

Escuela Superior Politécnica Del Litoral
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Desarrollo e implementación de Empaquetadora de vegetales para comunidades
agroindustriales utilizando sistema embebido

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica Y Automatización

Presentado por:

Jordy Leonardo Figueroa Llor

Christian Thomas Gracia Chinga

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mis amados padres, por su amor incondicional y por ser el motor que me impulsó a nunca rendirme. Gracias por su sacrificio, sus enseñanzas y por darme la fuerza necesaria para alcanzar este sueño.

A mis hermanos, por su apoyo constante, por acompañarme en cada etapa de mi vida y darme siempre palabras de aliento para seguir adelante.

A mis amigos, quienes con su compañía, alegría y respaldo hicieron de este camino un trayecto más llevadero y lleno de buenos recuerdos.

Y a toda mi familia, por estar presente en cada paso, brindándome amor, comprensión y la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta.

Jordy Figueroa.

Dedicatoria

A Dios, por ser la guía que iluminó mi camino y la fortaleza en cada reto, por enseñarme que incluso en los momentos más difíciles siempre existe una salida y una razón para continuar.

A mi yo futuro, como recordatorio de que todo sacrificio tiene su recompensa, que cada noche de esfuerzo y cada día de dedicación construyen resultados que valen la pena, y que los sueños, por más lejanos que parezcan, son alcanzables con perseverancia.

Y a mi familia, la que me acompaña hoy y la que me acompañará mañana, porque en su apoyo y en su amor encuentro la razón, la motivación y la fuerza para seguir creciendo, aprendiendo y luchando por lo que me propongo.

Christian Gracia.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este proyecto. Expreso mi más sincera gratitud al Ingeniero José Cueva, por su valiosa ayuda y apoyo con los materiales indispensables para la construcción del prototipo, lo cual fue fundamental para la realización de este trabajo.

De igual manera, agradezco al Ingeniero Patricio Gonzales, quien con sus aportes de herramientas y sus conocimientos en conceptos clave, contribuyó de manera significativa al desarrollo y consolidación del prototipo.

A mis amigos, gracias por su apoyo incondicional, por acompañarme a lo largo de este camino y por ser un aliento constante en los momentos más desafiantes.

Finalmente, a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental en todo este proceso. Su apoyo emocional, su confianza y su motivación fueron la base que me permitió avanzar con firmeza hasta alcanzar esta meta.

Jordy Figueroa L.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y que, de una u otra manera, me apoyaron a lo largo de mi carrera.

En primer lugar, agradezco profundamente al Ing. José Cueva, por confiar en mí, brindarme la oportunidad de ser ayudante de cátedra en el laboratorio de automatización y proporcionarme herramientas y materiales esenciales para la realización del presente proyecto, su confianza y apoyo constante fueron fundamentales.

Al Ing. Patricio González, por prestarme su arsenal de herramientas y por sus valiosas ideas y orientaciones durante la construcción del prototipo.

Al Ing. Ronald Solís, mi tutor de tesis, por sus sugerencias y apoyo técnico que enriquecieron significativamente este trabajo.

Al Ing. Arce, por sus aportes y recomendaciones frente a los desafíos que surgieron durante el armado del prototipo.

A Decolaser, por su colaboración en los cortes de acrílico y MDF, lo cual facilitó enormemente la construcción del prototipo.

A la Sra. Mayra Méndez, por su constante apoyo moral, no solo durante la realización de esta tesis, sino a lo largo de toda mi carrera, siendo para mí como una segunda madre.

A mi compañero de tesis, Jordy Figueroa, por su dedicación y esfuerzo en sacar adelante este proyecto.

A Carlos Zambrano, por estar siempre dispuesto a apoyar cuando se le necesitaba.

A mi mejor amigo, Stalin Casanova, por su fe y confianza inquebrantable en que lograría graduarme y llegar lejos, siempre alentándome incluso más de lo que yo mismo creía.

A Washington Gutiérrez, por su amistad y apoyo constante.

A mi familia: a mi mamá María Verónica Chinga Lucas, a mi hermano Daniel Gracia, a mi hermana Valeria Gracia, y a mi abuelita Olga Loor, por su cariño y respaldo incondicional a lo largo de toda mi vida académica.

A Don Carlos, por brindarme su apoyo cuando me daba un aventón hasta la universidad.

A mis amigas Adriana Ponce y Fiorella, por estar siempre dispuestas a ayudarme en cualquier asunto que se presentara.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento; su apoyo, consejos y confianza fueron imprescindibles para la culminación de este proyecto y a lo largo de mi carrera universitaria.

Christian Gracia C.

Declaración expresa

Nosotros Jordy Leonardo Figueroa Loor y Christian Thomas Gracia Chinga 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 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.

Jordy Leonardo Figueroa Loor

Christian Thomas Gracia Chinga

Dennys Dick Cortez Alvarez, Ph.D.

Profesor de la materia

Ronald David Solis Mesa, M.Sc.

