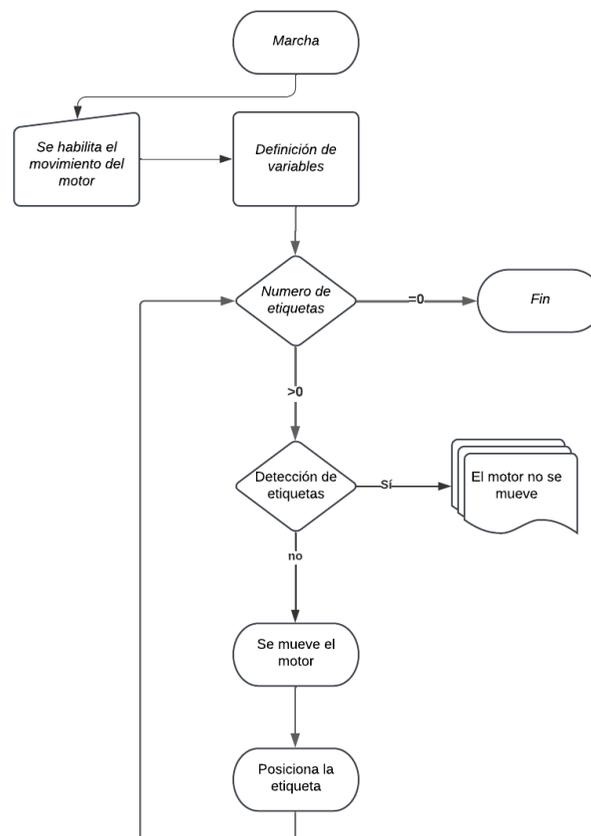
Para la parte lógica del sistema se debe elegir un microcontrolador para el motor, la elección de este depende de la complejidad del sistema, para esta ocasión se utilizó un Arduino Uno, debido a su facilidad comercial y a su sistema adecuado para la programación de este tipo de sistemas. El controlador del motor dependerá de la elección del tipo de motor a pasos.

Se eligió el controlador A4988, debido a que este controlador se encarga de generar todas las señales que se utilizarán en el funcionamiento del motor bipolar, también cuenta con protecciones de temperatura y de corriente, además este solo ocupa 2 puertos del Arduino Uno. Además, se debe identificar a los sensores involucrados en el sistema, en este caso, se requería identificar cuando la etiqueta dejara la posición final, por este motivo se utilizó un sensor fotoeléctrico para detectar la etiqueta.

La lógica del controlador utilizada se basa generalmente en la retroalimentación que el sensor nos brinda, es decir, cuando se detecte la etiqueta el sistema seguirá cierta lógica que permita el movimiento del motor para el posicionamiento de una nueva etiqueta, como se realizó este tipo de control para el sistema, se debe tener un botón de marcha y parada.

Figura 2.19

Flujo de control del sistema



Al momento de realizar la programación del sistema de control del dispensador se observó que el número de pasos que el motor debe dar para poder posicionar la etiqueta varía según el grosor de la etiqueta, por lo tanto, para no acumular errores al momento del posicionamiento de etiquetas, se calcula el número de pasos en función del diámetro del rollo de etiquetas, como se detalla a continuación. La estimación del avance que se debe tener depende directamente del radio del rollo actual como se muestra en la Ecuación 2.1.

$$Avance_{rollo} = 2 * \pi * \frac{D_{actual}}{2} \quad (2.1)$$

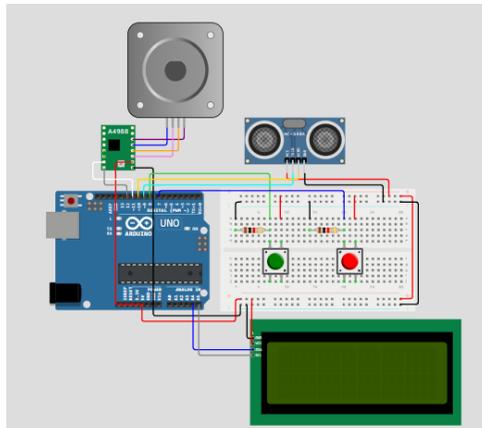
Si se conoce el diámetro inicial del rollo y se tiene el espesor de etiquetas, así como el número de etiquetas dispensadas, entonces se puede realizar una estimación del diámetro actual del rollo, como se muestra en la Ecuación 2.2.

$$D_{actual} = D_{inicial} - (eti_{dispensadas} * grosor_{etiquetas}) \quad (2.2)$$

Para este sistema, es necesario conocer valores que dependen de los fabricantes de etiquetas y sus tamaños, estos valores pueden ser editados directamente en el código del programa, además se incluyó una pantalla que muestre los valores ingresados y el estado de las etiquetas en el rollo. Se obtuvo el siguiente diagrama de componentes del sistema de control del dispensador de etiquetas, el cual se muestra en la Figura 2.20.

Figura 2.20

Componentes del sistema electrónico y de control



2.4.1.5 Selección de materiales y componentes. La selección de un motor comercial se debe tener en cuenta el torque que se necesita para mover el rollo de etiquetas, por lo tanto, se realizó el proceso mostrado a continuación. Para conocer la carga del sistema se utilizó la Ecuación 2.3.

$$T = \frac{F * r}{\eta} \quad (2.3)$$

Esta fórmula implica conocer la fuerza tangencial necesaria para mover el rollo, así como el radio de rollo de etiquetas, y la eficiencia del sistema. La fuerza necesaria se calculó en base al peso del rollo de etiquetas.

$$F_{necesaria} = m_{rollo} * g \quad (2.4)$$

$$F_{necesaria} = 12.26 \text{ N}$$

Una vez encontrada la fuerza necesaria para mover el rollo, se utilizó la Ecuación 2.3 para encontrar el torque necesario del motor.

$$T \approx 1.36 \text{ Nm}$$

Para hallar la velocidad angular, se debe definir cuantas etiquetas se requieren dispensar en un minuto, para este caso, se coloca un estimado de 60 etiquetas por minuto, las etiquetas para los mangos miden de largo 20 cm, por lo tanto, se obtiene la velocidad lineal.

$$v = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como ya se conoce el radio del rollo de etiquetas, se utilizó la Ecuación 2.5 para calcular la velocidad angular del sistema.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (2.5)$$

$$\omega = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Con estos valores encontrados, se seleccionó un motor a pasos, bipolar comercial, el cual es mostrado en la Figura 2.21, el cual se adecúa con los requerimientos y es compatible con el controlador A4988.

Figura 2.21

Motor NEMA 23 57HD4016-01



Para la selección de los materiales de la carcasa se eligió utilizar plástico ABS o PETG, por su flexibilidad y durabilidad, además porque estos pueden utilizarse mediante impresión 3D lo cual alivia el manejo del material y la fabricación de los componentes. La unión de las caras de la carcasa puede realizarse mediante adhesivos especializados, clips de ensamblaje o soldadura, derritiendo los bordes y aplicando presión para realizar la unión.

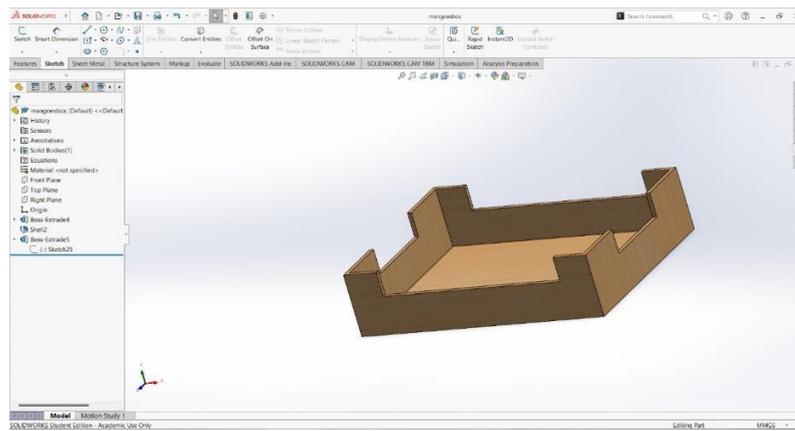
Para la elección del sensor comercial se tomó en cuenta las ventajas y desventajas que se tienen al momento de utilizar cada tipo de sensor, en este caso se eligió utilizar un sensor de barrera, el cual, necesita de un emisor y receptor alineados, donde la etiqueta interrumpe el haz de luz entre ambos, es un sensor fiable y funciona en aplicaciones de alta velocidad, se utilizó el sensor E18-D80NK, el cual es un sensor de barrera IR no costoso.

2.5 Diseño de la estación del robot

Inicialmente, se construyó una representación de la caja de mangos, diseñada previamente en SolidWorks, que contiene esferas que simulan los mangos como se observa en la Figura 2.22. Dicho software fue una herramienta clave en el desarrollo del proyecto, ya que permitió diseñar y modelar la caja de mangos utilizada en la estación del robot.

Figura 2.22

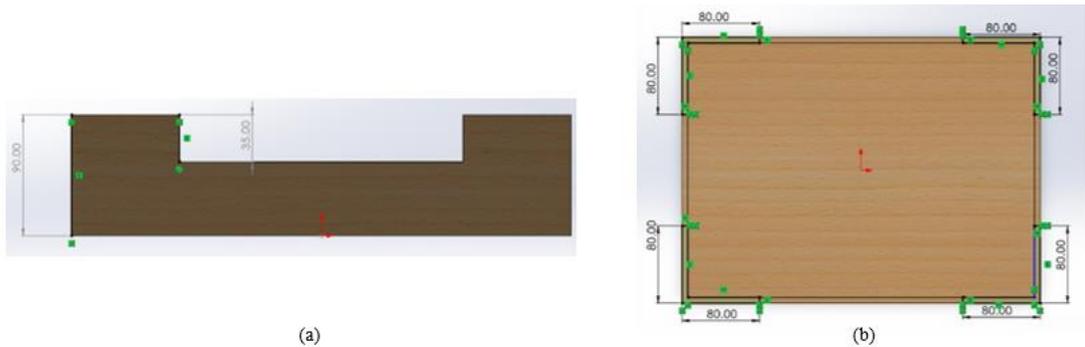
Caja modelada en SolidWorks.



La caja se configuró con un alto de 275mm y un ancho de 350mm para contener entre 6 y 12 mangos, los cuales fueron representados mediante esferas dentro del modelo. Este diseño detallado facilitó la integración del componente físico en la simulación virtual, asegurando que las dimensiones y características fueran precisas para el análisis y pruebas realizadas posteriormente. Además, se integró longitudes para crear picos sobresalientes en las cajas como se observa en la Figura 2.23. Asimismo, se ejecutó una etiqueta de referencia con las medidas en mm visualizadas en la Figura 2.24 con una profundidad de 0.2mm para realizar los etiquetados posteriores.

Figura 2.23

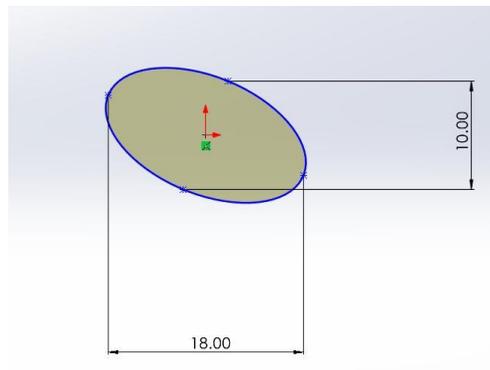
Medidas de los picos en las cajas.



Nota: (a) Medidas laterales y (b) Medidas esquineras

Figura 2.24

Referencia de la etiqueta en SolidWorks.



Se utilizó el software RobotStudio para realizar la simulación y programación de la estación del robot delta, empleando específicamente el modelo IRB 360 Flex Picker, que destaca por su alta velocidad y precisión en aplicaciones de recolección y empaque. Este robot fue elegido debido a su capacidad para realizar movimientos rápidos y repetitivos, esenciales en entornos industriales donde se requiere manipular objetos ligeros como los mangos. Además, se integró un efector final con ventosa al vacío, ideal para garantizar un agarre seguro y eficiente durante la manipulación de los mangos, adaptándose a las características de los objetos.

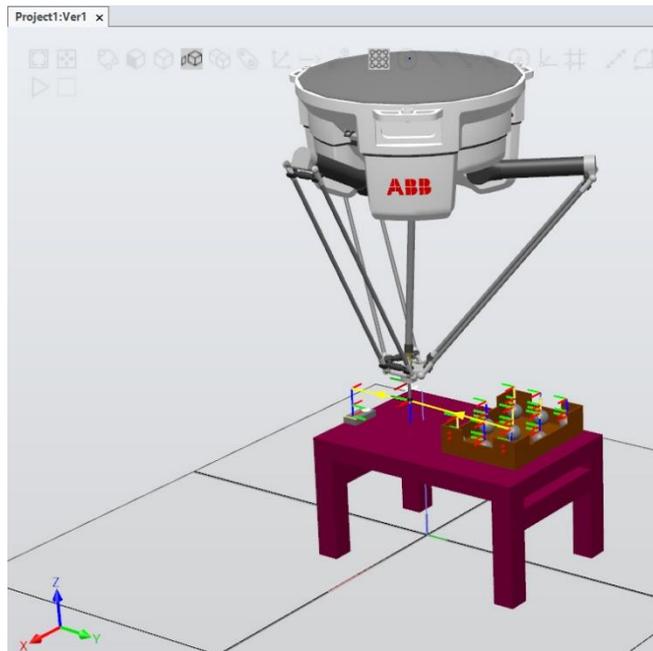
El software también incorporó RobotWare, utilizado como controlador para gestionar las funciones y configuraciones específicas del robot. RobotWare es la misma plataforma empleada por

el fabricante del robot para operar su línea de robots, lo que asegura una programación compatible, precisa y eficiente. Por ello, permitió no solo verificar el desempeño del robot en un entorno virtual, sino también garantizar que las configuraciones simuladas fueran aplicables directamente al hardware físico, mejorando los tiempos de implementación y reduciendo posibles errores operativos.

En la simulación, se optó por trabajar con un promedio de 9 mangos, lo que permitió simplificar el análisis y establecer un punto de referencia adecuado para validar el desempeño del sistema. Este enfoque facilitó evaluar la capacidad del robot para manipular y distribuir los mangos de manera óptima dentro del entorno virtual. Primero, para verificar el comportamiento del robot se configuró un modelo de trabajo que incluye una mesa virtual como se muestra en la Figura 2.25.

Figura 2.25

Primera prueba estática.

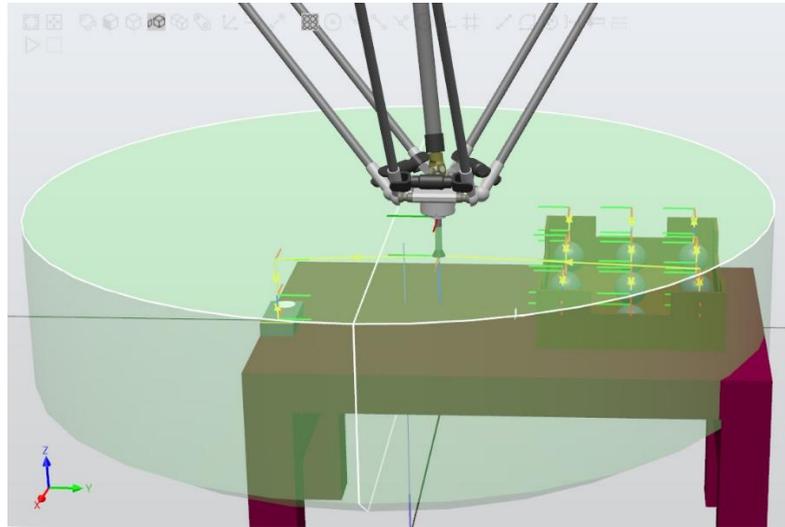


En esta mesa se integró una representación de la caja de mangos, diseñada previamente, con las esferas en su interior. Simultáneamente, se desarrolló un dispensador de etiquetas preliminar empleando la tecnología de Componentes Inteligentes, conocida en inglés como Smart Components (SC). Este dispensador está diseñado para realizar una trayectoria hasta el extremo de su caja,

facilitando que el robot ejecute de manera eficiente la operación de 'pick and place' al colocar las etiquetas sobre las esferas con precisión como se observa en la Figura 2.26.

Figura 2.26

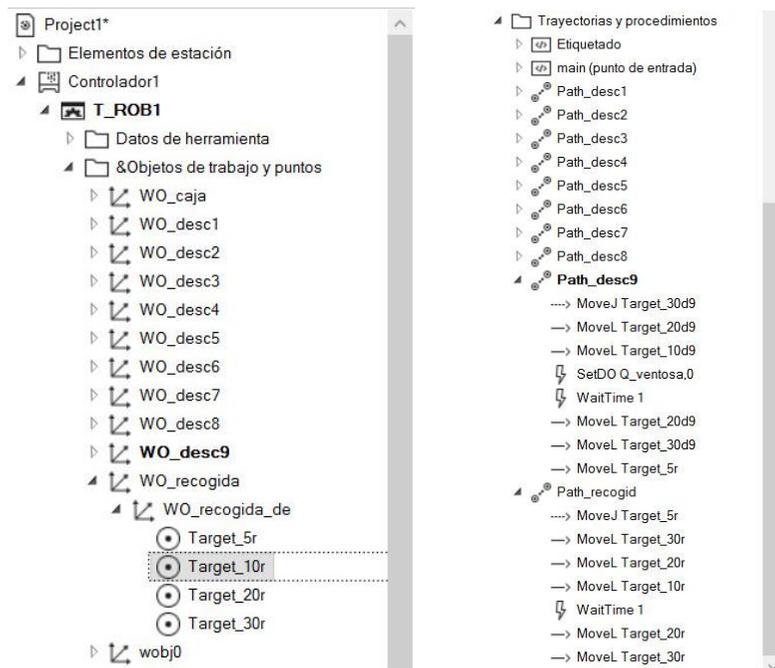
Área de trabajo del robot.



En cuanto las trayectorias del etiquetado, se implementaron Objetos de Trabajo o Work Objects (WO) en inglés, que consisten en sistemas de coordenadas definidos en los ejes X, Y y Z para establecer la posición de referencia de una pieza como se visualiza en la Figura 2.27. En este contexto, se creó un objeto denominado “WO_desc”, que representa el punto de descarga en la parte superior de cada esfera, permitiendo posicionar con precisión la etiqueta mediante la ventosa. A partir de estos puntos, se definió una trayectoria o path en inglés que conecta el “WO_recogida”, correspondiente al punto de succión de la etiqueta, con el “WO_desc” asegurando un movimiento preciso y eficiente desde la recolección de la etiqueta hasta su colocación en cada mango.

Figura 2.27

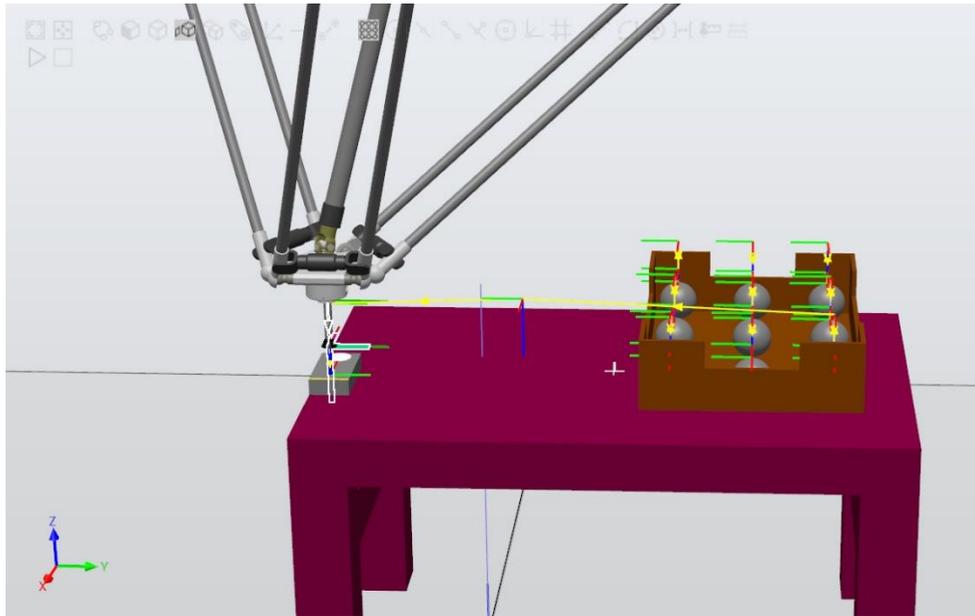
Historial de los puntos y trayectorias.



Finalmente, se procedió a realizar la primera simulación del sistema, tal como se muestra en la Figura 2.28 que representa el robot en un punto intermedio de la trayectoria de recogida. En esta etapa inicial, se pudo observar que el robot presentó un comportamiento adecuado para llevar a cabo el proceso de etiquetado de manera eficiente. Tras esta validación preliminar, se implementaron modificaciones importantes: se reemplazó la mesa de trabajo estática por una banda transportadora, mejorando la dinámica del flujo de trabajo, el diseño del dispensador de etiquetas para que cumpliera con los estándares y requerimientos de escala industrial y añadir un SC a la caja de mangos. Estos ajustes aseguran una mayor precisión y adaptabilidad del sistema en escenarios productivos reales.

Figura 2.28

Vista final de la primera simulación.



Capítulo 3

3. Resultados y análisis

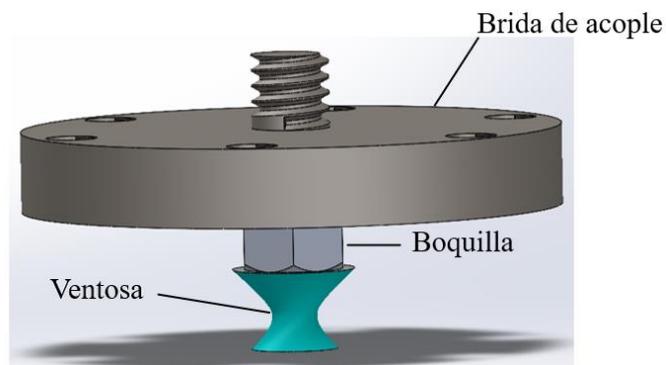
En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el diseño y simulación del prototipo de la maquina etiquetadora, la cual incorpora un dispensador de etiquetas y un robot delta como aplicador, el objetivo principal de este desarrollo fue optimizar el proceso de etiquetado en la industria de producción y exportación de frutas.

3.1 Estación del robot

Se integró un efector final de succión por vacío, conocido en inglés como vacuum gripper, en la en el cual actuó como enlace entre el robot y las etiquetas. El robot delta IRB 360 FlexPicker realizó movimientos repetitivos, por lo que este dispositivo facilitó y complementó el transporte de las etiquetas hacia los mangos con un agarre rápido. Además, al operar con un sistema de vacío, manipuló las etiquetas sin problemas y sin causar daños en su presentación.

Figura 3.1

Efector final de succión por vacío

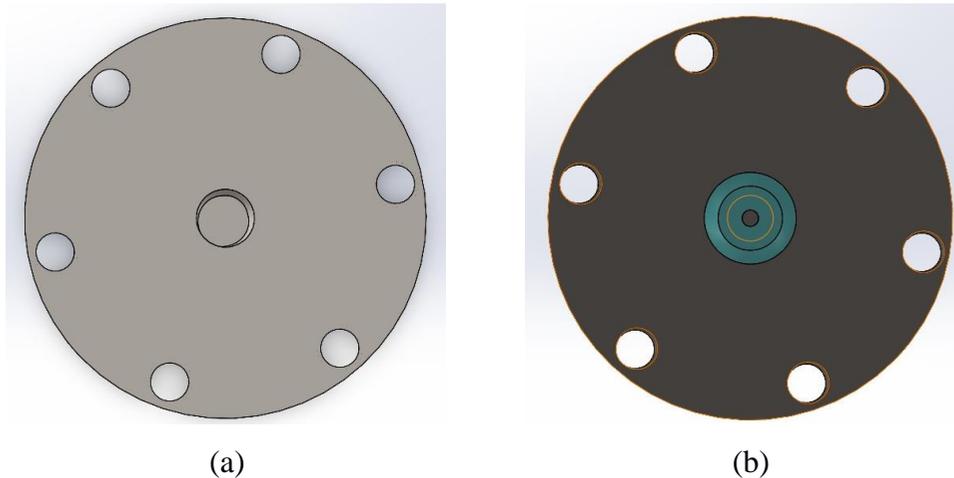


Donde, se lo ajustó por tres piezas principales: la ventosa, ubicada en la parte inferior; la boquilla, como segundo componente; y finalmente el acople que conecta al robot, tal como se visualiza en la Figura 3.1. Con ello, la Figura 3.2 muestra la vista superior e inferior donde en la primera, se observan perforaciones distribuidas uniformemente en un patrón circular, para fijarlo al robot, junto con una perforación central para la boquilla. Mientras que, en la vista inferior, destaca la

ventosa en su parte central, mientras que las perforaciones coinciden con las de la vista superior, indicando que atraviesan todo el efector. El diseño simétrico y circular mejora la distribución de fuerzas, y los materiales utilizados parecen resistentes para soportar el estrés del vacío.

Figura 3.2

Proyección del efector



Nota: Se clasifica la vista en: (a) superior y (b) inferior.

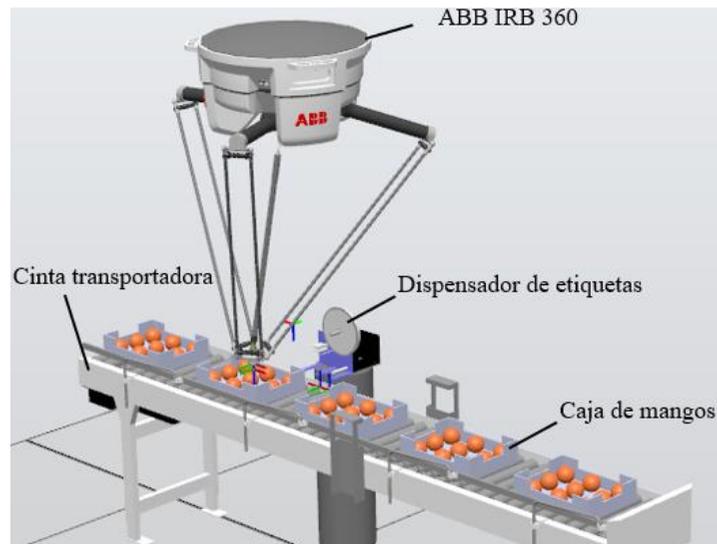
3.1.1 Simulación con estación completa

Anteriormente se presentó una simulación de manera estática para medir inicialmente el tiempo de etiquetado que le tomaría al robot en el cual la caja se ubicaba sobre una mesa en un punto fijo. El tiempo medido para el etiquetado fue de treinta segundos. Ahora se simuló la célula robotizada de manera completa, tratando de asemejarlo a un ambiente físico real de trabajo que usualmente se presentan al final de las líneas de producción en las fábricas.

La célula robotizada cuenta con el robot IRB 360 FLEXPICKER STANDARD, una cinta transportadora, cajas del producto (mango) y el dispensador de etiquetas diseñado como se lo puede observar en la Figura 3.3.

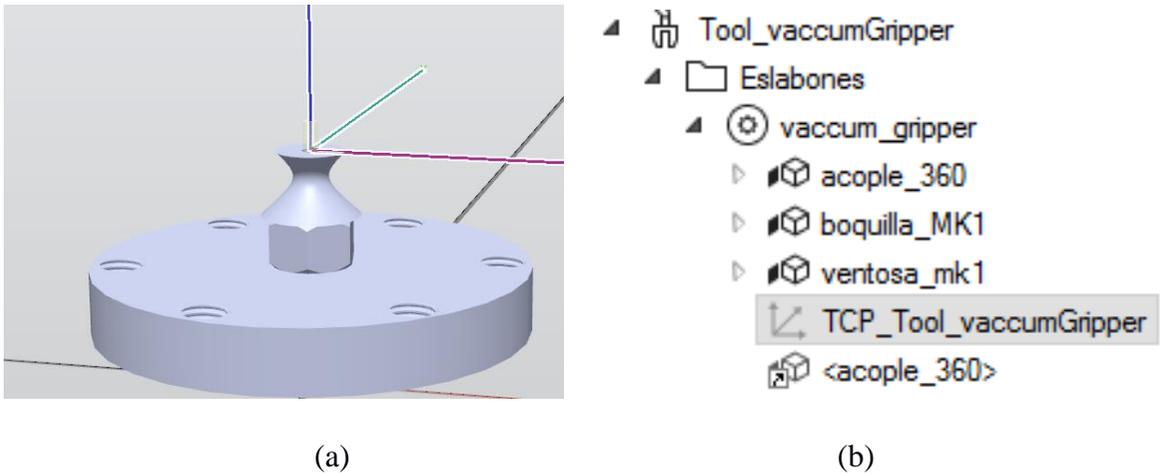
Figura 3.3

Estación de trabajo robotizada



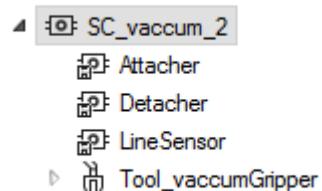
Es importante resaltar que para mayor agilidad en el proceso de etiquetado fue necesario ubicar el dispensador de etiquetas a la misma altura que la banda transportadora y a una distancia horizontal hacia la derecha de 30 centímetros tomando como referencia la posición inicial del robot, posición en la cual ninguna de sus articulaciones ha tenido movimiento.

El efector final fue el primer componente que se modeló dentro de RobotStudio haciendo que su funcionamiento de succión por vacío sea muy similar o igual a su contraparte real. Primero se definió el TCP de la herramienta, es decir, el sistema de coordenadas de la parte de la ventosa que estará en contacto con la pieza de trabajo, además se puede observar en la Figura 3.4 el árbol de las piezas que componen a la herramienta modelada junto a su TCP designado.

Figura 3.4*Árbol de las piezas.*

Nota: (a) TCP del efector final y (b) Árbol de componentes del efector final.

Una vez que se definió la geometría del efector, se tuvo que modelar su comportamiento para la recogida y dejada de las etiquetas en la zona de trabajo. Para esto se usó la herramienta de *Smart Components* que permite que los objetos con geometrías definidas realices acciones deseadas por el usuario. En la Figura 3.5 se observó los componentes subordinados que conformaron al modelo del efector final.

Figura 3.5*Componentes subordinados.*

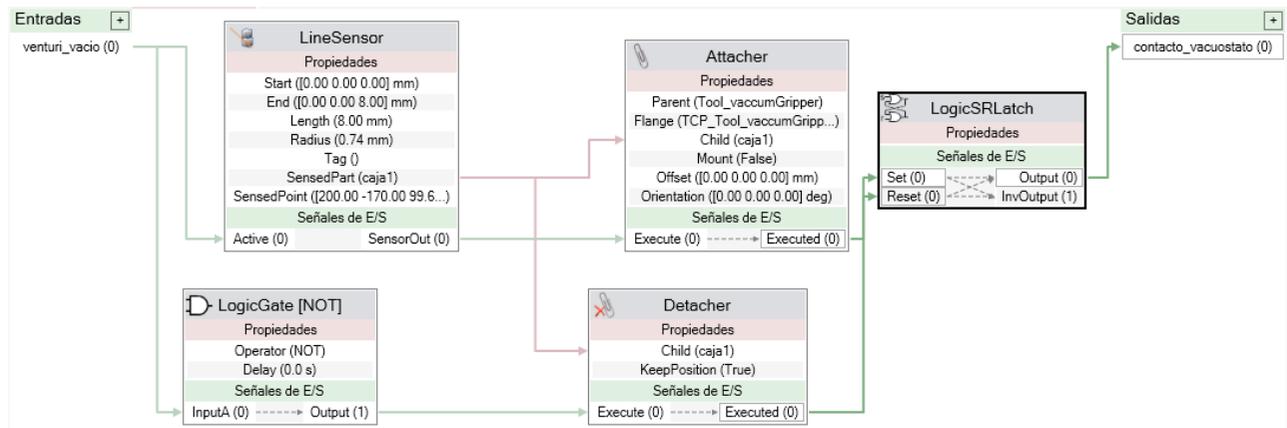
Cada componente tuvo una aplicación importante para el funcionamiento del efector, empezando por el *Attacher*, el cual fue el encargado de pegar la pieza de trabajo a la ventosa, tal cual como si funcionara una succión por vacío, mientras que el *Detacher* es lo opuesto al componente anterior, haciendo que la etiqueta (pieza de trabajo) se pegue al mango simulado. El componente

LineSensor fue de vital importancia porque fue el encargado de detectar si había o no alguna etiqueta en la zona de la ventosa.

El modelo contó con una entrada y una salida, ambas digitales, que deben conectarse al controlador del robot, ya que de esta manera se pudo sincronizar su funcionamiento con los movimientos del robot. La señal *venturi_vacio* sirvió como análogo para la succión del vacío generado entre la ventosa y la etiqueta, mientras que la señal *contacto_vacuostato* como análogo para saber si aún la etiqueta estaba presente o no en la ventosa. En la Figura 3.6, se mostró el diseño completo del efector final.

Figura 3.6

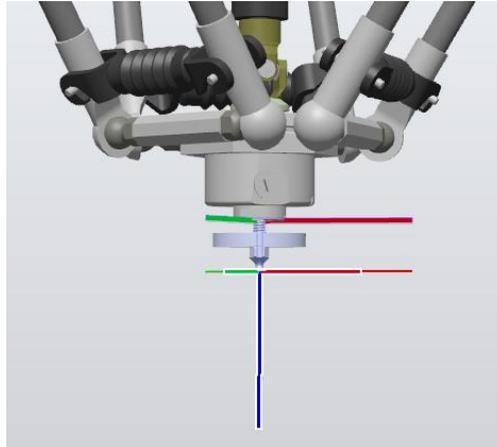
Diseño del efector final.



Una vez diseñado por completo el efector final, el siguiente paso fue conectarlo a la brida del robot arrastrando el SC antes descrito hacia el mecanismo del robot en el árbol de trabajo. Al haberse realizado este proceso, además de conectar físicamente el efector final al robot, también actualiza la posición del robot con respecto al sistema de coordenadas del mundo y el TCP se mantiene en la ventosa del efector como se apreció en la Figura 3.7.

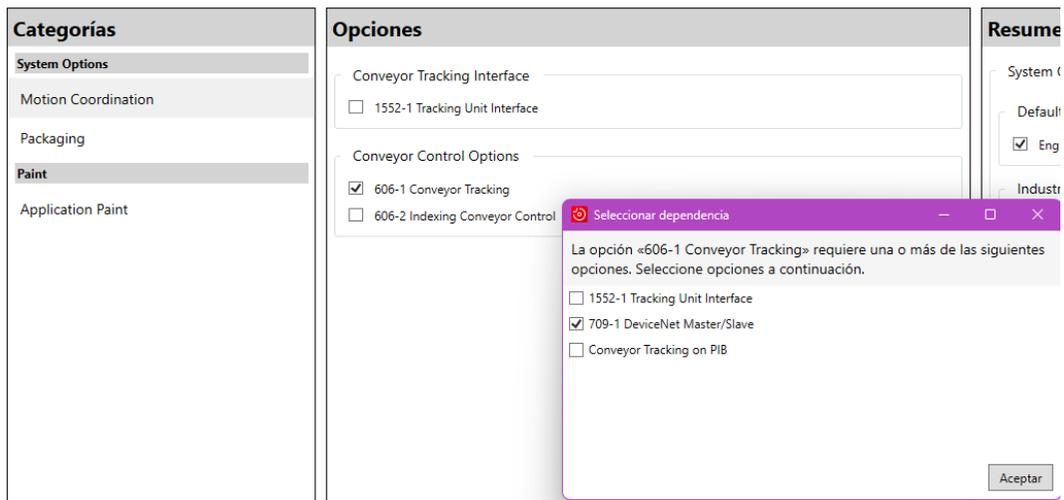
Figura 3.7

Conexión al robot

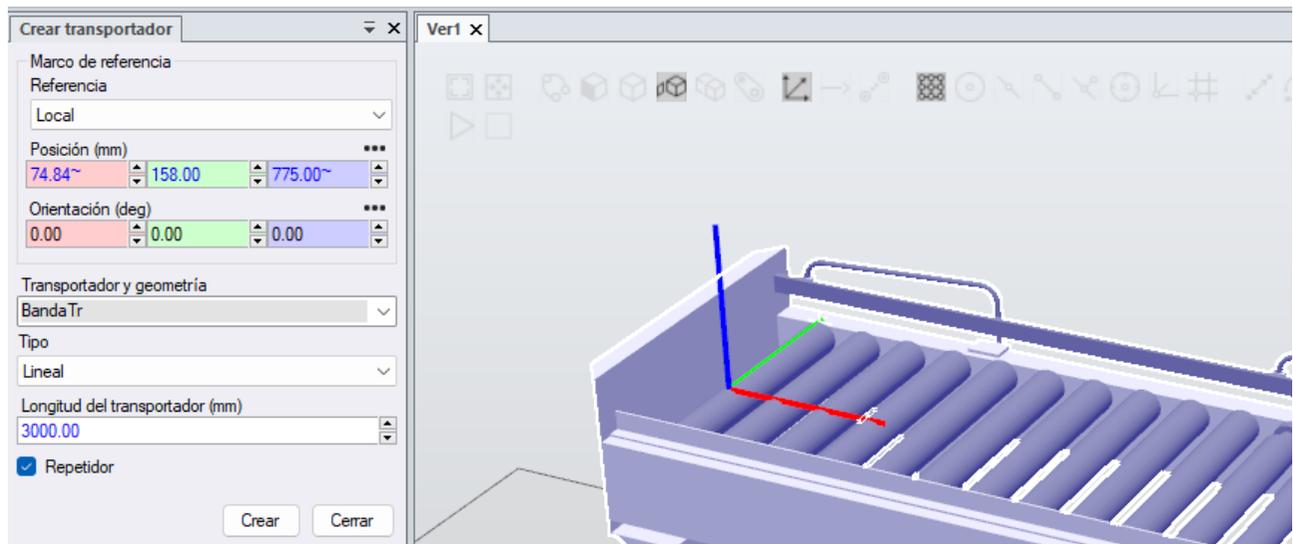


El componente más crítico para el correcto funcionamiento del etiquetado en la simulación fue el uso de un módulo para la coordinación de movimiento llamado “*Conveyor Tracking*”, el cual consiste en hacerle seguimiento a los WO creados por el usuario ubicados sobre la cinta transportadora, es decir, que los WO que se encuentren sobre la banda transportadora serán monitoreados por el robot para que su TCP siga automáticamente al objeto trabajo que se definió sobre la cinta en movimiento. Es necesario que haya un WO presente en la cinta antes de que el robot pueda coordinar las posiciones de su TCP a las de la cinta.