Tutor del proyecto

Resumen

En varias comunidades agrícolas de zonas rurales, existen procesos postcosecha que se realizan de forma manual por los trabajadores, provocando pérdidas económicas al generarles daños físicos al producto y contaminación por una mala manipulación del productor y a su vez tiene una baja presentación del producto al momento de presentarlo para la venta. En este proyecto queremos armar una máquina sencilla para empaclar lo que se recoge, aprovechando lo que ya hemos aprendido sobre sistemas automáticos. La idea es hacer el trabajo más rápido y sin tanto error, para que lo que se va a vender se vea mejor y así los productores del campo puedan sacarle más provecho a su esfuerzo. Mediante el presente proyecto, se buscó soluciones tecnológicas accesible, seguras para el usuario y que se adapten al entorno rural. El resultado obtenido fue un prototipo funcional el cual nos permite automatizar el proceso de empaquetado de hasta 4 vegetales y/o frutas por ciclo, de esta manera reducimos el esfuerzo físico que se requiere y a su vez mejoramos la presentación del producto. Podemos concluir que al usar tecnologías embebidas se logra modernizar procesos postcosecha de una forma viable para pequeños productores, promoviendo eficiencia, sostenibilidad e inclusión tecnológica en el sector agroindustrial rural.

Palabras Clave: empaque automatizado, sistema embebido, agroindustria rural, prototipo funcional, postcosecha.

Abstract

In many agricultural communities, especially in rural areas, post-harvest processes such as vegetable packaging continue to be carried out manually, leading to economic losses due to physical damage, contamination, and poor product presentation. This project aims to develop a prototype of a packaging machine using embedded control systems to improve the efficiency of the packaging process, increase the added value of the product, and strengthen commercialization in agro-industrial communities. The proposal addresses the need for accessible, safe, and context-adapted technological solutions in rural environments. For the development of the prototype, low-cost electronic components, simple mechanical structures, sensors, microcontrollers, and basic embedded programming techniques were used. Safety standards and environmental conditions of the setting were also taken into account. As a result, a functional prototype was obtained that automates the packaging process of up to four vegetables per cycle, reducing physical effort and improving product presentation. It is concluded that the use of embedded technologies offers a viable alternative to modernizing post-harvest processes for small producers, promoting efficiency, sustainability, and technological inclusion in the rural agro-industrial sector.

Keywords: automated packaging, embedded system, rural agro-industry, functional prototype, post-harvest.

Índice general

Resumen	H
Abstract.....	I
Índice general	J
Abreviaturas	N
Simbología.....	O
Índice de figuras.....	P
Índice de tablas.....	Q
Índice de planos.....	R
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Justificación del problema.....	5
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Marco Teórico.....	7
1.5.1 Problemas después de la cosecha en el campo rural.....	7
1.5.2 Diseño de maquinaria para comunidades rurales.....	8
1.5.3 Banda transportadora modular con tacos verticales.....	9
1.5.4 Sensor fotoelectronico.....	10
1.5.5 Controlador lógico programable (LOGO8 Siemens).....	10
1.5.6 Normas y reglas aplicables.....	11
1.5.7 Bases teóricas de la producción de Santa Lucia	12

1.5.8 Régimen laminar y turbulento	15
1.5.9 Ecuación de Bernoulli	16
Capítulo 2	17
2.1 Alternativas de solución del prototipo	18
2.2 Diseño conceptual	18
2.3 Etapa de lavado	19
2.3.1 Estructura ideal de la tina de lavado	21
2.3.2 Dimensionamiento del motor para la banda transportadora.....	22
2.3.3 Dimensionamiento del motor para la banda transportadora.....	23
2.4 Etapa de transporte.....	28
2.5 Etapa de sellado	29
2.5.1 Dimensionamiento del elemento calefactor.....	30
2.6 Diseño eléctrico del sistema	31
Capítulo 3	33
3.1 Resultados y análisis	34
3.2 Sistema de lavado	34
3.3 Sistema de transporte	34
3.4 Sistema de empaquetado	36
3.5 Tabla de costos.....	38
3.5.1 Materiales Eléctricos	38
3.5.2 Materiales Tuberías y Accesorios.....	40
3.5.3 Materiales Estructura	41
3.5.4 Mano de obra	42
3.5.5 Tabla de costos.....	43

3.6 Estudios de costos y factibilidad económica	44
3.6 Comparativa de costos con soluciones del mercado	45
3.7 Factibilidad económica y tecnológica	45
3.8 Manual de operación	46
3.9 Manual de mantenimiento	50
Capítulo 4	53
4.1 Conclusiones	54
4.2 Recomendaciones	55
Referencias	57
Anexo A. Propiedades del agua a 25°C	61
Anexo B. Rugosidad relativa	61
Anexo C. Planos	63
Anexo D. Fotos de la construcción del prototipo	3
Implementando los componentes electricos en el tablero	3
Poniendo las canaleta a utilizar en el tablero	3
Armado de tablero eléctrico	4
Comprobación de las conexiones del logo	4
Puesta de botoneras e indicadores en el tablero	5
Comprobación y peinado de tablero eléctrico	5
Prueba en cartón del plano de la trayectoria	6
Armado de la trayectoria en acrílico	6
Armado de la tubería y conexión de la bomba	7
Estructuras armadas y conectadas	7
Implementación de las tuberías con la tina de lavado	8

Estructura armada y conectada.....	8
Base de soporte para la banda	9
Base presentada a la tina de lavado	9
Estructura de soporte para el prototipo	10
Tina implementada en el soporte.....	10
Selladora.....	11

Abreviaturas

AISI	Acero inoxidable serie AISI 304
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HP	Horse Power (Caballo de fuerza)
IQS	Industrial Quick Search (Directorio)
ISO	International Organization for Standardization
LOGO	Controlador lógico programable Siemens LOGO!
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ecuador)
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
PET-G	Polietileno Tereftalato modificado con Glicol (material de impresión 3D)
PLC	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)
PP	Polipropileno
PVC	Policloruro de vinilo
Ing.	Ingeniero