Para poder realizar el procedimiento explicado, primero se tuvo que importar, como se muestra en la Figura 3.8, el módulo de “*conveyor tracking*” basado en *DeviceNet* para poder programar nuestra cinta transportadora como un mecanismo de seguimiento de piezas.

Figura 3.8*Módulo de conveyor tracking*

Luego se tuvo que crear el mecanismo de transportador para la banda transportadora ya que esto nos ayudó a simular el comportamiento real de una cinta transportadora. Los parámetros de configuración se los estableció de acuerdo con la geometría de nuestra banda transportadora, la cual tiene una longitud total de 3 metros y 40 cm de ancho. Cabe resaltar que en la Figura 3.9 se tuvo que definir el punto de partida de los objetos de trabajo.

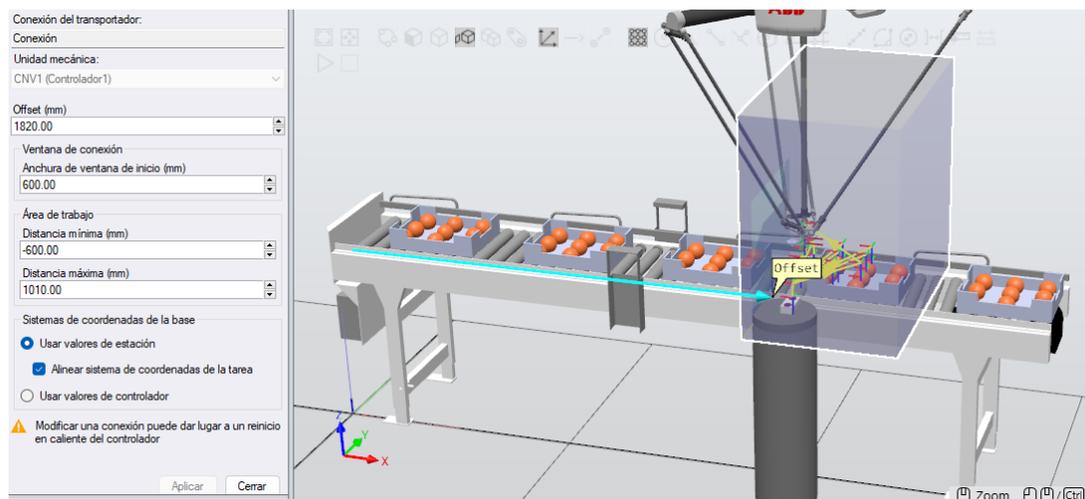
Figura 3.9*Punto de partida*

Una vez obtenida la unidad mecánica de la cinta transportadora y haber definido el punto de aparición de las cajas, se procedió a configurar la zona de conexión para el trabajo del robot con la caja de mangos. Esta configuración consistió en definir una zona, generalmente en forma de cubo (ya que es un espacio en tres dimensiones), en la cual el robot tendrá que realizar el etiquetado mediante la definición de trayectorias móviles previamente generadas. Es decir, se tuvo que delimitar una zona, tal y como se aprecia en la Figura 3.10, con una distancia máxima de 1010mm y una mínima de -600mm.

Estas distancias ayudaron a definir los momentos en el cual el robot debe empezar y parar el etiquetado, ya que, al entrar en la zona de distancia mínima, el robot empezó el ciclo de etiquetado y una vez alcanzado la zona máxima debió parar el ciclo, pero como el IRB 360 realizó el etiquetado rápido terminando su ciclo antes de que la caja salga de la zona de distancia máxima de trabajo. Esta velocidad se definió en el Apéndice A, y es la necesaria para que el robot no tenga tiempos muertos en cada ciclo de etiquetado.

Figura 3.10

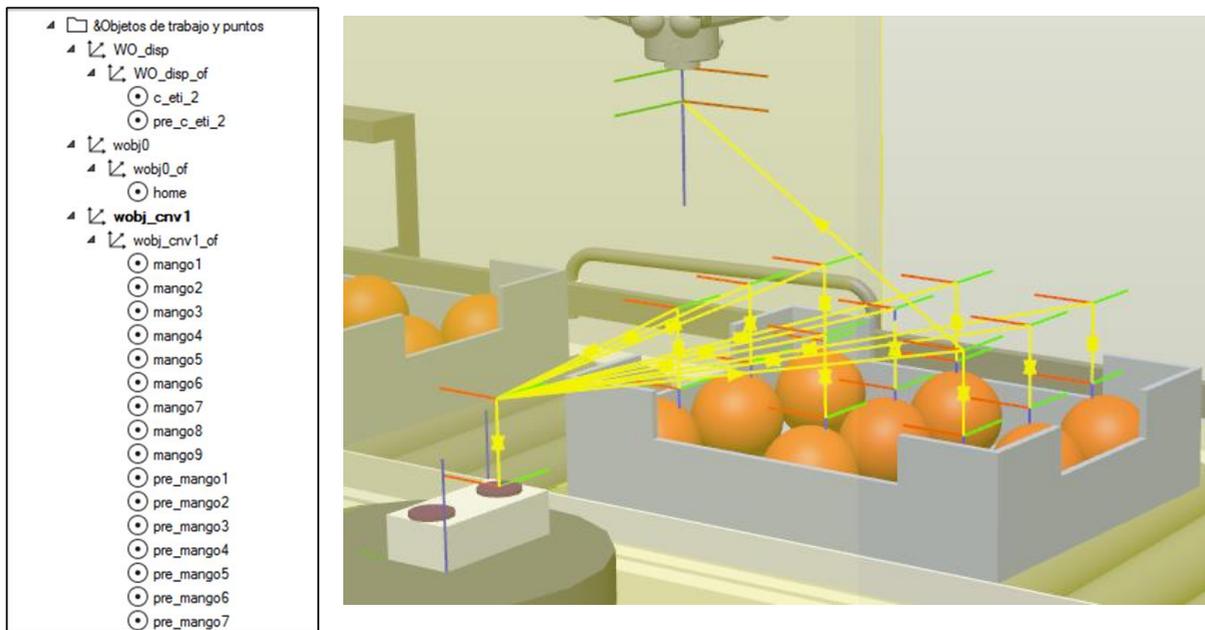
Configuración de la conexión con la zona de trabajo



Definida la zona o área de etiquetado, se procedió a programar las trayectorias para cada posición de los mangos. Esto se lo consiguió definiendo los WO de cada elemento que participó en la simulación, los cuales fueron: la cinta transportadora, el robot IRB 360 y la caja de mango. Hecho esto, se programaron los puntos correspondientes a cada WO definido con anterioridad tal y como se aprecia en el árbol de trayectorias de la Figura 3.11.

Figura 3.11

Puntos de trayectoria para el etiquetado



(a)

(b)

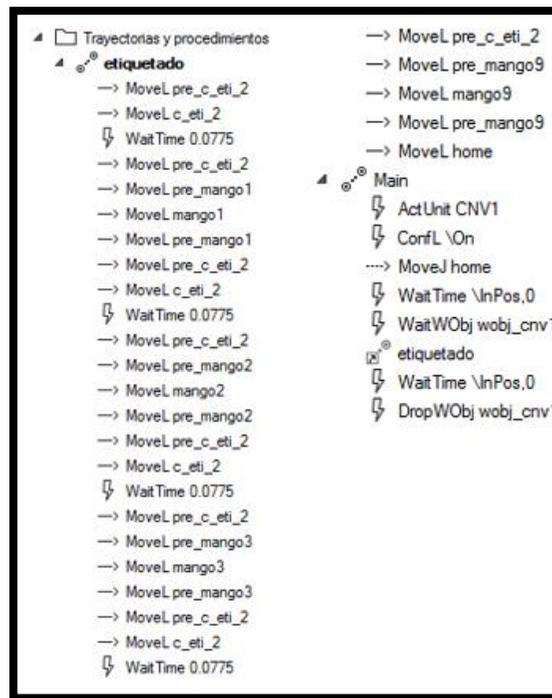
Nota: (a) Árbol de puntos y (b) Representación de los puntos en la simulación

Finalmente, ya establecidos los puntos para cada mango y la etiqueta, se generaron las trayectorias para cada punto. Cada uno de estos puntos estarán encapsulados en un método definido para el etiquetado, ya que de esta manera se puede trabajar de manera organizada el código de RAPID del proyecto. Este método, llamado *etiquetado*, será llamado al método principal encargado de activar y desactivar la cinta transportadora, de esperar a los WO en la posición inicial de la zona de trabajo y realizar el etiquetado por caja de manera cíclica. Cabe resaltar que existe un tiempo de espera que

simuló el tiempo de succión que le toma al efector final cada vez que recoge la etiqueta, este tiempo fue de 77.5 ms.

Figura 3.12

Árbol de generación de trayectorias incluyendo los programas



Realizada la simulación por completo, el software de RobotStudio nos permitió cronometrar el tiempo que le toma al robot en realizar las trayectorias de etiquetado cuando la caja entra en la zona de trabajo para el seguimiento de esta. Este tiempo cronometrado fue de aproximadamente 7 segundos de etiquetado por caja. Es importante resaltar que el resultado obtenido representa aumento grande en la eficiencia del proceso de etiquetado porque el proceso previo que se realizaba le tomaba un rango de tiempos, de entre 15 a 22 segundos en etiquetar una sola caja, por lo que se obtuvo un aumento del 189% en eficiencia de etiquetado. Esto se lo puede corroborar al saber que el robot etiquetó aproximadamente 514 cajas en una hora mientras que el proceso manual solo pudo etiquetar 163 cajas en la misma hora.

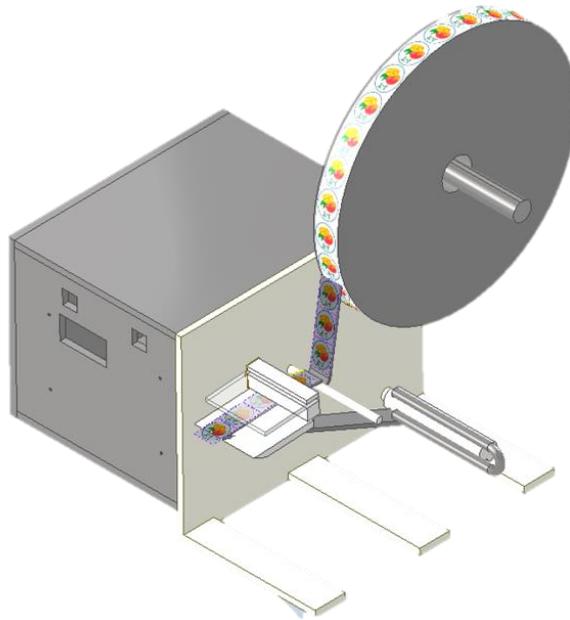
3.2 Dispensador de etiquetas

3.2.1 *Análisis mecánico de los componentes*

Para el diseño final del dispensador, una vez conocido los elementos electrónicos, mecánicos y de regulación de los componentes, se obtiene el modelo presentado en la Figura 3.13. El dispensador cuenta con la capacidad máxima para un rollo de 200 mm de diámetro y para un ancho de etiqueta de 50 mm.

Figura 3.13

Diseño final del dispensador de etiquetas



3.2.2 *Simulación del sistema electrónico*

Cuando se presiona el botón de marcha del sistema, el contador principal que rige la mayoría de los procesos importantes en la programación se inicializa de nuevo para comenzar con el proceso, el sistema también cuenta con un botón de paro, el cual interrumpe las acciones del sistema.

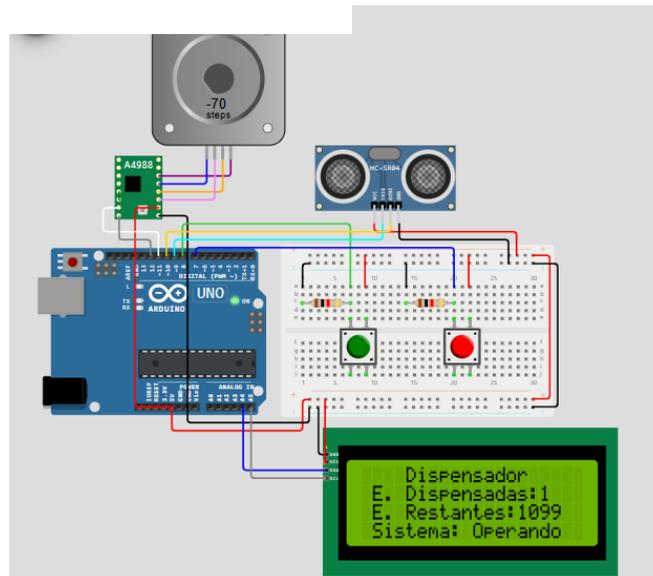
Si se cumplen las condiciones óptimas de trabajo para el sistema, es decir, el botón de paro no está presionado, se tienen etiquetas disponibles para dispensar y no se detecta una etiqueta en el final

del dispensador, se genera el movimiento del motor. Para este movimiento se toma en cuenta el avance dinámico del sistema, el cual cambia dependiendo de las etiquetas restantes, por eso el número de pasos que da el motor cambian.

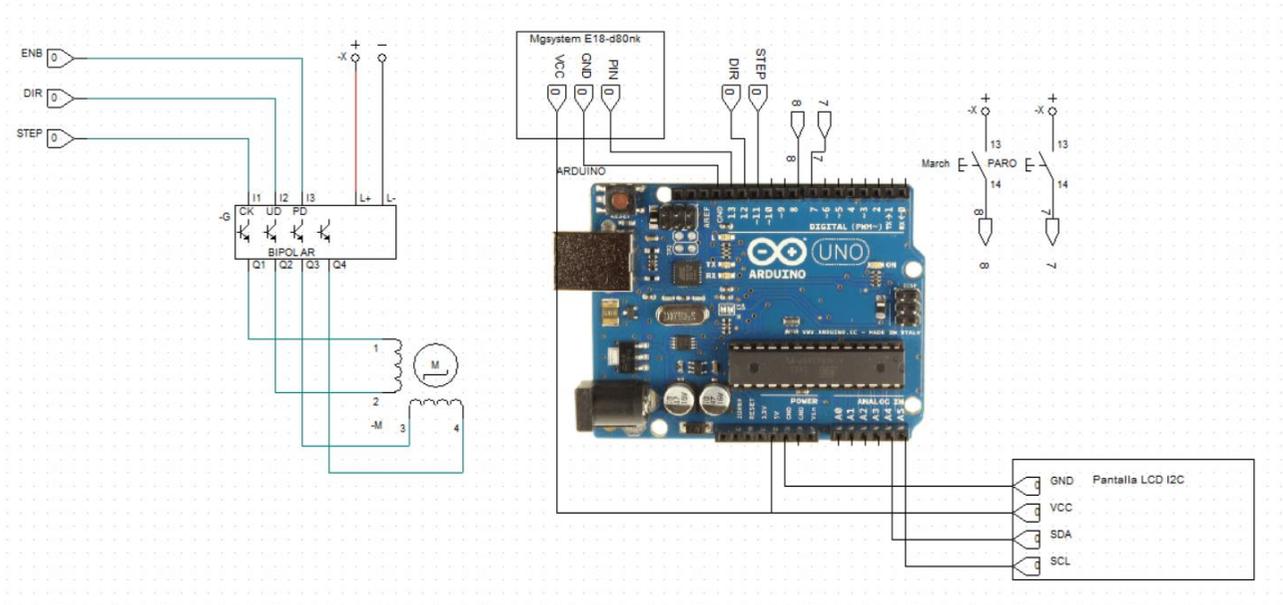
Cuando el sistema comienza detecta la falta de etiquetas y el motor comienza a girar para que se dispense la etiqueta, en la pantalla LCD se lleva un registro de las etiquetas dispensadas y las etiquetas por dispensar, así mismo se muestra el estado del dispensador, como se muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.14

Prueba del sistema



Al momento que el sensor detecta la presencia de etiquetas se detiene el movimiento del motor, además, si se presiona el botón de parada el sistema pasa a un estado de Inactivo, esto puede suceder también cuando se acaben las etiquetas del rollo. Lo cual da tiempo al operador a cambiar de rollo para seguir con el etiquetado de mangos.

Figura 3.15*Diagrama de conexión del circuito*

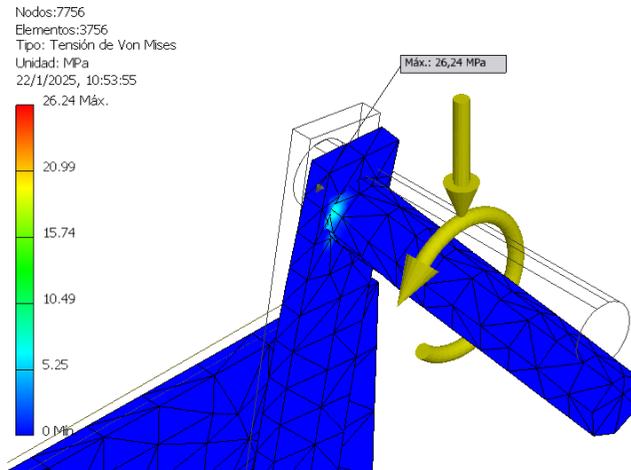
El diseño final para el sistema electrónico es presentado en la Figura 3.15, con las respectivas conexiones a alimentación, se debe recalcar que para la conexión de alimentación del Arduino Uno se utiliza un cargador de 5V, debido a que se debe trabajar con alimentaciones eléctricas diferentes para el sistema de control y el sistema de fuerza.

3.2.3 *Análisis de elementos finitos*

Para el dispensador de etiquetas, la pieza que más cargas tiene sobre si, es la parte expansible del sistema, esto debido a que este soporta el peso del rollo y el momento que se provoca en el eje principal debido a la conexión del rollo de etiquetas con el eje móvil para que se ejerza el movimiento.

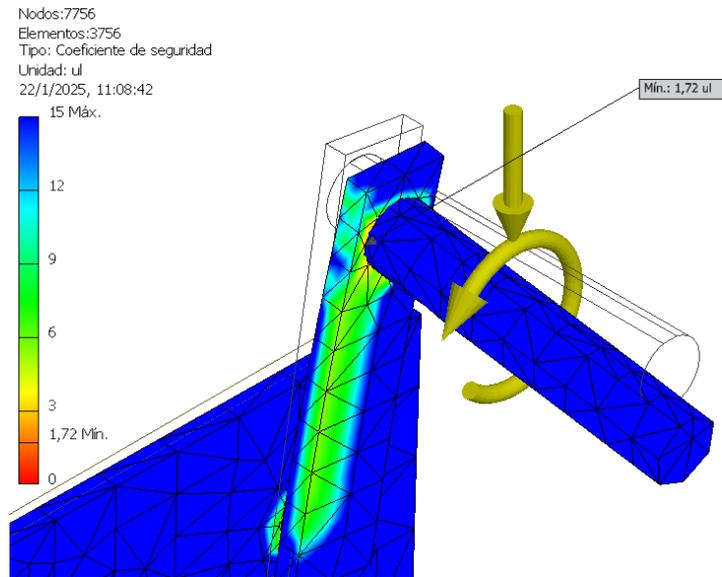
Figura 3.16

Análisis de elementos finitos Tensión de Von Mises



Se realizó el análisis por elementos finitos del eje principal con su unión, mediante el análisis de Von Mises se presenta una tensión máxima de 26.24MPa, en el contacto del eje con la parte expansible del dispensador, como este valor no excede el límite elástico del material, no se tiene problema con esta pieza. También se analizó el desplazamiento que tendrá la pieza, el valor máximo del desplazamiento es de 3.25 mm.

Se obtuvo el coeficiente de seguridad de la unión de las pizas, donde el mínimo valor es de 1.72, lo cual nos indica que el diseño es seguro y que no tendrá fallas bajo las condiciones dadas debido a que el coeficiente de seguridad es mayor a 1.

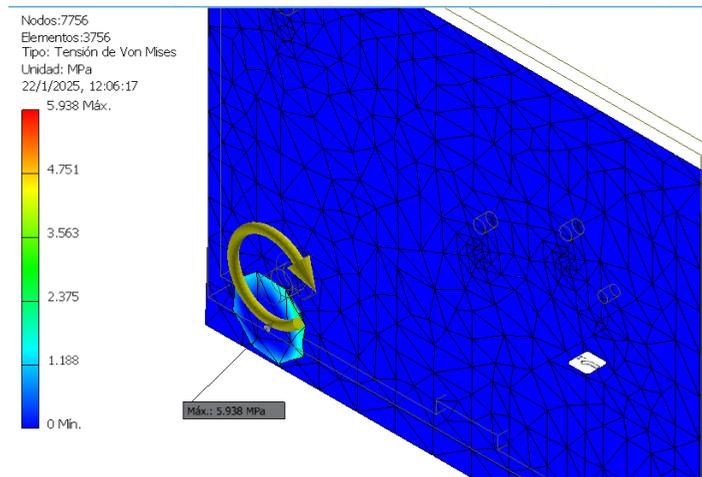
Figura 3.17*Coefficiente de seguridad*

Otra parte que esta propensa a fallar es el eje giratorio, esto se debe a que este se conecta con el motor, cuando se realizó el análisis por elementos finitos se notó que se tenía un coeficiente de seguridad menor a 1 en la unión del eje con el soporte de los ejes, por eso se cambió el diámetro de la unión para hacerla más robusta, y así se obtuvieron los siguientes resultados.

La tensión de Von Mises mayor es de 5.938 MPa, lo cual es inferior al límite elástico del material que se utiliza para estas piezas, por lo tanto, se concluye que no se tiene mayor problema en particular. El primer esfuerzo principal resultó en 1.697 MPa, el cual no excede el límite elástico del material, por lo tanto, esta pieza no es propensa a fallas plásticas, es decir no es propensa a deformaciones.

Figura 3.18

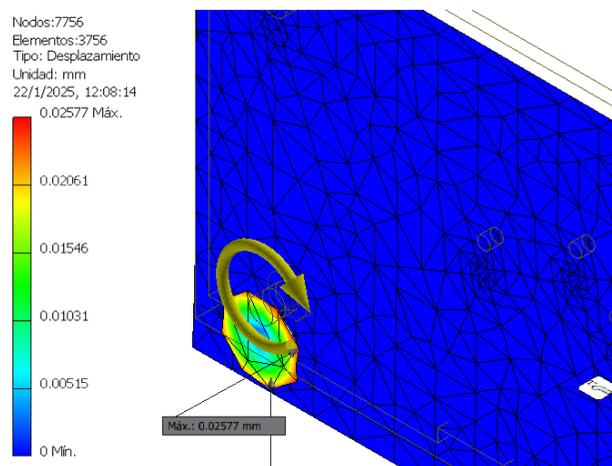
Análisis de elementos finitos- Tensión de Von Mises para el eje móvil



Se tiene un mayor desplazamiento en la unión del eje con la base de los ejes, pero es de un valor pequeño, 0.01326 mm, por lo tanto, no se presenta el riesgo de una falla en este elemento.

Figura 3.19

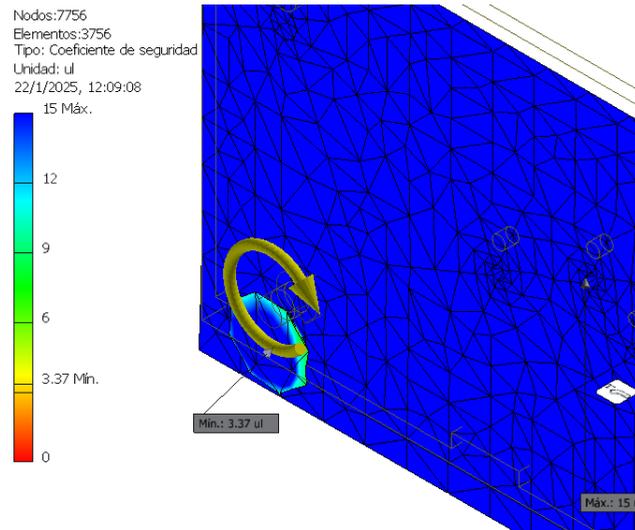
Análisis de elementos finitos – Desplazamiento Eje móvil



Se logró tener un coeficiente de seguridad mayor a 1, por lo cual, el elemento no presenta fallas y tiene un nivel de seguridad confiable para este tipo de aplicación.

Figura 3.20

Análisis de elementos finitos – Coeficiente de seguridad para el eje móvil



3.3 Análisis de costos

Conociendo los rubros totales para nuestro proyecto, fue necesario saber si era rentable para la posible implementación en un futuro, por lo que se trabajó con los sueldos de los trabajadores que laboran actualmente en la zona de etiquetado. El sueldo total estimado fue de cinco personas que ganan el sueldo básico actual en el país, que es de \$470. Cabe resaltar que la inversión necesaria para nuestro proyecto fue de \$153,941.59 como se visualiza en la Tabla 3.1 porque se tomó en cuenta también el costo de instalación del robot y los mantenimientos que deben hacerse anualmente.

Tabla 3.1*Rubros totales*

Componente	Características adicionales	Costo (USD)
Robot IRB 360 Standard	1600mm de alcance, 3 ejes	88,990.24
Sistemas de seguridad y cerramientos	Sistemas necesarios para el funcionamiento del robot proporcionados por ABB	13,662
Módulo de Cinta Transportadora ABB DSQC377B	Módulo necesario para realizar “tracking” de las piezas de trabajo	868
Válvula Direccional con Solenoide 3/2	Válvula normalmente cerrada 1/4” de diámetro	37.34
Switch de Presión Diferencial para Aire LF32		4.59
Bomba de vacío Festo VN-05-H-T3-PQ2-VQ2-RO1	14 mm de diámetro	48.09
Unidad de Mantenimiento		145.55
Metro de Manguera PU 14mm		3.27
Metro de Manguera PU 6mm		0.80
Racores de varios tamaños		1.09
Bloque de aluminio	1.5 x 1.5 x 1.5”	60
Bloque de silicona	2 x 12 x 3”	26
Boquilla para ventosa	12x8x8 mm	8.62
Rollo de etiquetas		6

Motor de pasos	Motor Nema 23 57HD4016-01	40
Driver A4988	Proporciona 2A por bobina, alimentación de 8V a 35V	2.48
Pantalla LCD con módulo I2C	20 x 4	12
Juego de pulsador con tapas	5 pulsadores con 5 tapas	6.35
Arduino	Modelo UNO R3	17
Sensor de proximidad	Mgsystem E18-d80nk	7.93
Plástico ABS		25
TOTAL DE COMPONENTES		103,941.59

En la Tabla 3.2 obtuvimos un tiempo estimado del retorno de la inversión solo considerando los salarios de los trabajadores en un rango de tiempo de 10 años. También se modeló un crecimiento del 5% de los salarios por cada año que pasa. En el primer año tenemos la cifra de inversión en negativo debido a que es el capital gastado para la implementación del proyecto y la cifra del sueldo total que se ahorra la empresa. Calculamos el flujo para cada año que pasa con la finalidad de obtener el valor actual neto (VAN) de la empresa en este estudio. Hecho esto, pudimos notar que alrededor del cuarto año se recupera totalmente la inversión del proyecto debido a que el VAN calculado tiene un cambio positivo. Esto fue de vital importancia conocerlo porque gracias al análisis realizado se puede realizar una reducción de costos en mano de obra ya que es factible implementar nuestro proyecto debido al tiempo pequeño que se debe tomar para recuperar la inversión hecha. Sin embargo, el análisis tiene opción a mejora para conocer detalles más específicos sobre que tanto aumentaría los volúmenes de producción y las ganancias que se puedan obtener.

Tabla 3.2*Tiempo de retorno*

Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	-153000	39690	41674.5	43758.225	45946.1363	48243.4431	50655.6152	53188.396	55847.8158	58640.2066
Valor inicial de los salarios	36000									
Flujo	-117000	-68464.286	-18579.309	22775.6145	50474.3148	64640.4817	68748.8797	67098.5018	63099.9595	58754.478
VAN	-104464.29	-54579.309	-13224.385	14474.3148	28640.4817	32748.8797	31098.5018	27099.9595	22754.478	18917.3694

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- El diseño del prototipo de maquina etiquetadora automático permitió evidenciar una mejora en la tasa de producción en comparación con el etiqueta manual, lo cual se refleja en la simulación del aplicador de etiquetas, en este caso el robot delta, donde se reduce en gran medida el tiempo de etiquetado de una sola caja en comparación con el etiquetado realizado de forma manual, la automatización del proceso redujo de forma representativa el tiempo, lo que representa un aumento en la eficiencia operativa del sistema.
- Se logró identificar la tecnología actual adecuada para el aplicador de etiquetas que cumpla con los parámetros y requerimientos exigidos por el cliente para la exportación de frutas, asegurándose que no se comprometa el producto cuando se realiza este proceso, así se asegura que el producto mantenga los estándares de calidad que son requeridos por el mercado internacional, en esta ocasión el efector final del robot es compuesta por una ventosa.
- La integración de circuitos y componentes electrónico para el dispensador de etiquetas fue necesaria para el funcionamiento del sistema de etiquetado garantizó un desempeño optimo del sistema, además se consiguió una interacción entre las dos etapas que componen el etiquetado de frutas, lo cual permite operación continua y estable del sistema que, reduce la intervención manual y los costos operativos.
- El diseño de este sistema no solo mejora la velocidad del proceso de aplicación de la etiqueta en la fruta, sino que también reduce los costos laborales que son asociados a la etapa de etiquetado manual, esto garantiza una mayor rentabilidad para los productores y una optimización de los recursos en la industria de exportación de frutas, esto se verificó mediante el análisis de costos, el cual reflejó que a largo plazo se recupera la inversión inicial del sistema y se obtienen ganancias.

4.2 Recomendaciones

- Mejorar la referencia financiera se sugiere que se realice el análisis de costos y flujo de caja conociendo los valores reales de la empresa, lo cual nos ayuda también para conocer los beneficios de la implementación de este tipo de sistemas.
- Implementar el sistema de visión para optimizar el funcionamiento del “conveyor tracking”, debido a que esto permitirá una detección más precisa de la posición y el movimiento de las frutas en la banda transportadora, lo cual mejora la sincronización del etiquetado, reduciendo errores y aumentando la eficiencia del sistema.
- Por último, implementar un sistema que nos brinde retroalimentación después de la aplicación de la etiqueta mediante el robot delta, esto con el fin de conocer si todos los mangos fueron etiquetados de forma correcta y poder tomar acciones si se tiene un mango sin etiquetar o un mal etiquetado de la fruta.

Referencias

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «Major Tropical Fruits,» Open Knowledge, 2023. [En línea]. Available: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c03844d3-3dc6-4465-abf3-8c49947e77d8/content>.
- [2] Mango Ecuador Foundation, «Áreas de cultivo,» 2023. [En línea]. Available: <https://mangoecuador.org/areas-de-cultivo/>.
- [3] Ministerio de Agricultura y Ganadería., «Boletín Comercio Exterior Nacional,» SIPA Agricultura, 2024. [En línea]. Available: https://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/nacionales/comercio_exterior/2024/comercio_exterior_enero_2024.pdf.
- [4] IncarPalm, «El Mango en las exportaciones del Ecuador,» IncarPalm, 2020. [En línea]. Available: <https://incarpalm.com.ec/incarpalm/el-mango-en-las-exportaciones-del-ecuador/#:~:text=Tommy%20Atkins%20es%20la%20variedad%20m%C3%A1s%20exportada,de%20mayor%20aceptaci%C3%B3n%20en%20los%20mercados%20internacionales..>
- [5] Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, «Protocolo técnico, logístico y de seguridad del mango,» 2019. [En línea]. Available: <http://logistica.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/PTLS-MANGO-VALIDADO-FINAL.pdf>.
- [6] G. Guerrero, «La producción del mango ecuatoriano,» IDE Business School, 2018. [En línea]. Available: https://perspectiva.ide.edu.ec/investiga/wp-content/uploads/2018/06/Perspectiva-Junio-2018_1-P.pdf.
- [7] E-pack Technology, «¿Por qué el etiquetado manual no es eficiente?,» Octubre 2022. [En línea]. Available: https://es.easypacktech.com/blog/why-manual-labeling-is-not-efficient_b37.
- [8] DUREXPORTA, «Nuestros productos,» Exportaciones DUREXPORTA, 2018. [En línea]. Available: <https://www.durexporta.com/our-products/mangoes.html>.
- [9] J. Osuna, «Mejores prácticas de empacado del mango para exportación,» 2020. [En línea]. Available: https://www.mango.org/wp-content/uploads/2020/02/Manual_Empacado_SPN.pdf.

- [10] Centro de Educación continua, «Guía de cultivo de mango,» ESPOL, 2022. [En línea]. Available: http://cec.espol.edu.ec/Ebook_guia_cultivo_de_mango.pdf.
- [11] J. Gamboa y J. Montero, «Guía para el cultivo del mango en Costa Rica,» Inta Costa Rica, 2010. [En línea]. Available: <https://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/01/00471-mango.pdf>.
- [12] 3PLS, «Proceso de etiquetado de un producto,» 3 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://3pls.cl/proceso-de-etiquetado-de-un-producto/>. [Último acceso: 28 Octubre 2024].
- [13] Label Factory, «Introducción a los Equipos de Etiquetado Automático,» Label Factory: print and apply equipments, 30 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.labelfactory.eu/articulos/introduccion-a-los-equipos-de-etiquetado-automatico/>. [Último acceso: 28 Octubre 2024].
- [14] MarCoPack S.L., «MarCoPack,» Grita Internet, 2024. [En línea]. Available: <https://marcopack.com/tipos-de-etiquetadoras-industriales/>. [Último acceso: 27 Octubre 2024].
- [15] FAO, «CODEX STAN 184-1993,» Codex Alimentarius, Canadá, 2003.
- [16] FAO, «NORMA GENERAL PARA EL ETIQUETADO DE LOS ALIMENTOS PREENVASADOS- CXS 1-1985,» Codex Alimentarius, Canadá, 2018.
- [17] M. Bajaña y C. Barroso, Artists, *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ETIQUETADO DE ENVASES PLÁSTICOS, CILÍNDRICOS, ORIENTADO A LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN*. [Art]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2023.
- [18] C. Barahona y E. Lobo, Artists, *Diseño de etiquetadora manual para mango*. [Art]. Universidad Tecnológica Centroamericana, 2020.
- [19] I. Gras Rangel, «Diseño de una máquina modular etiquetadora,» Universitat Politècnica de Catalunya, Vilanova i la Geltrú, 2023.
- [20] Resource Label Group, «Label Application Machines | Resource Label Group,» [En línea]. Available: <https://www.resourcelabel.com/products/labeling-equipment/automatic-label-applicator-machines/>. [Último acceso: 26 Octubre 2024].
- [21] R. Apolinario, M. Rodríguez y L. Zambrano, «La cadena de valor del mango ecuatoriano y su competitividad internacional,» Compendium, 2021. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/880/88069714002/html/>.

- [22] Bresson S.A. Productor, «Bresson S.A.» [En línea]. Available: <https://bresson.ec/variedad-de-mangos/>. [Último acceso: 9 Noviembre 2024].
- [23] ABB ROBOTICS, «Product specification: IRB 360,» ABB ROBOTICS, Sweden, 2024.

Apéndices

Apéndice A: Velocidades de etiquetado y selección del robot

Para la selección del robot, necesitamos uno que sea capaz de lograr velocidades altas manteniendo alta precisión porque las etiquetas son de área pequeña y la caja de mangos se encuentra siempre en movimiento. Primero que todo, necesitamos calcular la velocidad mínima a la que el robot debe estar para poder realizar el etiquetado de manera óptima.

Como solo se van a manejar velocidades lineales y constantes, hallamos la velocidad mínima estableciendo un tiempo de alrededor de 100 ms para la primera trayectoria, hacia el primer mango de la caja:

$$v_{min} = \frac{d}{t}$$

$$v_{min} = \frac{486 \text{ mm}}{150 \text{ ms}}$$

$$v_{min} = 3240 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Calculamos únicamente la parte escalar de la velocidad porque las direcciones vectoriales en el espacio de trabajo son calculadas por el controlador del robot. Finalmente, para la trayectoria diagonal hacia el último mango, hay una distancia de 993 mm, pero deseamos mantener el mismo tiempo anterior, por lo que:

$$v_{max} = \frac{993 \text{ mm}}{200 \text{ ms}}$$

$$v_{max} = 6620 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Obtenida la velocidad lineal máxima que debe alcanzar el robot, procedemos a calcular la aceleración que deberá desarrollar:

Apéndice B: Generación de vacío y diagrama neumático para el efector final

Estos cálculos están relacionados con la generación de vacío en una ventosa, determinando la presión requerida y el tiempo necesario para generar dicho vacío. Se analizan diferentes parámetros como la presión de succión, el volumen de aire desplazado y el caudal de aspiración.

Para calcular la presión de vacío requerida, se utiliza la ecuación:

$$W = P \times A \times 0.1 \times 1/t$$

Donde W representa la fuerza aplicada, P es la presión de vacío, A es el área de contacto de la ventosa, y t es una constante que depende del tipo de superficie a trabajar. Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$0.0098 = P \times 2.5434 \text{ cm}^2 \times 0.1 \times \frac{1}{4}$$

$$P = -0.1543 \text{ KPa}$$

Se obtiene una presión de vacío de -0.1543 KPa, lo que indica que la ventosa necesita una presión negativa (de vacío) de esta magnitud para adherirse a la superficie.