Simbología

D	Diámetro hidráulico o del conducto (m)
Di	Diámetro de la tubería
La	Longitud activa del hilo de nicrom (12 cm en este caso)
P	Presión (Pa)
Re	Número de Reynolds
V	Velocidad del fluido (m/s)
Z	Altura (m)
e	Rugosidad absoluta (m)
f	Coefficiente de fricción
g	Aceleración de la gravedad (9.81 m/s ²)
hbomba	Altura aportada por una bomba (m)
hfricción	Pérdida de carga por fricción (m)
ρ (rho)	Densidad del fluido (kg/m ³)
μ (mu)	Viscosidad dinámica del fluido (Pa·s)
γ (gamma)	Peso específico del fluido (N/m ³)

Índice de figuras

Figura 1	3
Figura 2	6
Figura 3	9
Figura 4	10
Figura 5	11
Figura 6	20
Figura 7	20
Figura 8	21
Figura 9	29
Figura 10	30
Figura 11	31
Figura 12	32
Figura 13	32

Índice de tablas

Tabla 1	13
Tabla 2	13
Tabla 3	14
Tabla 4	14
Tabla 7	38
Tabla 8	40
Tabla 9	41
Tabla 10	42
Tabla 11	43
Tabla 12	44
Tabla 5	61
Tabla 6	61

Índice de planos

Plano 1 Tina de lavado.....	63
Plano 2 Estructura banda transportadora	64
Plano 3 Rodillos.....	65
Plano 4 Tuberías y accesorios.....	66
Plano 5 Estructura de la tina	67
Plano 6 Estructura del reservorio de agua.....	68
Plano 7 Montaje de la etapa de lavado.....	69
Plano 8 Montaje de la etapa de lavado.....	70
Plano 9 Montaje de la etapa de lavado.....	71
Plano 10 Estructura de la trayectoria	72
Plano 11 Montaje etapa de la trayectoria.....	73
Plano 12 Estructura de la tina de lavado.....	65

Capítulo 1

1.1 Introducción

En la actualidad, las comunidades agrícolas presentan pérdidas significativas en sus cosechas debido a la tercerización y al desconocimiento en tecnologías agroindustriales. Esta situación genera en los productores pérdidas económicas que, en muchos casos, no logran identificar.

Aunque sabemos que los avances tecnológicos empleados en la agricultura van avanzando día a día, hay ciertos sectores o comunidades que afrontan problemas a la hora de la postcosecha y uno de los más críticos es el empaquetado de productos como vegetales y/o frutas frescas.

En varios sectores agroindustriales principalmente las zonas rurales, el procedimiento para empaquetar se realiza de forma manual, esta práctica ocasiona daños físicos en los productos y genera altas tasas de desperdicio, lo que disminuye su valor agregado. Además, la manipulación directa incrementa el riesgo de contaminación por contacto.

Como consecuencia los agricultores encuentran muchos inconvenientes al momento de cumplir con los estereotipos exigidos por mercados formales o de exportación y esto influye mucho en su rentabilidad e ingresos familiares. Sin embargo, en los mercados locales estas exigencias no son tan estrictas, ya que el consumo interno suele ser rápido y no requiere la adición de preservantes. En este contexto, los productos se comercializan principalmente como orgánicos, manteniendo así sus características naturales.

El uso de máquinas automáticas en la etapa posterior a la cosecha representa una alternativa atractiva para las grandes empresas agroindustriales, ya que permiten optimizar el proceso de empaque. Sin embargo, su alto costo, junto con la necesidad de personal capacitado y de infraestructura adecuada, limita su acceso a pequeños agricultores y comunidades rurales.

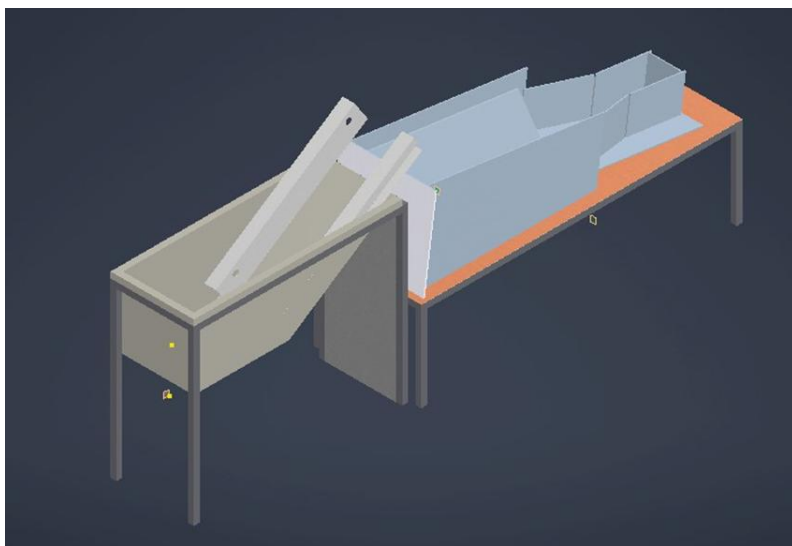
Asimismo, necesitamos crear opciones tecnológicas que sean baratas y fáciles de usar para las comunidades rurales, y que la gente que cultiva pueda usar sin problemas, para así

solucionar bien las dificultades del momento que enfrenta el sector. Por eso, este trabajo propone hacer y poner en marcha un modelo de máquina para empaacar vegetales y/o frutas, pensado para pequeñas comunidades que trabajan en el agro, usando sistemas de control integrados para automatizarla. El diseño se basa en aplicar formas prácticas de ingeniería a situaciones reales, teniendo en cuenta cosas como la seguridad de quien opera la máquina, la limpieza de los productos, que el proceso sea rápido y eficiente, y que el sistema sea duradero y amigable con el ambiente.