El caudal de succión Q_1 se calcula en función de la fracción del caudal máximo de aspiración que puede proporcionar el generador de vacío, que, para nuestro proyecto, es de 7.2 L/min:

$$Q_1 = \left(\frac{1}{2} \text{ a } \frac{1}{3} \right) \times \text{caudal máximo de aspiración}$$

$$Q_1 = \left(\frac{1}{2} \text{ a } \frac{1}{3} \right) \times 7.2 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

$$Q_1 = 3.6 \text{ a } 2.4 \left[\frac{\text{L}}{\text{min}} \right]$$

Ahora, el volumen de aire desplazado dentro de la ventosa se determina con la ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times \frac{1}{10000}$$

Donde D es el diámetro de la ventosa y L es su longitud.

$$V = \frac{\pi}{4} \times 2^2 \times 1 \times \frac{1}{1000}$$

$$V = 0.0031 \text{ L}$$

Con un diámetro de 2 cm y una longitud de 1 cm, el volumen de aire desplazado es de 0.0031 L.

Finalmente, el tiempo de absorción o generación de vacío se determina mediante la ecuación:

$$t = \frac{V \times 60}{Q}$$

Donde V es el volumen de aire desplazado y Q es el caudal de aspiración.

$$t = \frac{0.0031 \times 60}{2.4}$$

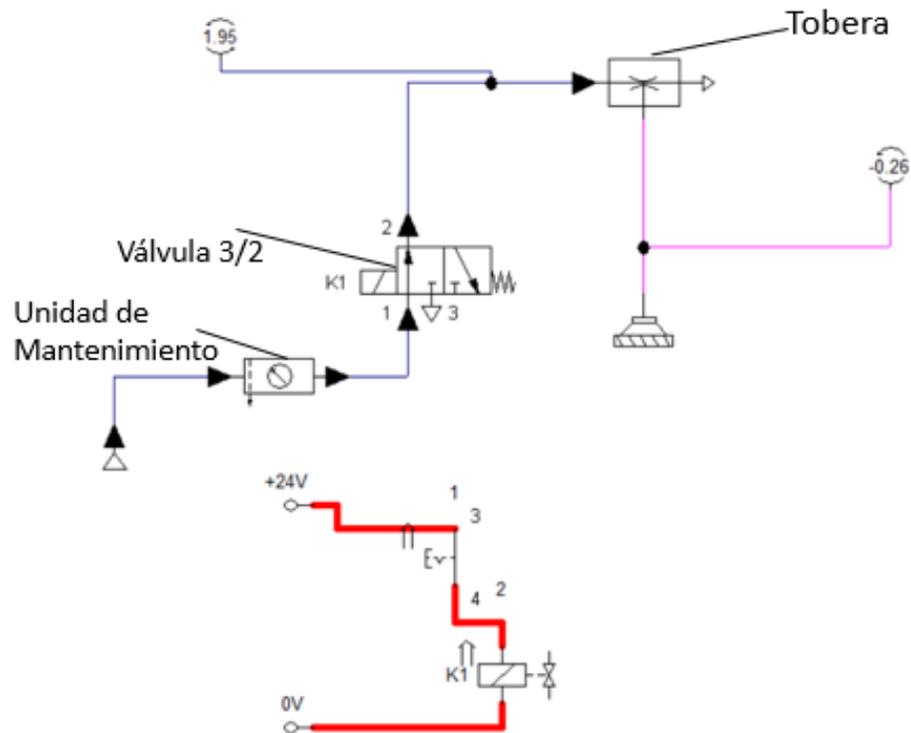
$$t = 0.0775 \text{ s} = 77.5 \text{ ms}$$

Con un volumen de 0.0031 L y un caudal de 2.4 L/min, el tiempo calculado es de 77.5 milisegundos, lo que indica que la ventosa alcanza el vacío requerido en una fracción de segundo.

En cuanto al diagrama de funcionamiento del efector final, consta principalmente de una válvula direccional 3/2 activada por relé con retorno por muelle y una tobera encargada de generar el vacío suficiente para succionar la etiqueta. También cuenta con la parte eléctrica, donde el botón es utilizado para simular el sensor de posición que activará el proceso de succión del efector final. Como se ve en la Figura B.0.3.

Figura B.0.3

Diagrama electroneumático del efector final



Apéndice C: Matrices de decisión

Criterios de evaluación

Adaptabilidad > Tiempo de operación > Costo = Mantenimiento

Tabla C.1

Evaluación de adaptabilidad

Adaptabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Suma+1	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0.5
Solución 2	0	-	0.5	1.5	0.25
Solución 3	0	0.5	-	1.5	0.25
				6	1

Tabla C.0.1

Evaluación de tiempo de operación

Tiempo de operación	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Suma+1	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0.5
Solución 2	0	-	1	2	0.33
Solución 3	0	0	-	1	0.16
				6	1

Tabla C.3

Evaluación de costo

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Suma+1	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0.166
Solución 2	1	-	0	2	0.333
Solución 3	1	1	-	3	0.5
				6	1

Tabla C.4*Evaluación de mantenimiento*

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Suma+1	Ponderación
Solución 1	-	0.5	1	2.5	0.416
Solución 2	0.5	-	1	2.5	0.416
Solución 3	0	0	-	1	0.167
				6	1

Apéndice D: Planos mecánicos

4

3

2

1

F

F

E

E

D

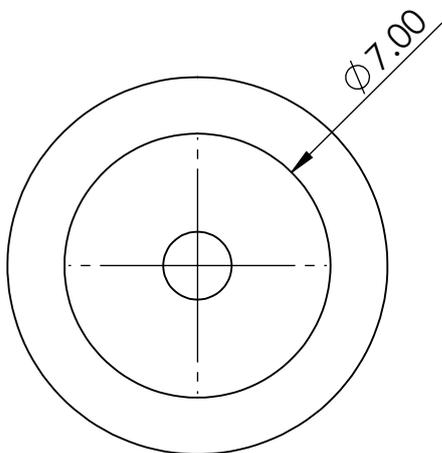
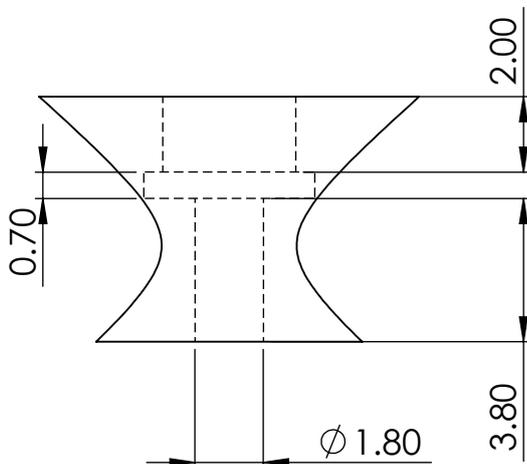
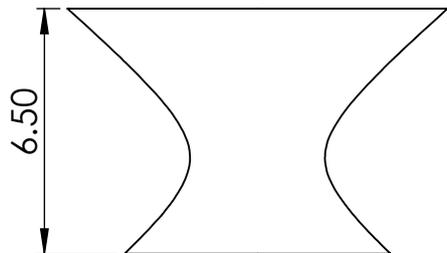
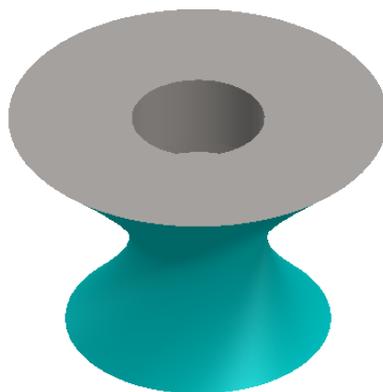
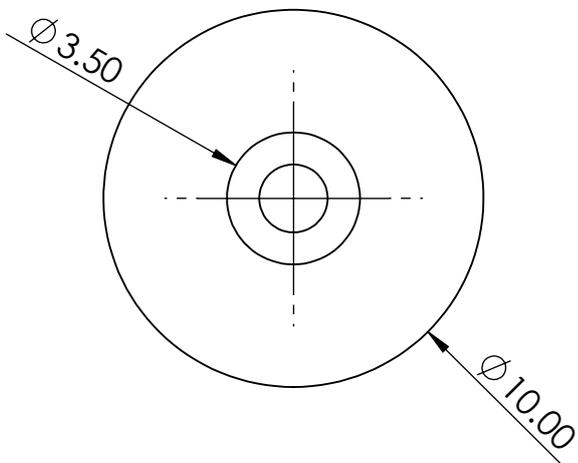
D

C

C

B

B



	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	09/01/2025
	Cristina Victoria Tigrero Tigrero	09/01/2025

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

ESCALA
5:1

DIBUJO

VENTOSA Mk1

FACULTAD DE INGENIERÍA MÉCANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
N° 1	UNIDAD mm

4 3 2 1

F

F

E

E

D

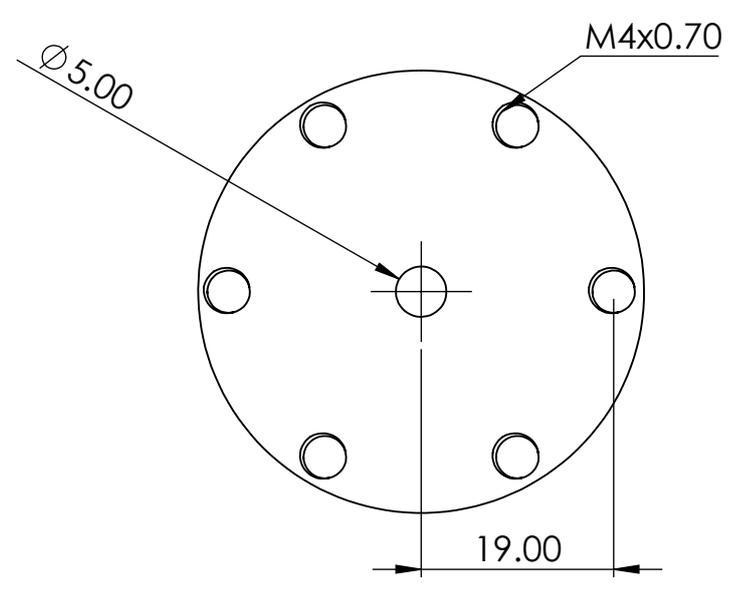
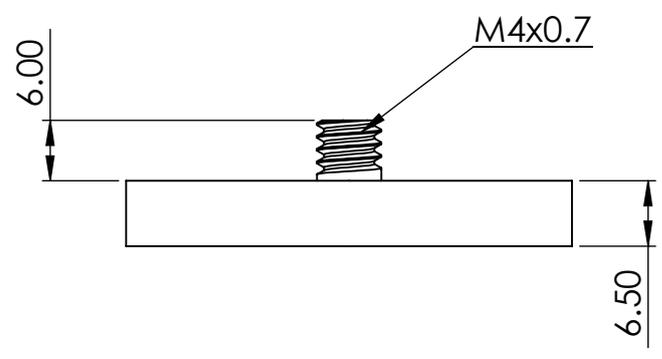
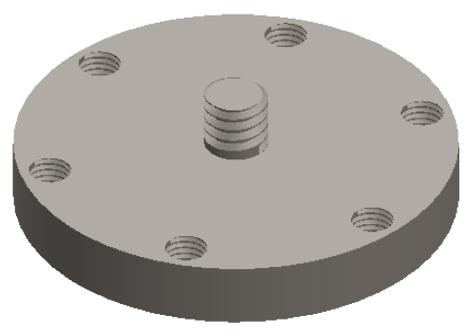
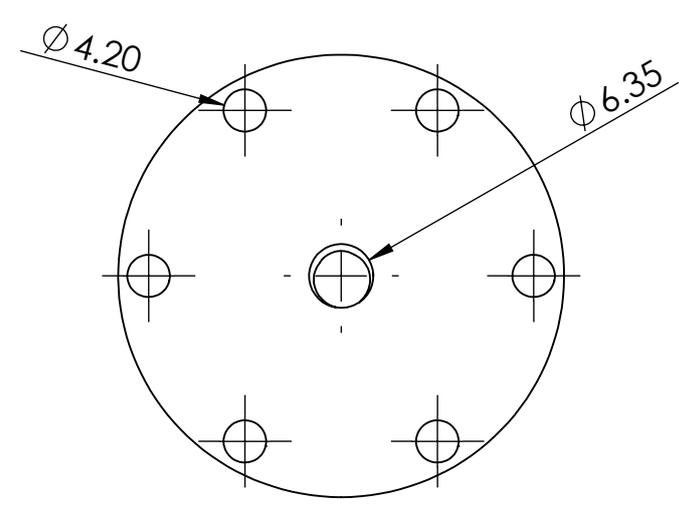
D

C

C

B

B



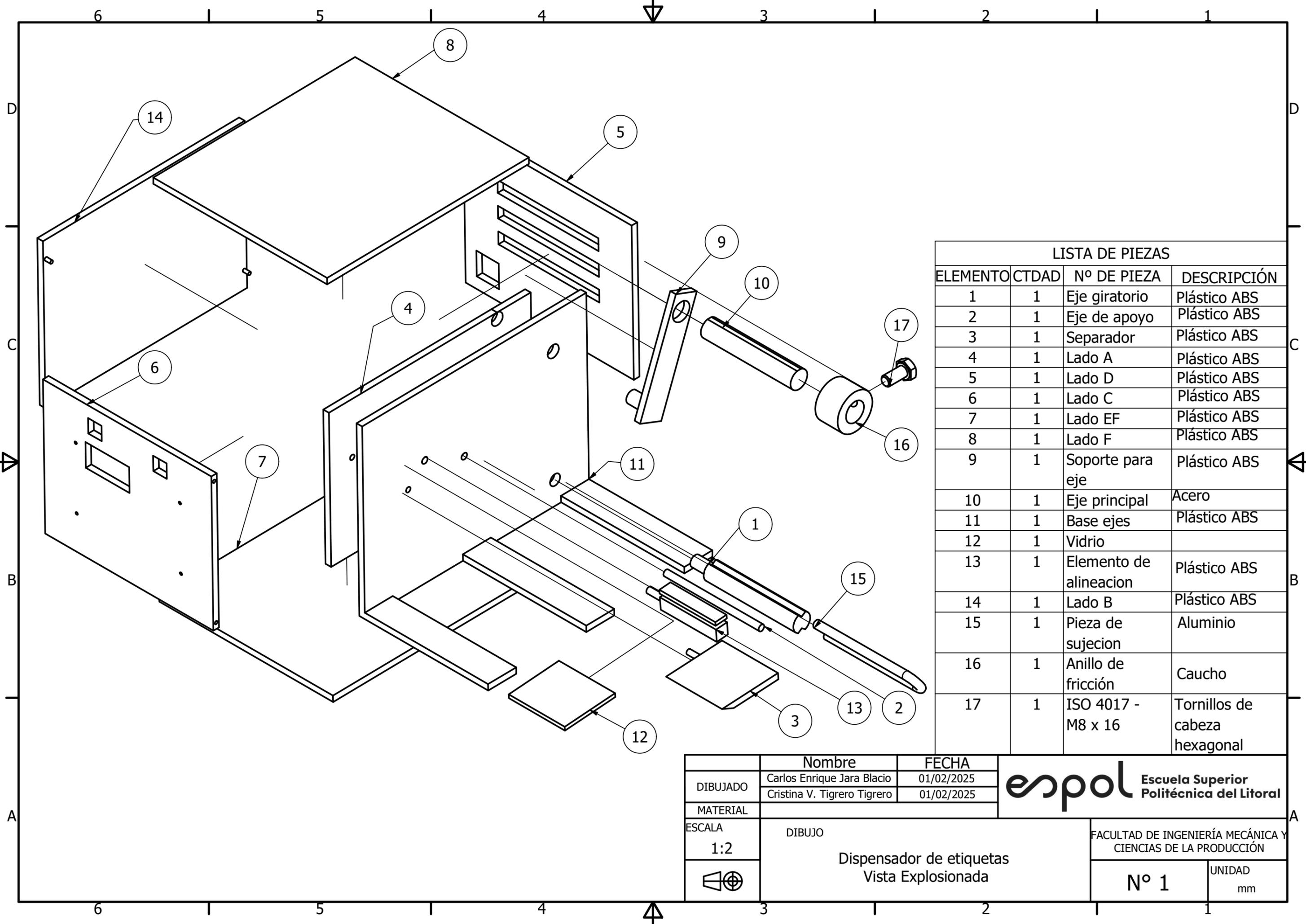
4 3 2 1

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	09/01/2025
	Cristina Victoria Tigrero Tigrero	09/01/2025
MATERIAL	AISI 4340	