Al utilizar sistemas de embebidos nos permite que al momento de automatizar podemos integrar sensores, actuadores y controladores programables de bajo costo de esta manera optimizamos el funcionamiento del prototipo sin comprometer su accesibilidad y fácil uso. Con esto podemos promover la inclusión tecnológica en zonas rurales, brindando herramientas que pueden replicar, mantener y adaptar a sus necesidades específicas.

Figura 1

Prototipo de máquina empaquetadora automatizada para comunidades rurales



El proyecto contempla factores sociales, económicos y ambientales además de abordar la problemática técnica. Desde una perspectiva social, la solución propuesta busca mejorar las condiciones laborales de los productores al reducir su carga física del trabajo manual y poder fomentar el desarrollo de las capacidades técnicas locales.

En el plano económico, se busca aportar valor agregado al producto al ofrecer un empaque uniforme y seguro, lo que facilita su comercialización en mercados locales y comunitarios. Por último, en el aspecto ambiental, la propuesta contribuye a reducir el desperdicio alimentario, lo que representa una mejora en la sostenibilidad del sistema productivo rural.

En consecuencia, el presente proyecto aporta al desarrollo integral de las comunidades agrícolas, y no solo es la solución de una necesidad tecnológica evidente, fortalece la capacidad de innovación, adaptación y progreso. La implementación del prototipo empaquetador constituye un paso hacia la tecnificación progresiva del campo, permitiendo a los pequeños productores competir en mejores condiciones, elevando la calidad de su oferta y a su vez garantizando una producción más digna, eficiente y sostenible.

1.2 Descripción del problema

Los pueblos del campo dedicados al cultivo y venta de vegetales y/o frutas enfrentan problemas importantes en la fase después de la cosecha, especialmente en la forma de empacar. El uso de formas hechas a mano consume mucho tiempo y trabajo duro, lo que genera resultados irregulares y de poca calidad. Esta práctica provoca golpes, suciedad y que los productos se dañen rápido, afectando su aspecto, frescura y que sean buenos para vender en mercados oficiales.

Estas dificultades no solo reducen el valor agregado del producto, sino que también limitan las oportunidades de comercialización para los pequeños agricultores, afectando directamente que haya alimentos seguros para todos y el progreso económico de la zona. La necesidad de una opción con tecnología está en hacer todo igual y rápido en el proceso de empacar, para cumplir con las normas sobre cómo se ve el producto y lo bueno que es, que piden los vendedores y clientes. El sistema debe ser una máquina automática, barata, sencilla de usar y cuidar por personas con saberes simples, y que se adapte a la situación en el

campo, considerando la falta de instalaciones, la electricidad disponible y cosas del clima como polvo y humedad. Las restricciones del proyecto incluyen limitaciones presupuestarias, que requieren la selección de materiales y componentes de bajo costo sin comprometer funcionalidad ni durabilidad.

También se debe pensar que los usuarios no tienen mucha experiencia técnica, así que el diseño tiene que ser fácil de entender y resistente. Este proyecto, desarrollado en colaboración con la Unidad Académica de Vinculación de la ESPOL, busca integrar la academia con el sector productivo local, aportando a la tecnificación progresiva del ámbito agroindustrial comunitario.

1.3 Justificación del problema

Los grupos de agricultores dedicados a la producción de vegetales y/o frutas enfrentan problemas importantes después de la cosecha, especialmente en el proceso de empacar. La falta de máquinas apropiadas obliga a hacer estas tareas a mano, lo que genera daños o golpes, contaminación y una disminución en la calidad del producto. Esta situación limita el acceso a mercados formales y reduce las ganancias de los productores.

La implementación de un prototipo de máquina empaquetadora accesible y de fácil uso contribuirá a mejorar las condiciones de trabajo de los agricultores, incrementar el valor agregado de sus productos y facilitar su inserción en mercados más competitivos. Al mismo tiempo, este tipo de soluciones tecnológicas fortalece la permanencia de los productores en el campo, evitando la fuga de talento humano hacia otros sectores y asegurando que sus capacidades se orienten al desarrollo agroindustrial del país.

Figura 2

Agricultor aplicando método artesanal para el lavado de vegetales



Nota: tomado de freepik [1]

La idea para crear y poner en marcha un modelo de máquina de prueba para empacar vegetales y/o frutas usando sistemas electrónicos integrados ofrece una solución adaptada a las condiciones reales del entorno rural. Este modelo busca ser una opción barata, práctica y sencilla de usar, con piezas fáciles de conseguir y mantenimiento fácil, lo que facilita que pequeños productores lo adopten.

En la forma de diseñar, se toma en cuenta la seguridad del producto y del operador, así como la mejora para la comunidad al reducir el trabajo duro y mejorar el lugar y modo de trabajo. Además, se consideran aspectos culturales y económicos para desarrollar una tecnología que se adapta a la zona y al entorno rural y agrícola.

Esta solución no solo mejora la rapidez y buen manejo del trabajo en el proceso de empacar, sino que también aporta un beneficio extra al producto final, ayudando a evitar que se pierda comida y fortaleciendo que los alimentos sean seguros.