Escola Superior Politécnica del Litoral

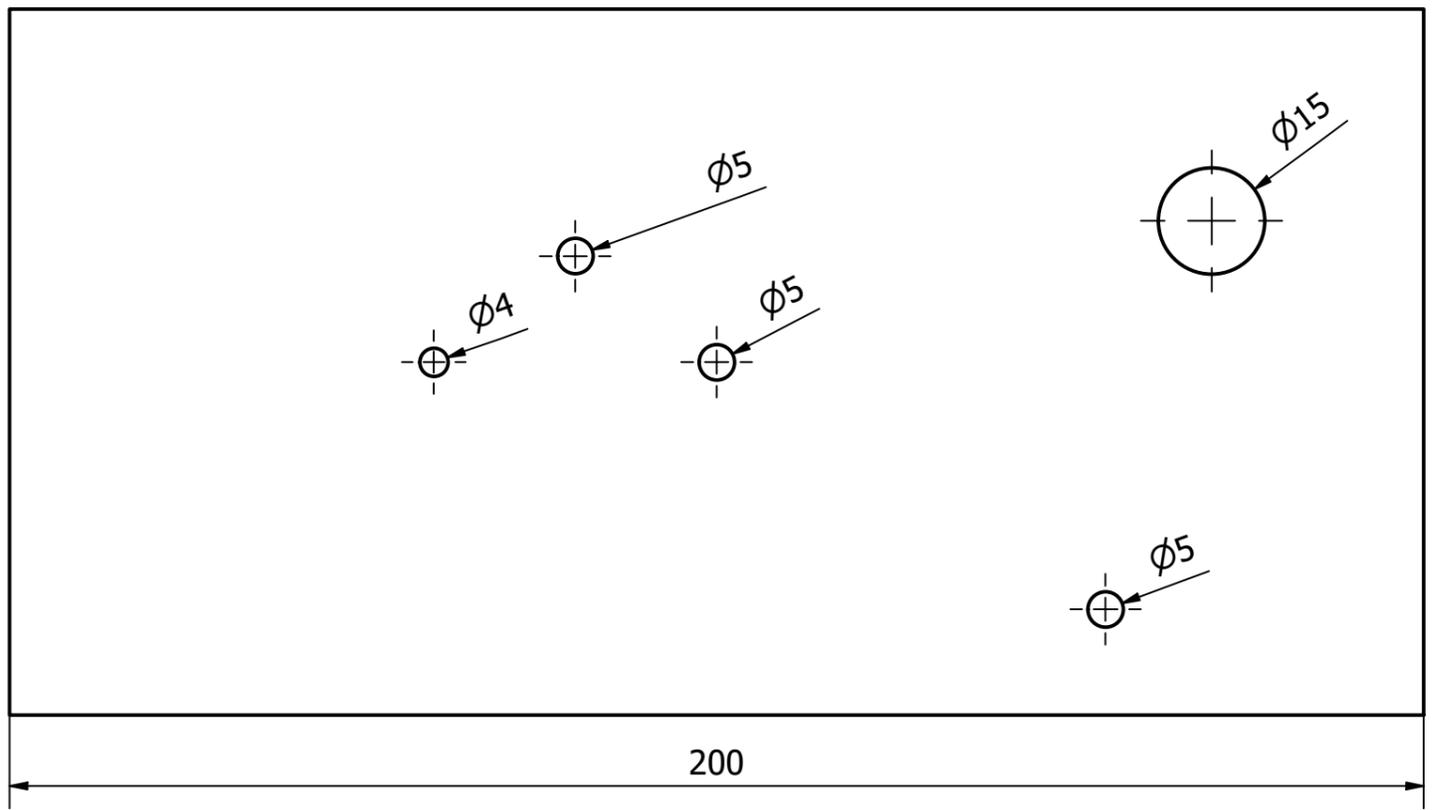
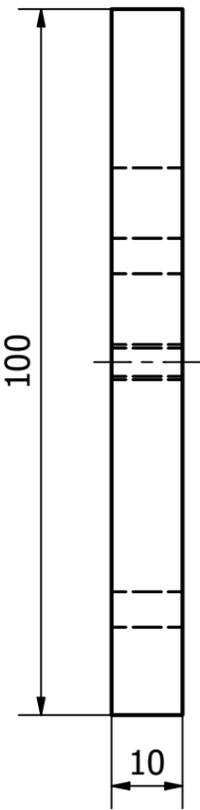
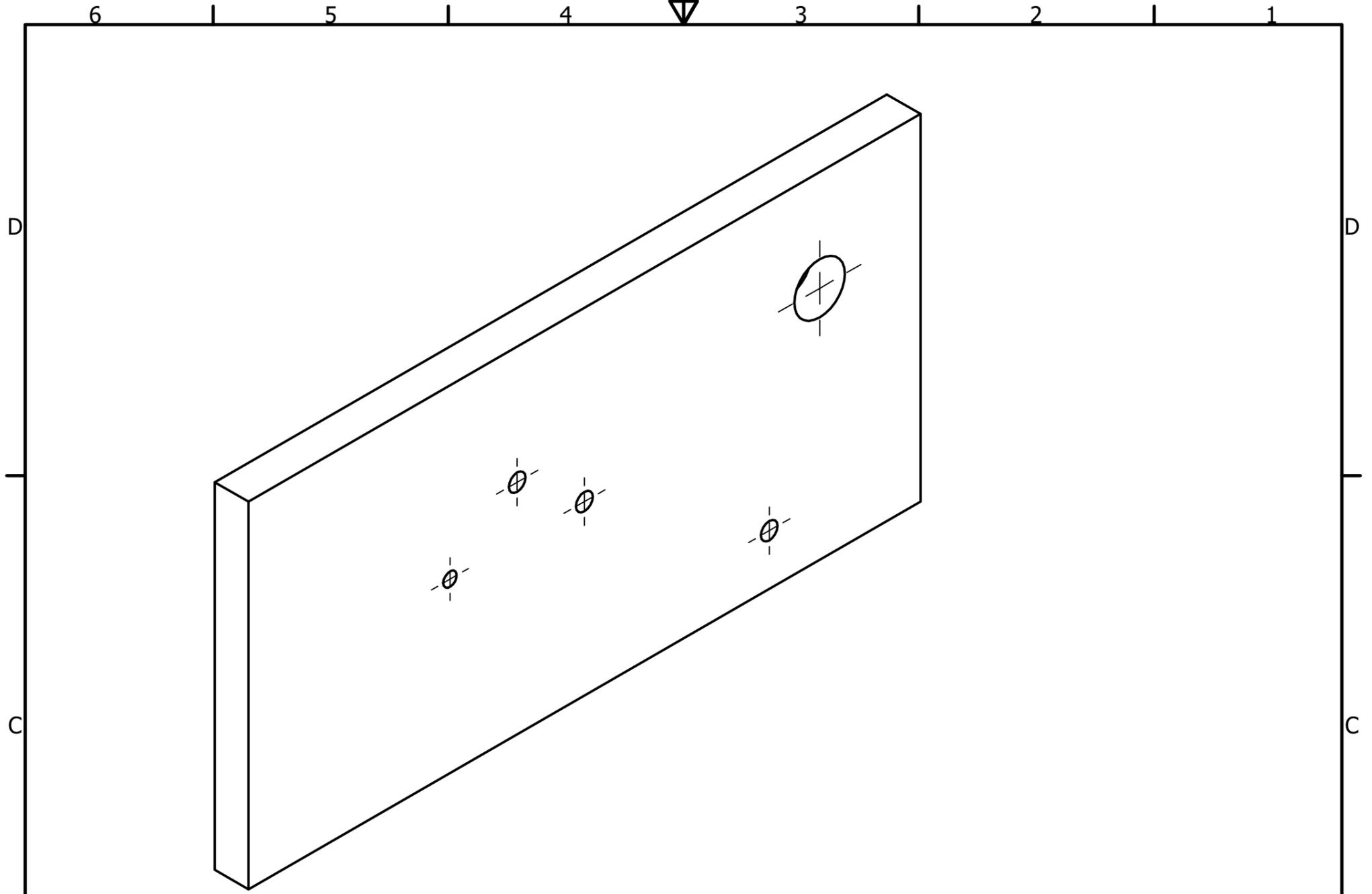
ESCALA	DIBUJO	FACULTAD DE INGENIERÍA MÉCANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
1:1		
	BRIDA DE ACOPLE- IRB360	N° 2

UNIDAD
mm

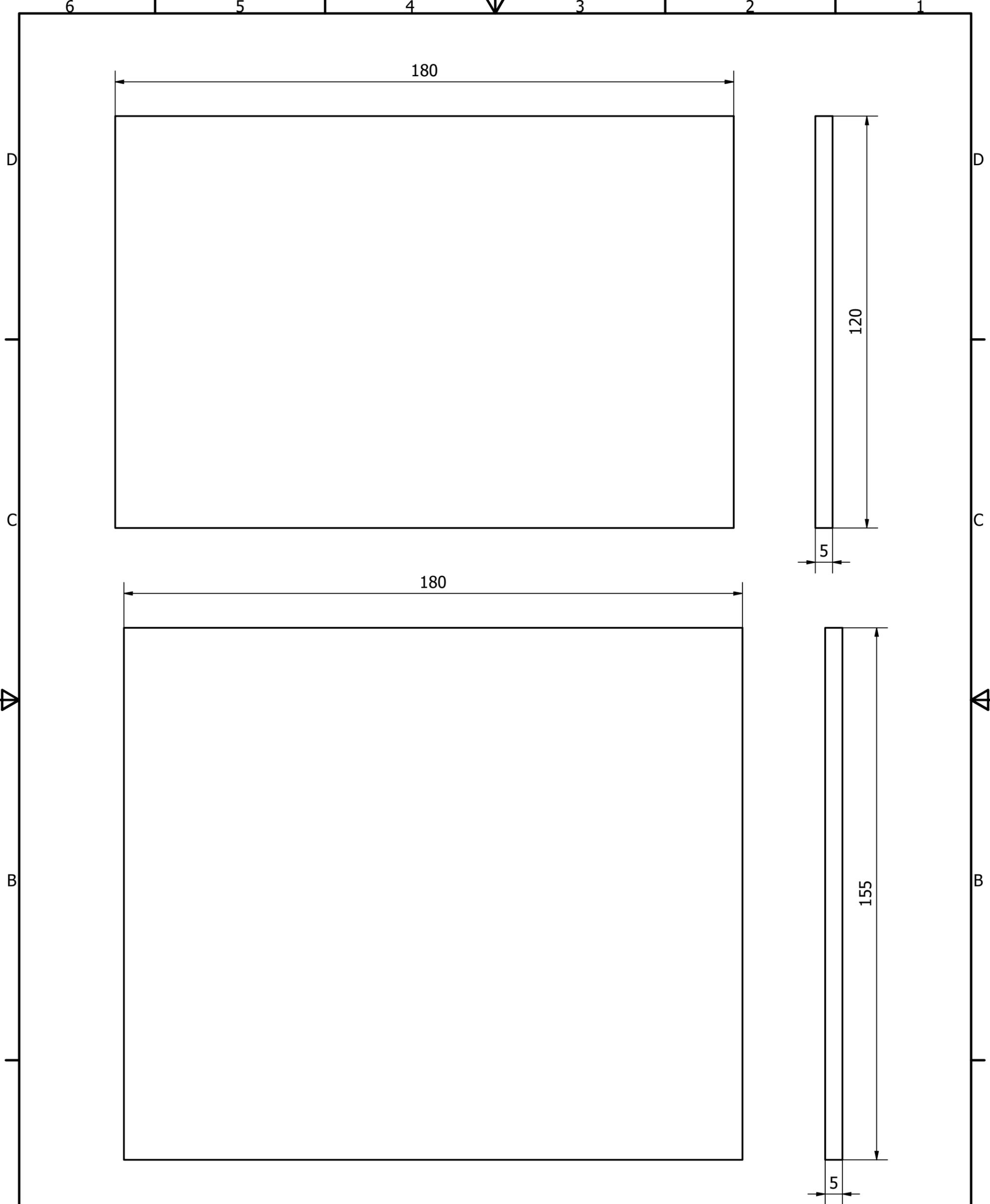


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Eje giratorio	Plástico ABS
2	1	Eje de apoyo	Plástico ABS
3	1	Separador	Plástico ABS
4	1	Lado A	Plástico ABS
5	1	Lado D	Plástico ABS
6	1	Lado C	Plástico ABS
7	1	Lado EF	Plástico ABS
8	1	Lado F	Plástico ABS
9	1	Soporte para eje	Plástico ABS
10	1	Eje principal	Acero
11	1	Base ejes	Plástico ABS
12	1	Vidrio	
13	1	Elemento de alineacion	Plástico ABS
14	1	Lado B	Plástico ABS
15	1	Pieza de sujecion	Aluminio
16	1	Anillo de fricción	Caucho
17	1	ISO 4017 - M8 x 16	Tornillos de cabeza hexagonal

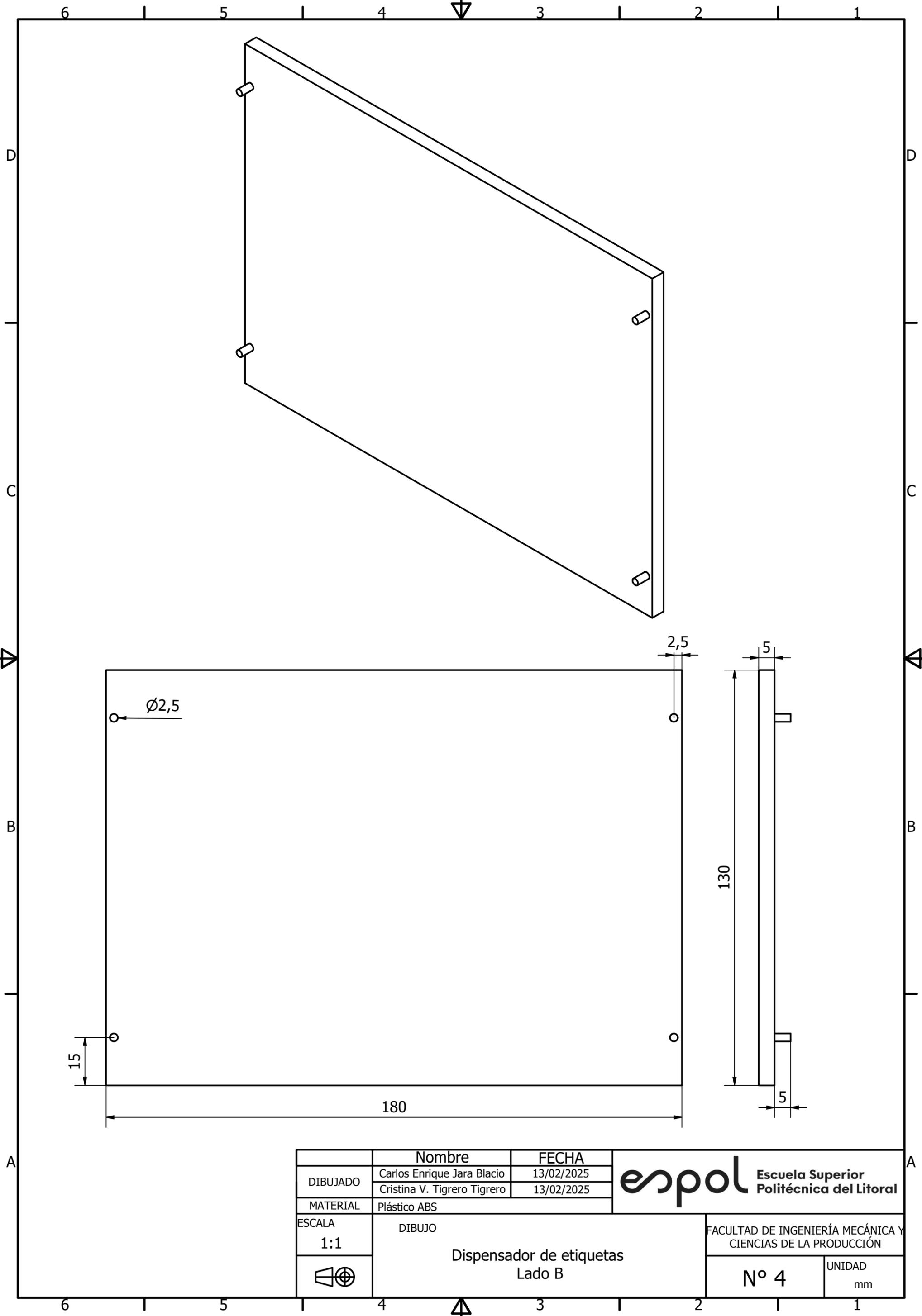
Nombre		FECHA			
Carlos Enrique Jara Blacio		01/02/2025			
DIBUJADO		Cristina V. Tigrero Tigrero		01/02/2025	
MATERIAL					
ESCALA					
1:2					
DIBUJO				FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
Dispensador de etiquetas				Nº 1	
Vista Explosionada				UNIDAD mm	



	Nombre	FECHA	 Escola Superior Politécnica del Litoral
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025	
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
ESCALA	DIBUJO		
1:1	Dispensador de etiquetas Base de los ejes		N° 2
			



	Nombre	FECHA	 Escuela Superior Politécnica del Litoral
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio Cristina V. Tigero Tigero	13/02/2025 13/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
ESCALA	DIBUJO		
1:1	Dispensador de etiquetas Lado A y Lado EF		N° 3
			

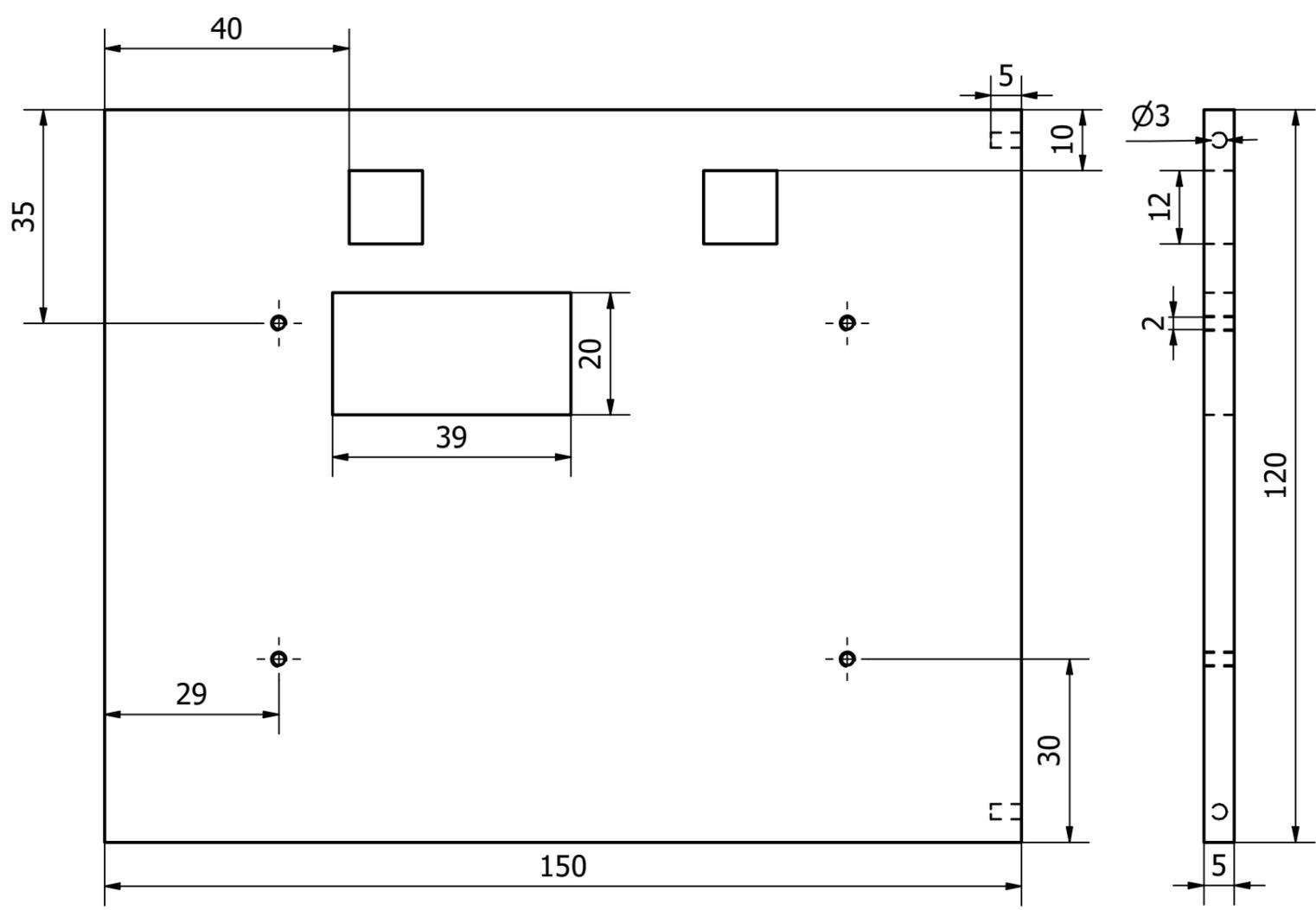
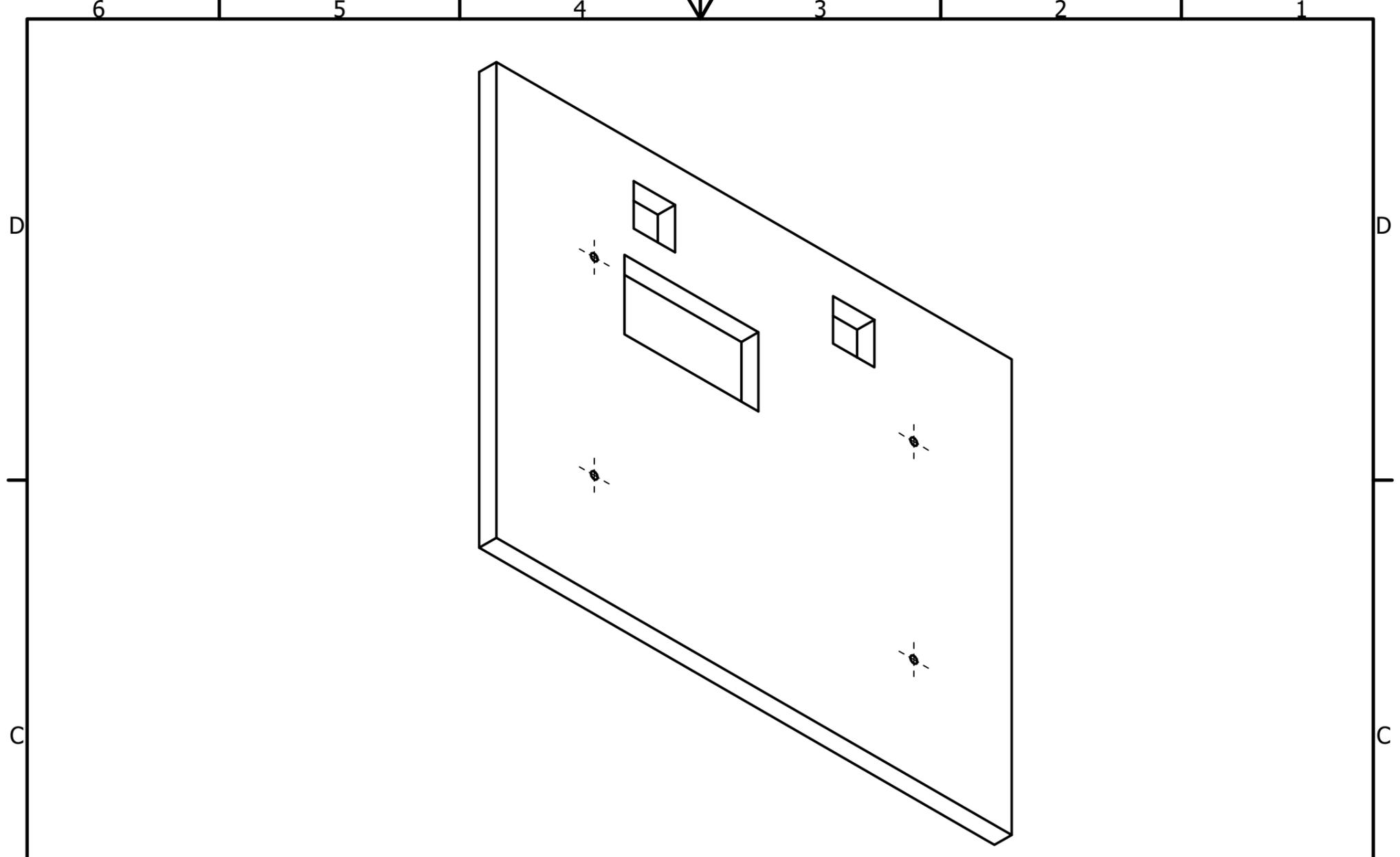