A la vez, fomenta el uso creciente de tecnología en el campo mediante herramientas fáciles de conseguir y que se adaptan al lugar. En resumen, la idea responde a una necesidad real con una propuesta que funciona, dura y tiene sentido, alineada con el avance tecnológico para todos en el sector agroindustrial.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de máquina empaquetadora de vegetales y/o frutas utilizando sistemas de control embebido, con el fin de optimizar el proceso de empaque postcosecha en comunidades agroindustriales, mejorando la calidad del producto y aumentando su valor agregado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las necesidades prácticas y requerimientos técnicos para el diseño de una máquina empaquetadora adecuada al entorno comunitario.
- Diseñar las estructuras mecánicas y eléctricas de la máquina utilizando herramientas de ingeniería y sistemas electrónicos embebidos.
- Implementar el prototipo empleando componentes de bajo costo y programación de controladores, garantizando su funcionalidad y facilidad de uso.
- Evaluar el desempeño del prototipo mediante pruebas funcionales que validen su impacto en la eficiencia del proceso de empaque.

1.5 Marco Teórico

El desarrollo de un modelo de máquina para empacar automáticamente vegetales y/o frutas en pueblos rurales que viven de la agricultura necesita una base teórica clara que hable sobre los problemas que aparecen después de la cosecha, lo que pueden hacer los sistemas de control electrónico, la creación de máquinas que sirvan en el campo y las reglas técnicas que deben cumplirse. Esta base con conocimientos técnicos y científicos ayuda a explicar por qué esta idea es buena, usando ideas clave y fuentes confiables.

1.5.1 Problemas después de la cosecha en el campo rural

La etapa después de la cosecha en la agricultura es una parte clave para asegurar que el

alimento tenga una buena calidad, que el trabajo deje ganancias y que se cuide el medioambiente, especialmente en países como Ecuador, donde la agricultura es muy importante para la economía del campo.

Sin embargo, los trabajos hechos a mano que se hacen casi siempre en estas comunidades causan varios problemas que afectan la calidad y el buen precio de los productos. Tocar y mover frutas y vegetales a mano, aunque es lo tradicional, suele causar golpes, cortes o contaminación, y también una presentación irregular. Esto baja el valor extra del producto y hace difícil vender en mercados oficiales o para exportar [2].

Estudios en lugares parecidos, como en Nigeria [2], muestran que un mal manejo después de la cosecha puede hacer que se pierda hasta un 30% de lo que se produce, lo que afecta directamente el ingreso y la vida de los pequeños agricultores. Además, Adams en su estudio de inserción de tecnologías a comunidades agrícolas [3] señala que muchos están dispuestos a usar tecnologías baratas y útiles si ven que realmente les ayudan a ganar más dinero.

Esto refuerza la necesidad de crear tecnologías accesibles que funcionen bien en el campo. El no empacar todo de la misma manera también genera comida que se pierde, lo que no solo daña la economía del pueblo, sino que también afecta la disponibilidad de alimentos y el cuidado del ambiente. Por eso, usar tecnología en los trabajos después de cosechar, especialmente al empacar, se vuelve una prioridad para ayudar

1.5.2 Diseño de maquinaria para comunidades rurales

Cuando se diseña maquinaria para zonas rurales, es importante que sea barata, fácil de usar y que se pueda ajustar a las necesidades del lugar para que realmente funcione y la gente la use. En varios estudios se destacan algunos puntos importantes:

Precio accesible: Las máquinas industriales suelen ser caras, lo que es un problema para los pequeños agricultores. Varani [4] habla de lo importante que es crear opciones que hagan bien su trabajo, pero sin que cuesten tanto, usando materiales y piezas más económicas sin

perder calidad.

Diseño pensando en quien la va a usar: La máquina debe ser fácil de entender y usar, sobre todo si los agricultores no tienen mucha experiencia técnica. Tiewtoy y Moocharoen [5] dicen que es clave hacerlas simples, que no sea difícil aprender a manejarlas y que arreglarlas no sea un problema.

El diseño del prototipo que se propone aquí sigue esas ideas. Usa piezas modulares y de bajo costo, como bandas transportadoras y controladores programables, para que sea posible usarlo en el campo sin complicaciones.

1.5.3 Banda transportadora modular con tacos verticales

Esta banda mueve los productos de forma continua y ordenada, desde que se lavan hasta que se cuentan. Los tacos verticales ayudan a separar los productos y evitan que se resbalen, sobre todo en superficies inclinadas o húmedas, lo que es muy importante para que todo siga su camino sin problemas [7]. Además, que la banda sea modular hace que sea fácil de armar, limpiar y mantener, cumpliendo con las reglas para mantener la limpieza en alimentos.

Figura 3

Ejemplo de banda transportadora modular con tacos verticales para alimentos



Nota: Tomado de BayRich [8]

1.5.4 Sensor fotoelectrico

Estos sensores detectan el paso de los productos sin tocarlos, evitando que se contaminen y permitiendo contar con mucha precisión. Son muy versátiles para detectar frutas y vegetales, y responden rápido, por lo que son ideales para procesos en movimiento [9]. Funcionan en diferentes formas de detectar, como barreras o reflejando la luz, y se ajustan bien a las condiciones del prototipo.

Figura 4

Sensor fotoeléctrico XUK1ARCNL2 utilizado en líneas de detección sin contacto



Nota: Tomado de Automaq Perú [10].

1.5.5 Controlador lógico programable (LOGO8 Siemens)

El LOGO! 8 de Siemens es un controlador lógico programable (PLC) compacto diseñado para aplicaciones de automatización en pequeña escala. Representa una evolución de las generaciones anteriores de LOGO, incorporando mejoras en capacidad de procesamiento, comunicación y facilidad de programación. Este dispositivo se emplea principalmente en procesos industriales y domésticos que requieren control secuencial, temporización, conteo y gestión de señales digitales o analógicas. [11]

Entre sus características técnicas más relevantes se encuentra su interfaz Ethernet integrada, que permite la comunicación con otros dispositivos y la programación mediante el software LOGO Soft Comfort. Además, dispone de una pantalla integrada para la supervisión

local de variables y la interacción con el usuario. El LOGO 8 soporta la integración con redes de automatización industriales y posibilita la conexión remota a través de aplicaciones móviles o interfaces web, lo que lo convierte en una herramienta versátil para la supervisión y el control a distancia. [11]

Figura 5

Controlador lógico programable LOGO! 8



Nota: Tomado de la página oficial de Siemens [12]

1.5.6 Normas y reglas aplicables

El diseño del prototipo sigue reglas internacionales para cuidar a quien lo usa, mantener limpio el producto y que todas las piezas trabajen bien juntas:

Seguridad de la maquinaria (ISO 12100): Esta norma da reglas para revisar y evitar peligros en el diseño de máquinas. El prototipo incluye cosas como un botón de paro de emergencia y un diseño cómodo para reducir riesgos al usarlo [13].

Limpieza y seguridad alimentaria (ISO 22000:2018): Se emplean materiales como metal resistente que no se oxida para la cubeta para limpieza y material plástico transparente para el área donde se llevan los productos, para que no se manchen ni se dañen. Todo el procedimiento busca que los alimentos queden frescos y bien conservados, especialmente los vegetales y frutas [14].

Compatibilidad e interconexión (ISO 11783): Esta norma asegura que los componentes electrónicos, como el controlador y los sensores, se comuniquen bien y funcionen sin problemas. Usar piezas baratas y que se entiendan bien entre sí hace que el sistema sea accesible y estable [15].

1.5.7 Bases teóricas de la producción de Santa Lucía

Santa Lucía es parte de la cuenca agrícola del Litoral ecuatoriano. Sus suelos fértiles permiten una fuerte producción de:

Cultivos más importantes:

- Arroz (principal producto)
- Maíz
- Caña de azúcar
- Frutas tropicales: mango, guayaba, verde, yuca, naranja, mandarina, choclo, arroz, haba, papaya [17]
- Hortalizas y legumbres (en menor proporción)

El arroz ocupa grandes extensiones y es uno de los motores de empleo local, tanto en siembra como en cosecha y secado. En el cantón Santa Lucía (Guayas), se cultivan hortalizas y legumbres en diversas parcelas y huertos familiares, tanto para autoconsumo como para abastecer mercados locales.

Hortalizas comunes en Santa Lucía:

- Tomate de riñón y tomate de árbol
- Brócoli y coliflor
- Lechuga, rábano, remolacha, zanahoria blanca, nabo, acelga, espinaca y apio
- Fresas, babaco, uvilla y granadilla se cultivan en huertos locales, aunque su destino es más bien frutícola.

Legumbres cultivadas:

- Frejol común y haba
- Arveja (guisante)

Tabla 1

Rendimiento promedio por hectárea de cultivos en Guayas (MAG, 2018)

Cultivo	Rendimiento (t/ha)
Lechuga	8.2
Brócoli	14.8
Col/Coliflor	8.3
Tomate riñón	22.1
Tomate de árbol	2.3
Fréjol seco	0.49
Haba seca	0.47
Arveja tierna	0.97

Nota. Datos tomados del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2018).

Tabla 2

Producción estimada por hectárea en distintos periodos

Cultivo	Anual (t)	Día (kg)	Semana (kg)	Mes (kg)
Tomate riñón	22.1	60.5	424	1846
Tomate de árbol	2.3	6.3	44	192
Fréjol seco	0.49	1.3	9.5	54
Haba seca	0.47	1.3	9.3	51
Arveja tierna	0.97	2.7	19	81

Nota. Cálculos basados en un año de 365 días.

Tabla 3

Dimensiones promedio de siembra por cultivo

Cultivo	Espacio entre plantas (cm)	Entre surcos (cm)	Plantas por m² aprox.
Tomate riñón	40–60	70–100	1.5–2.5
Remolacha	10–15	25	25–30
Frejol común	15–20	40–60	10–15
Haba	25–30	50–70	5–8
Arveja	10–15	30–50	13–25

Nota. Estimaciones basadas en guías agronómicas locales.

Tabla 4

Clasificación por porte del fruto o parte comestible por cultivo

Cultivo	Parte comestible	Tamaño (cm)	Peso aprox.	Porte
Tomate riñón	Fruto	6–7	150–200 g	Mediano a grande
Tomate de árbol	Fruto ovalado	4–6 × 3–5	80–150 g	Mediano
Rábano	Raíz	2–5	30–100 g	Pequeño
Remolacha	Raíz	5–8	200–400 g	Mediano
Frejol común	Vaina/grano seco	10–15	3–5 g/grano	Pequeño
Haba	Grano grande	15–25	10–15 g/grano	Mediano a grande
Arveja	Grano pequeño	5–8	1–2 g/grano	Pequeño

Nota. Información referencial basada en datos del MAG y productores locales.

1.5.8 Régimen laminar y turbulento

En el estudio del flujo de fluidos, se distinguen principalmente dos tipos de régimen: laminar y turbulento. Esta clasificación depende del número de Reynolds (Re), el cual relaciona las fuerzas inerciales con las viscosas del fluido [22]:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1.1)$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido (kg/m^3)
- V : Velocidad del fluido (m/s)
- D : Diámetro hidráulico o del conducto (m)
- μ : Viscosidad dinámica del fluido ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

Se considera un flujo laminar cuando $Re > 2000$. En este régimen, las partículas del fluido se mueven en trayectorias paralelas, con un desplazamiento suave y ordenado, lo que minimiza la mezcla entre capas [22]. Un flujo se clasifica como turbulento cuando $Re < 4000$. Este régimen se caracteriza por movimientos caóticos, vórtices, fluctuaciones de presión y mezcla intensa entre capas del fluido. Entre 2000 y 4000 se encuentra el régimen de transición, donde el flujo puede alternar entre comportamiento laminar y turbulento [23].