	Nombre	FECHA
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025
	Cristina V. Tigero Tigero	13/02/2025
MATERIAL	Plástico ABS	

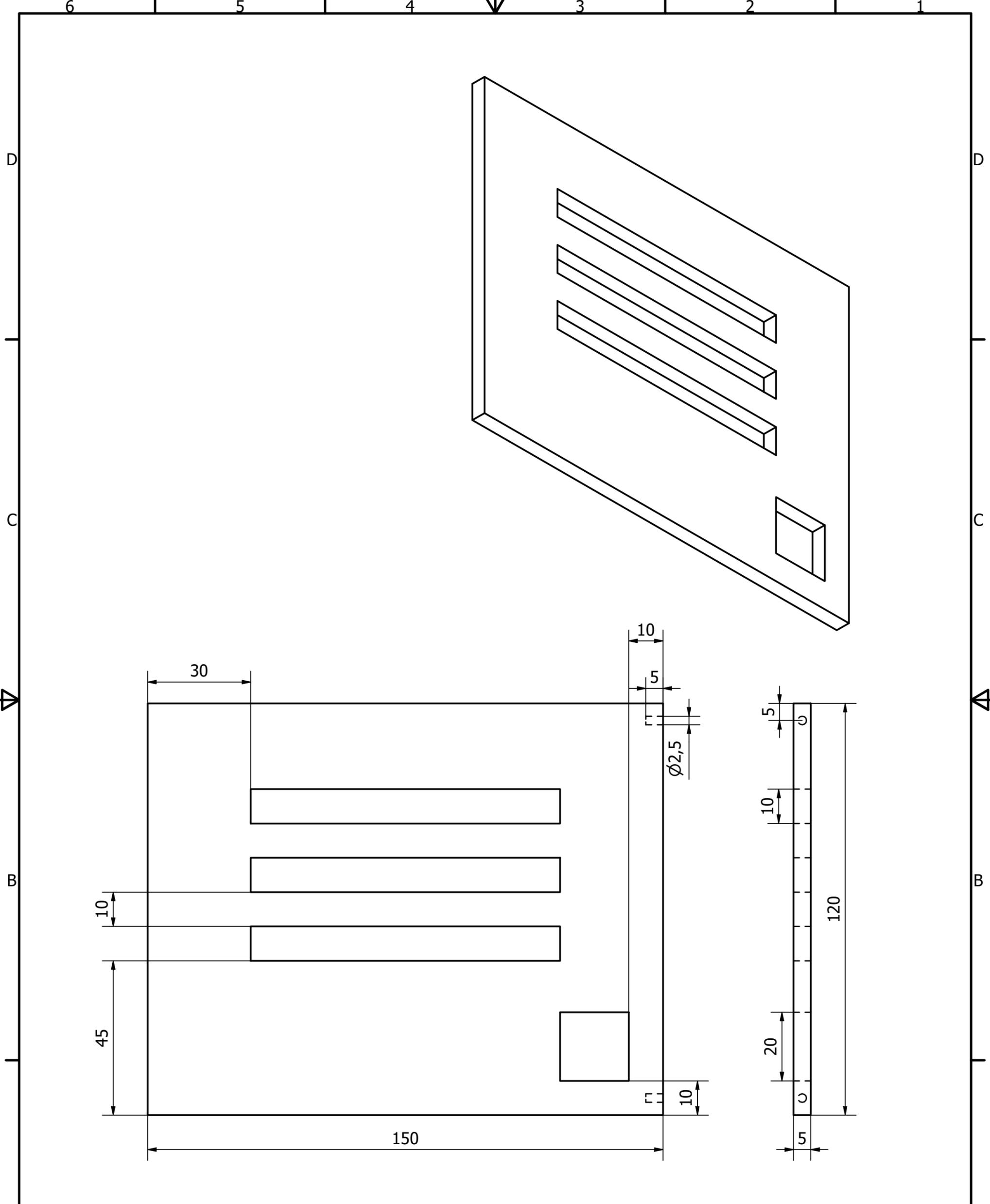
espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

ESCALA	DIBUJO	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
1:1		
	Dispensador de etiquetas Lado B	N° 4

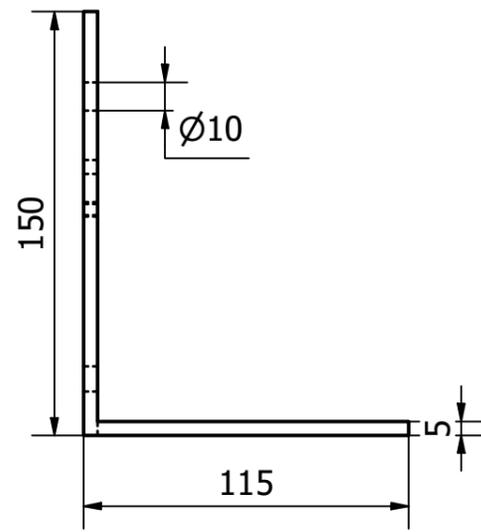
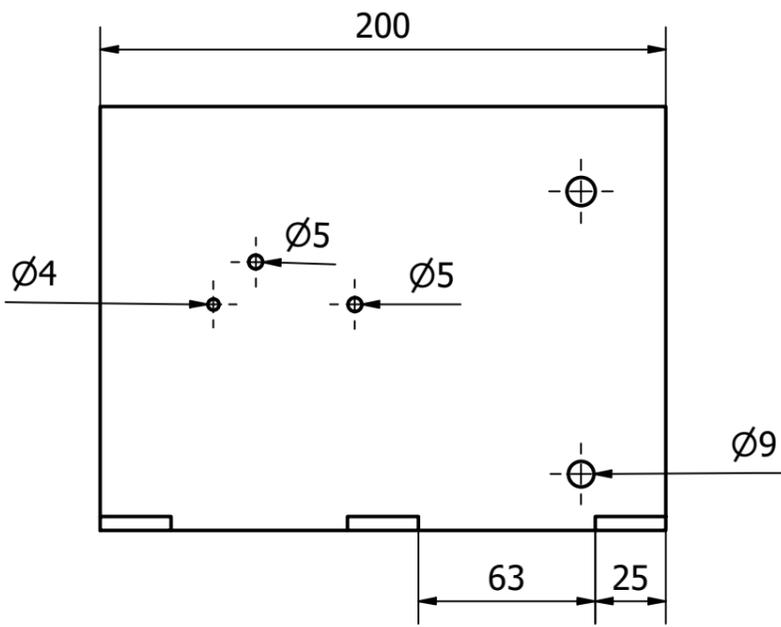
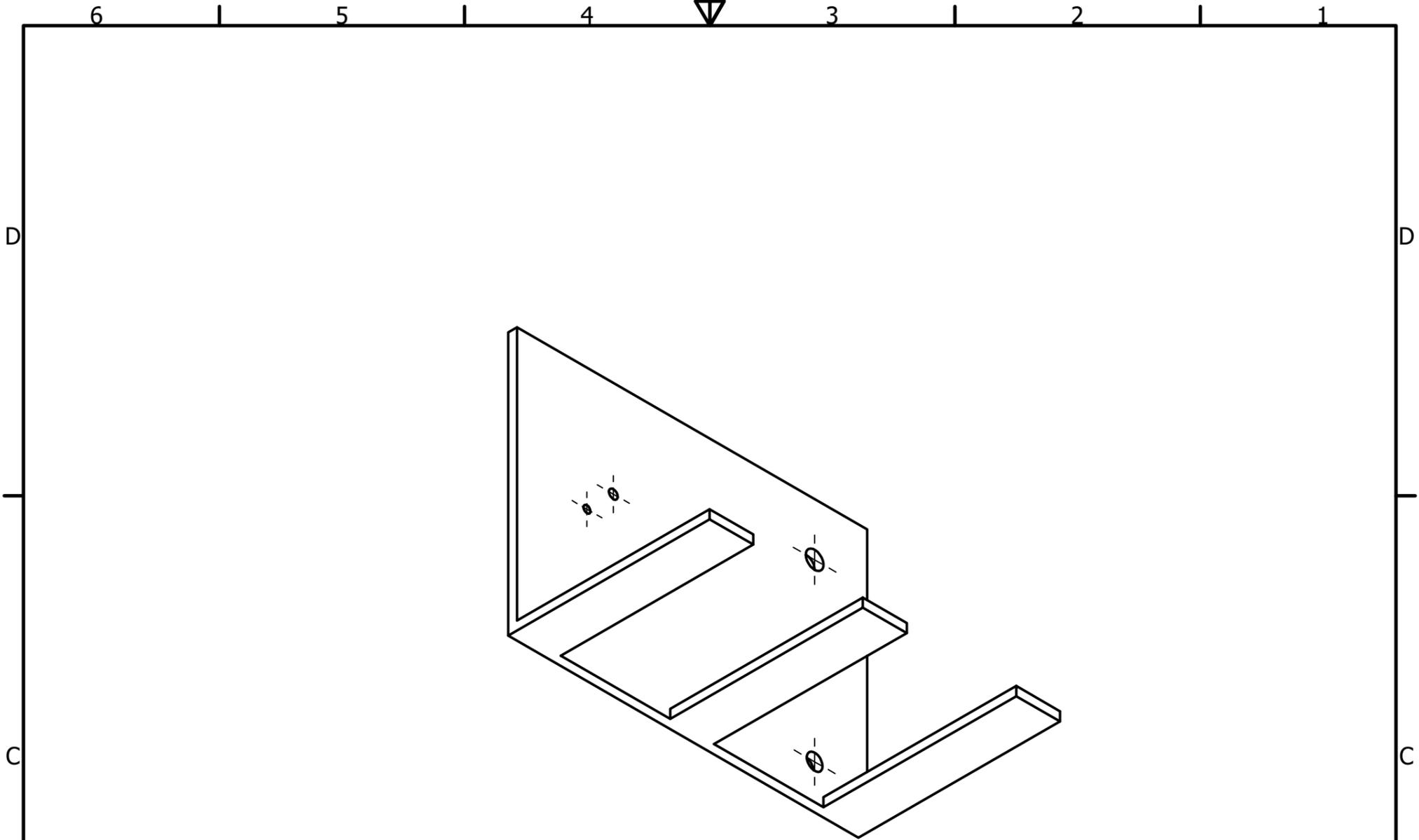
UNIDAD
mm



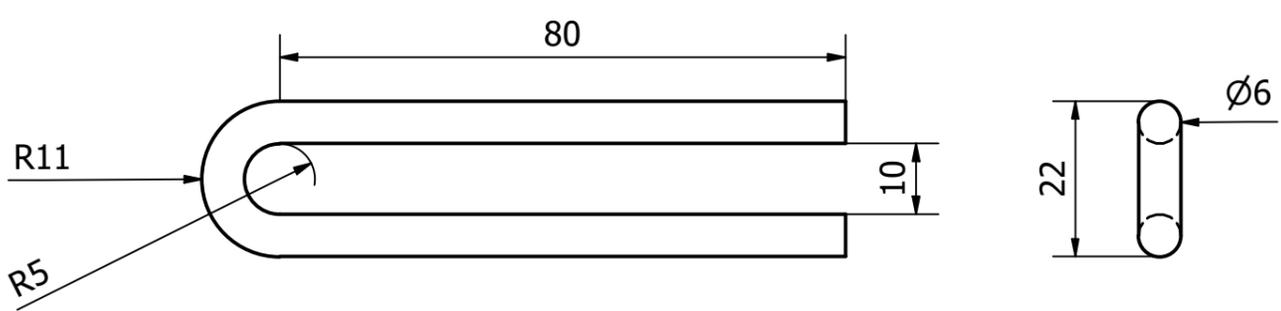
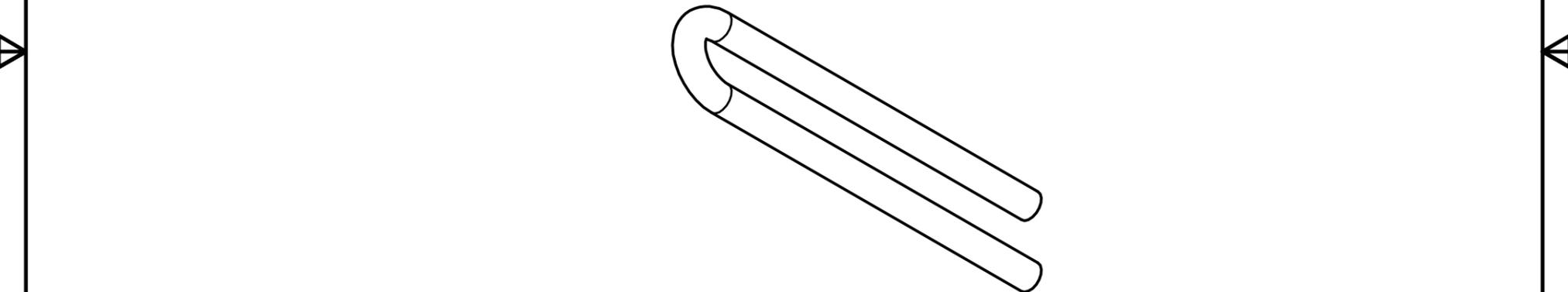
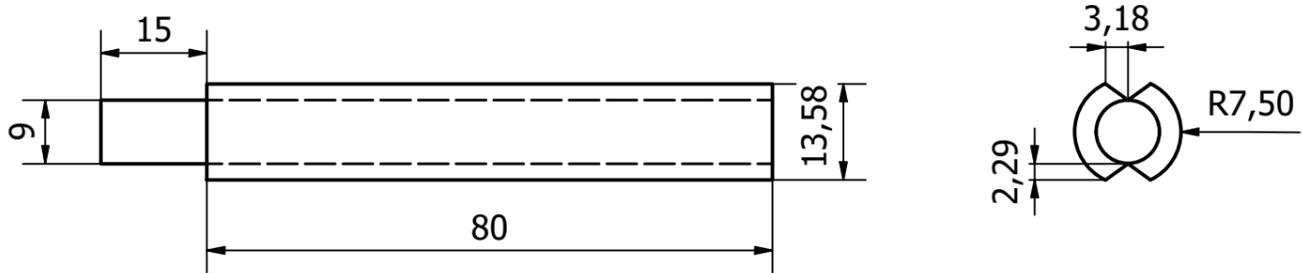
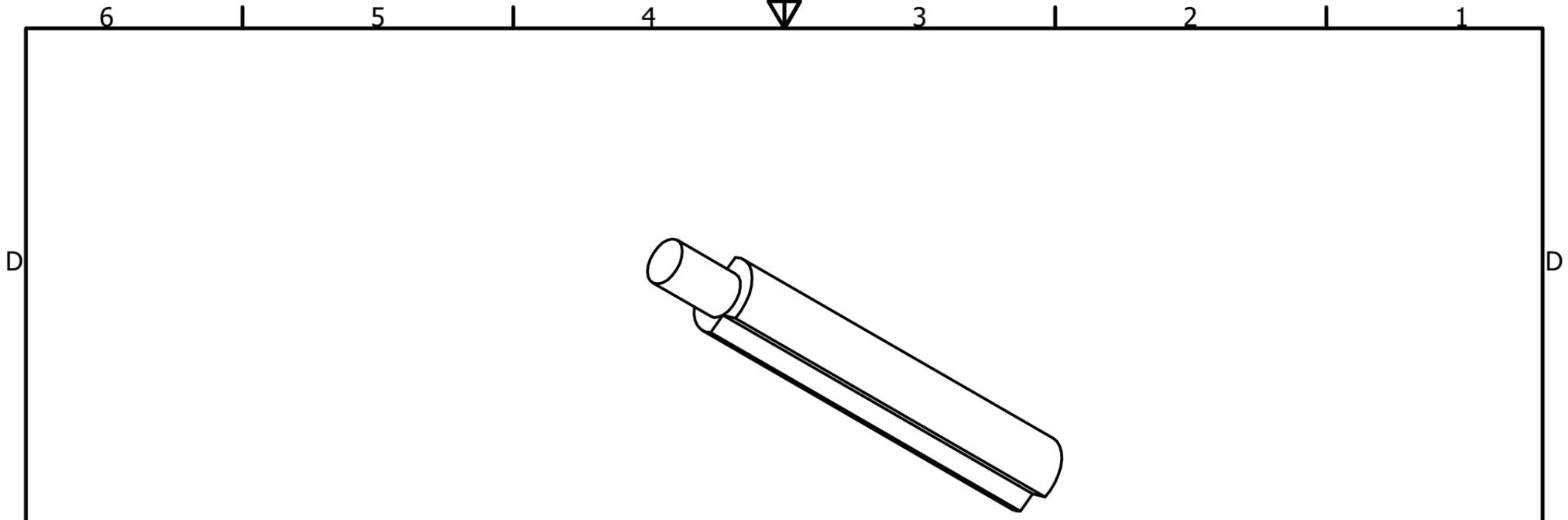
	Nombre	FECHA	 Escuela Superior Politécnica del Litoral
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025	
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS		
ESCALA	DIBUJO		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
1:1	Dispensador de etiquetas Lado C		N° 5
			UNIDAD mm



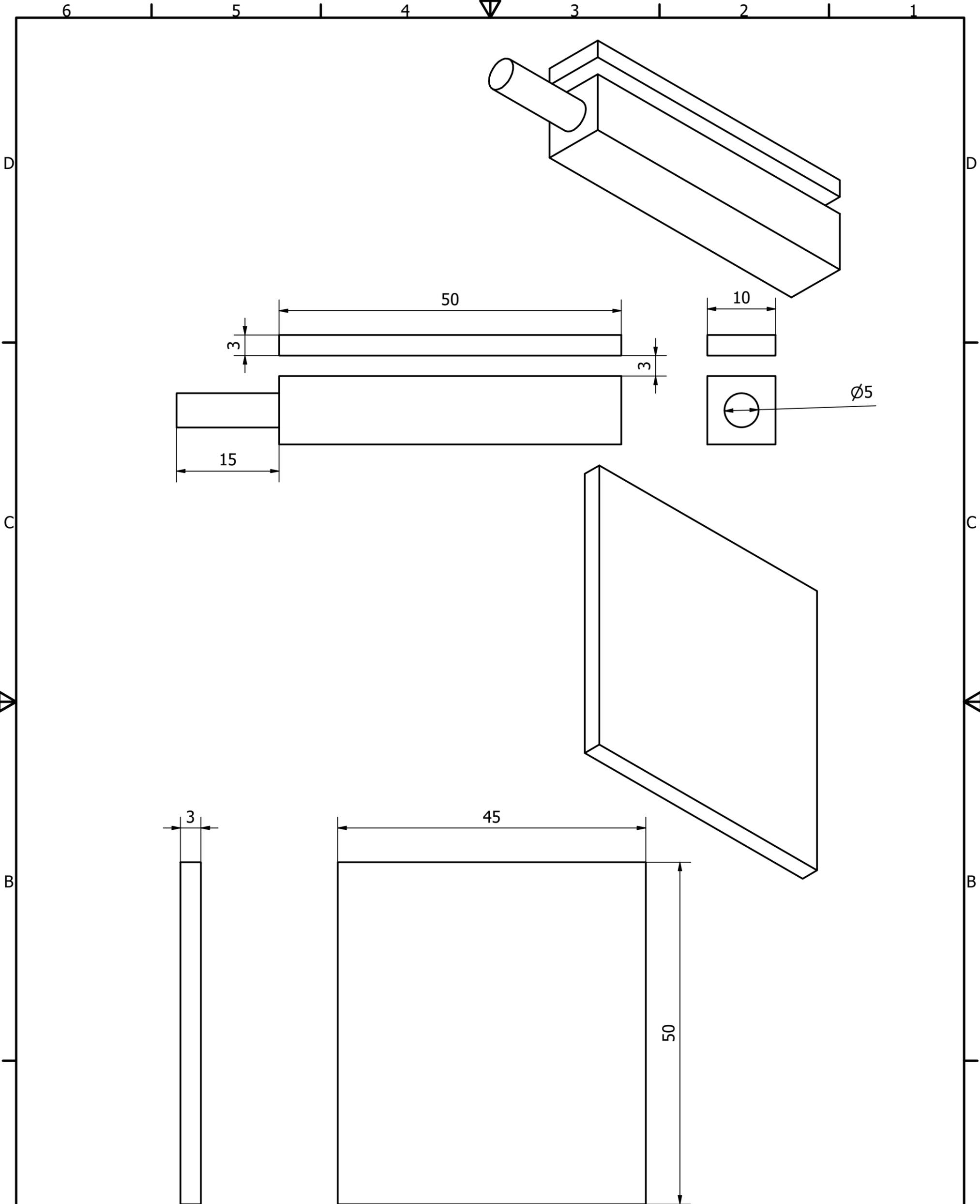
	Nombre	FECHA	 Escuela Superior Politécnica del Litoral
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	02/02/2025	
	Cristina V. Tigrero Tigrero	02/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS		
ESCALA	DIBUJO		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
1:1	Dispensador de etiquetas Lado D		N° 6
			UNIDAD mm



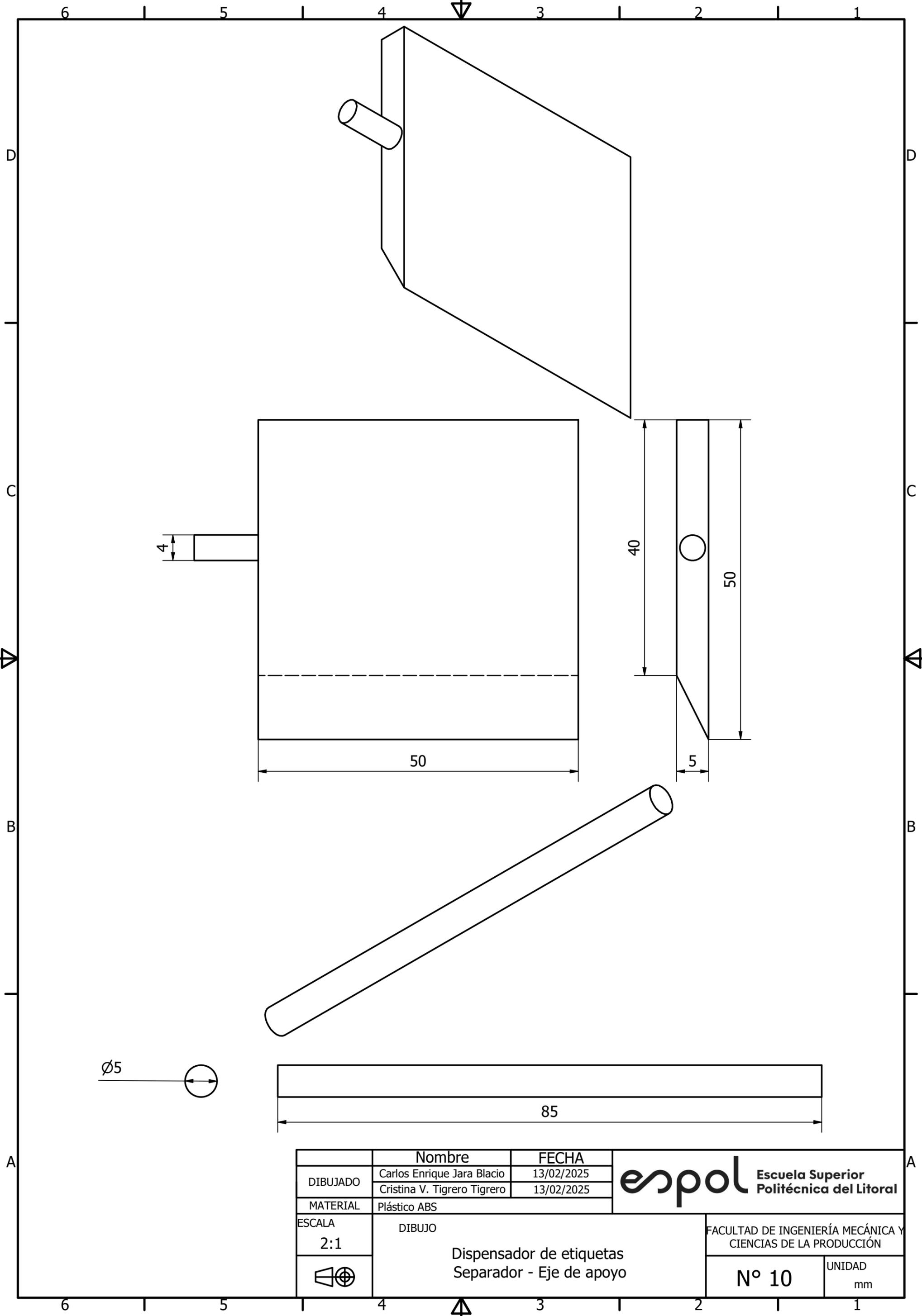
	Nombre	FECHA	
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025	
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS		
ESCALA	DIBUJO		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
1:2.5	Dispensador de etiquetas Base ejes		N° 7
			UNIDAD mm



	Nombre	FECHA	 Escuela Superior Politécnica del Litoral	
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025		
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025		
MATERIAL	Plástico ABS - Aluminio		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	
ESCALA	DIBUJO		UNIDAD	
1:1	Dispensador de etiquetas Eje giratorio - Pieza de sujeción		mm	
			N° 8	



	Nombre	FECHA	 Escuela Superior Politécnica del Litoral
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025	
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025	
MATERIAL	Plástico ABS - Vidrio		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
ESCALA	DIBUJO Dispensador de etiquetas Elemento de alineación - Vidrio		



Ø5

85

50

40

50

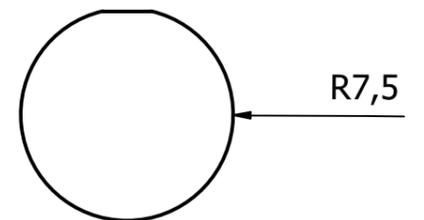
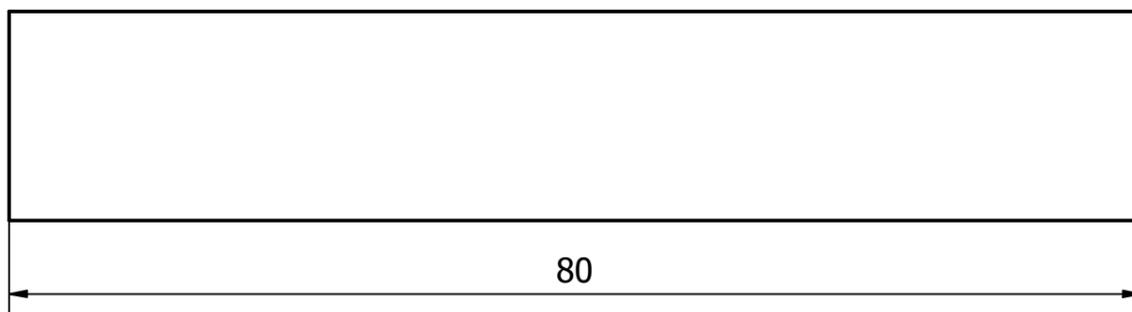
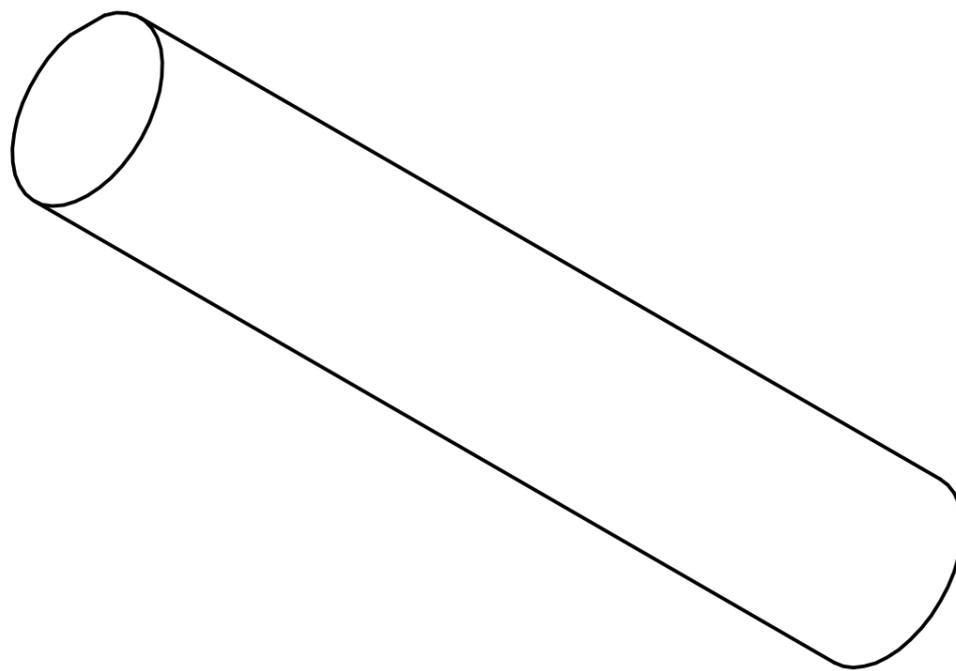
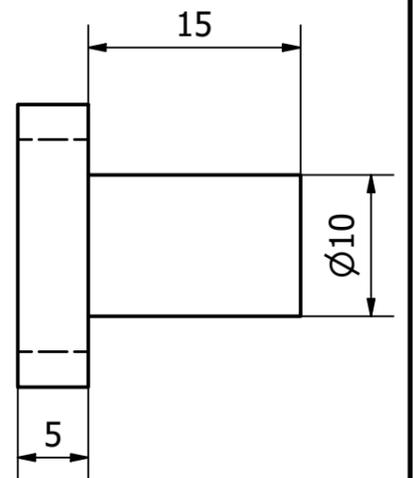
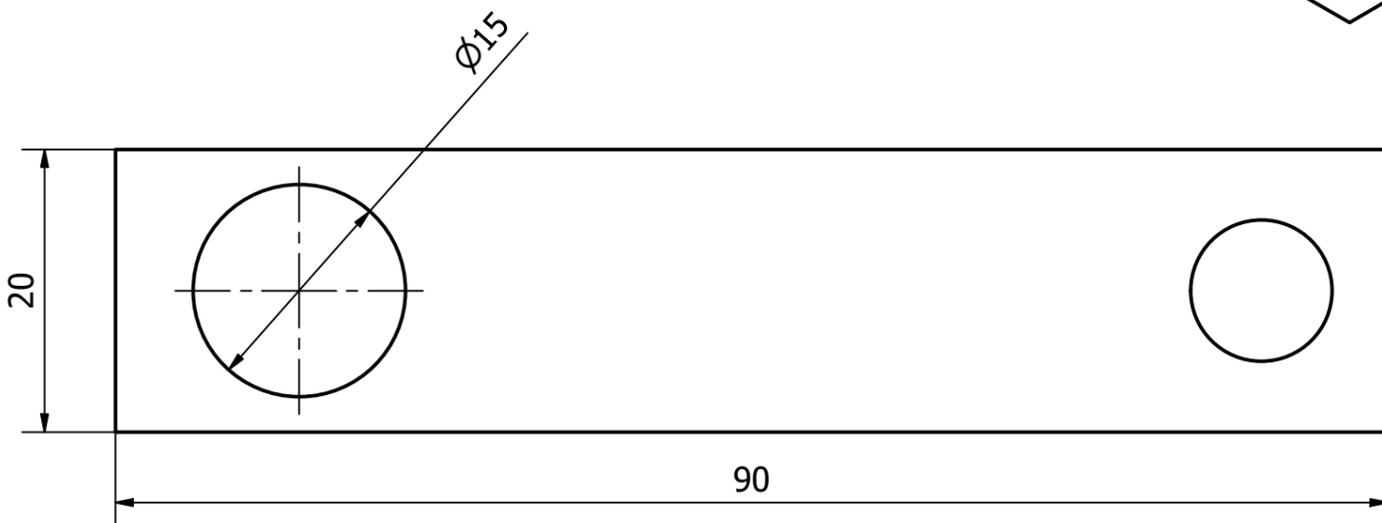
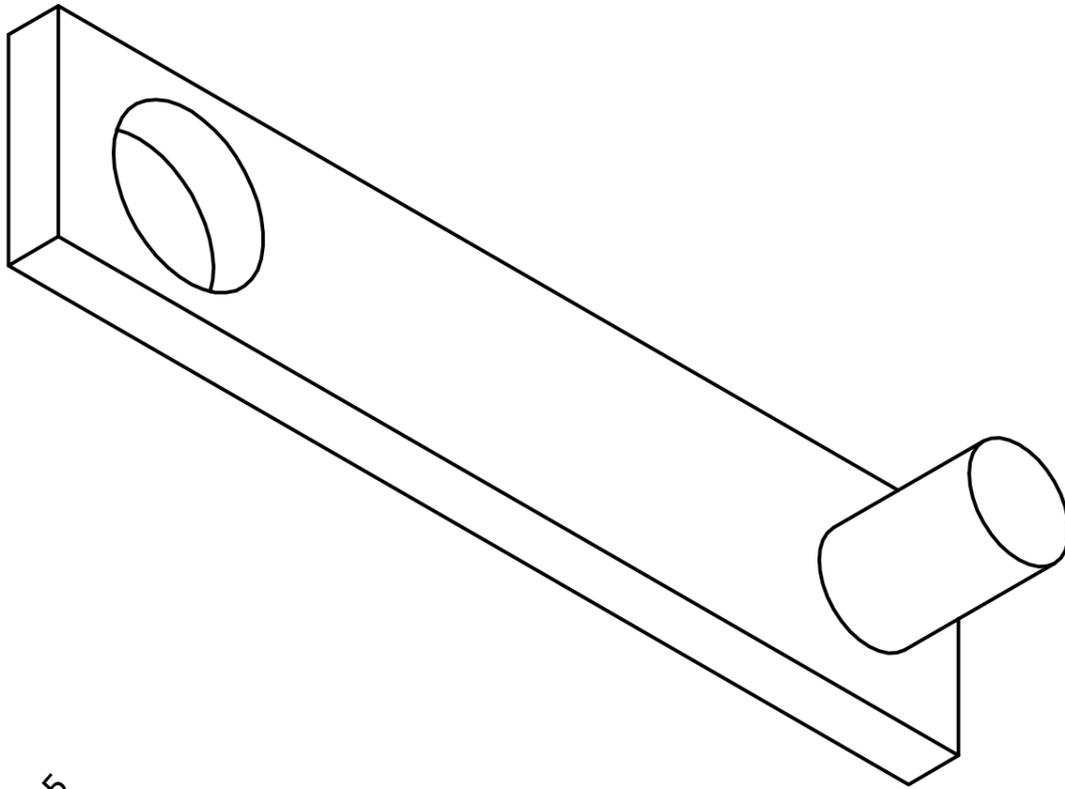
5

	Nombre	FECHA
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025
MATERIAL	Plástico ABS	

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

ESCALA	DIBUJO	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
2:1		
	Dispensador de etiquetas Separador - Eje de apoyo	N° 10

UNIDAD
mm



	Nombre	FECHA
DIBUJADO	Carlos Enrique Jara Blacio	13/02/2025
	Cristina V. Tigrero Tigrero	13/02/2025
MATERIAL	Plástico ABS - Acero al carbono	
ESCALA	DIBUJO	
2:1	Dispensador de etiquetas Soporte para eje y Eje principal	

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

N° 11

UNIDAD
mm