El tipo de régimen es fundamental para el diseño y análisis de sistemas de transporte de fluidos, como tuberías, canales o sistemas de bombeo. En contextos rurales o agrícolas como el transporte de agua para riego o la manipulación de productos líquidos durante el procesamiento, conocer el régimen del flujo permite estimar con mayor precisión la pérdida de carga, la eficiencia del sistema y las condiciones de operación más seguras y eficientes.

1.5.9 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la elevación, la velocidad y la presión, y es válida en regímenes de flujo estacionario e incompresible donde se desprecia el efecto de las fuerzas de fricción netas. A pesar de su simplicidad, la ecuación sirve como una herramienta fundamental en el análisis de la mecánica de fluidos [24].

La forma general de la ecuación de Bernoulli extendida con términos de aporte energético por bombas y pérdidas por fricción se expresa como:

$$\left[\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \right] + h_{\text{bomba}} - h_{\text{fricción}} = \left[\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \right] \quad (1.2)$$

Donde:

- P: Presión (Pa)
- γ : Peso específico del fluido (N/m³)
- v: Velocidad del fluido (m/s)
- g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)
- Z: Altura (m)
- h_{bomba} : Altura aportada por una bomba (m)
- $h_{\text{fricción}}$: Pérdida de carga por fricción (m)

La deducción de esta ecuación parte de la suposición de que “los efectos viscosos son insignificantes comparados con los efectos de gravedad, presión e inercia”, lo cual permite su aplicación como una herramienta simplificada para el análisis energético en flujos reales.

En aplicaciones prácticas rurales, como sistemas de distribución de agua en comunidades agrícolas o riego por gravedad y bombeo, esta ecuación permite evaluar y dimensionar adecuadamente los elementos del sistema hidráulico

Capítulo 2

2.1 Alternativas de solución del prototipo

El prototipo de planta envasadora de vegetales y/o constó de tres etapas principales:

La primera etapa correspondió al proceso de lavado de los vegetales y/o frutas. En cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria, se decidió construir esta sección en acero inoxidable, garantizando así la inocuidad del proceso. Esta etapa incluyó una tina de lavado, de la cual los vegetales y/o frutas fueron extraídos mediante una banda transportadora inclinada. Dicha banda fue del tipo con tacos modulares, lo que facilitó el transporte y mantenimiento del sistema.

La segunda etapa estuvo destinada al transporte ordenado de vegetales y/o frutas hacia la sección final. Para lograr una configuración eficiente, se realizaron varios diseños hasta encontrar la disposición más adecuada que garantizara fluidez y alineación del producto a lo largo del trayecto.

Finalmente, la tercera etapa se encargó del sellado y conteo de los vegetales y/o frutas. Una vez que el producto fue transportado ordenadamente desde la etapa anterior, se empleó un sensor infrarrojo para llevar a cabo el conteo automático. El conteo fue gestionado mediante un controlador LOGO, el cual, al alcanzar la cantidad deseada realiza el sellado de las frutas y verduras ya contabilizadas.

2.2 Diseño conceptual

El diseño conceptual del prototipo de planta envasadora de vegetales y/o frutas se estructuró considerando tres etapas fundamentales que permitieron el desarrollo ordenado y eficiente del proceso. La primera etapa correspondió al lavado de los vegetales y/o frutas, implementando una tina en acero inoxidable y una banda transportadora inclinada con tacos modulares para garantizar la inocuidad y el manejo seguro del producto. La segunda etapa estuvo destinada al transporte alineado y continuo de frutas y vegetales hasta la sección de envasado, para lo cual se evaluaron diversas configuraciones hasta seleccionar la más adecuada

en términos de fluidez y organización. Finalmente, la tercera etapa integró el conteo y el sellado automático del producto, empleando un sensor infrarrojo y un controlador LOGO! para gestionar el cierre y la liberación del flujo, asegurando precisión en la cantidad envasada y cumplimiento de las normas de calidad.

2.3 Etapa de lavado

Para el proceso de lavado se diseñó una tina de acero inoxidable, en cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria, con el fin de garantizar la inocuidad del producto. Esta tina contó con un sistema de ingreso de agua mediante una bomba, la cual permitió el llenado y recirculación del líquido para realizar el lavado continuo de los vegetales y/o frutas.

En el interior de la tina se integró una banda transportadora inclinada con tacos modulares, cuya función fue extraer los productos lavados y trasladarlos hacia la siguiente etapa del proceso. Esta configuración facilitó el ascenso de los vegetales y/o frutas, incluso en condiciones de superficie húmeda, y permitió un mantenimiento sencillo gracias al diseño modular de la banda.

La operación de la etapa de lavado contempló tres funciones principales:

1. Suministro de agua de lavado mediante una bomba controlada eléctricamente.
2. Inmersión y agitación de los productos en la tina para remover suciedad superficial.
3. Extracción continua de los productos mediante la banda transportadora inclinada.

Para esta etapa se tomo como referencia varios equipos comerciales en el mercado

Lavadora por inmersión

La empresa Hidacam Ingenieros S. A. S., presenta en su línea de proyectos para alimentos, la lavadora por inmersión, máquina diseñada para lavado industrial de frutas, fábrica en acero inoxidable AISI 304, con sistema de recirculación y aspersión.

Figura 6

Máquina lavadora por inmersión



Nota: Tomada de Hidacam ingenieros S. A. S. [25]

Lavadora de vegetales 10064

La empresa distribuidora Imarca ofrece a sus clientes la máquina lavadora de vegetales 10064, utilizada para tratamiento y desinfección del agua limpia. Con sistema de filtrado de agua con filtro activo de carbón. Peso de la máquina 250 kg, con capacidad de producción de 800 kg/h.

Figura 7

Lavadora de vegetales 10064



Nota: Tomada de Distribuidora Imarca C. A. [26]

2.3.1 Estructura ideal de la tina de lavado

Este diseño correspondió a la estructura conceptual definida como base para la construcción de la tina de lavado. Tal como se observa en la representación, la estructura consistió en una tina fabricada completamente en acero inoxidable, material seleccionado por su resistencia a la corrosión y cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria.

La tina incluyó una banda transportadora inclinada encargada de extraer los productos desde el interior, una vez lavados, hacia la siguiente etapa del proceso. Esta banda fue diseñada con tacos modulares para garantizar un transporte eficiente incluso en condiciones húmedas, y fue impulsada mediante un motor eléctrico cuya potencia sería calculada posteriormente.

El proceso de lavado se realizó mediante el uso de una bomba de agua, encargada de suministrar el caudal necesario para mantener el nivel y presión del líquido durante la operación. Tanto la banda como la bomba formaron parte integral de esta estructura, permitiendo la automatización del proceso y reduciendo la intervención manual.

Figura 8

Vista isométrica del diseño de la etapa de lavado del prototipo



2.3.2 Dimensionamiento del motor para la banda transportadora

Se dimensionó el motor de la banda transportadora considerando las siguientes condiciones de operación:

- Inclinación de la banda: 35°
- Peso máximo transportado: $m = 6 \text{ kg}$
- Velocidad lineal de la banda: $v = 0.1 \text{ m/s}$
- Coeficiente de fricción global: $\mu = 0.03$
- Altura de la tina: 40cm

La longitud efectiva recorrida sobre la banda se obtuvo como:

$$l = \frac{40}{\sin 35} = 70\text{cm}$$

Se calculó el peso y sus componentes sobre el plano inclinado:

$$P = 6.0\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 58.86\text{N}$$

$$P_x = P * \sin 35 = 33.761\text{N}$$

$$P_y = P * \cos 35 = 48.215\text{N}$$

La normal y la fuerza de fricción fueron:

$$N = P_y$$

$$F_r = \mu * N = 0.03 * 48.215\text{N} = 1.446\text{N}$$

Del equilibrio dinámico a lo largo del plano se obtuvo la fuerza requerida de arrastre:

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_r - P_x = 0$$

$$F = F_r + P_x$$

$$F = 35.207\text{N}$$

El trabajo para trasladar la carga a lo largo de la banda fue:

$$\text{Trabajo } (W = F * d) \quad (3)$$

$$W = 35.207\text{N} * 0.7\text{m} = 24.645\text{J}$$

El tiempo de recorrido resultó:

$$t = \frac{l}{v} = \frac{0.7}{0.1} = 7\text{seg}$$

La potencia mecánica requerida se determinó como:

$$\text{Potencia } (P = \frac{W}{t})$$

$$P = \frac{24.645\text{J}}{7\text{s}} = 3.5207\text{W}$$

Finalmente, considerando una eficiencia del sistema del 80%, la potencia real demandada fue:

Eficiencia 80%

$$P_{\text{real}} = \frac{3.5207\text{W}}{0.8} = 4.4\text{W}$$

Con este valor se procedió posteriormente a la selección del motor comercial, incorporando el margen de seguridad correspondiente.

2.3.3 Dimensionamiento del motor para la banda transportadora

Se utilizó el principio de Torricelli para estimar la velocidad de descarga de agua desde un tanque elevado hacia el sistema de lavado. La expresión empleada fue:

Principio de Torricelli

$$V_s = \sqrt{2 * g * h}$$

v: velocidad de descarga (m/s)

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

h: altura de fluido (m)

$$V_s = \sqrt{2 * 9.81 * 0.3} = 2.426 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se consideró un tubo de descarga de 2'' (D = 0.0508 m), con lo cual el caudal fue:

$$Q = V * A$$

$$Q = 2.426 * \frac{\pi}{4} * 0.0508^2 = 4.9171 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 4.9171 \frac{l}{s}$$

Peso específico

La densidad del agua a 25°C fue tomada como 997 kg/m³ Revisar Anexo A.

Propiedades del agua a 25°C, resultando el peso específico:

$$\gamma = 997 \frac{kg}{m^3}$$

$$p = \gamma * g$$

$$p = 997 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 9780.57 \frac{N}{m^3}$$

La viscosidad dinámica fue

$$\nu = \frac{\mu}{p}$$

Tenemos a 25 °C:

$$\mu = 0.891 * 10^{-3} \text{ Revisar Anexo A. Propiedades del agua a 25°C}$$

$$\nu = \frac{0.891 * 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}{997 \frac{kg}{m^3}} = 0.8937 * 10^{-6} \frac{m^2}{s} = 0.8937 \text{ centistoke}$$

Pérdidas en la línea de succión

Se analizaron las pérdidas en una tubería de succión considerando los siguientes datos de diseño:

$$\text{Longitud de succion (Ls)} = 0.5m$$

$$\text{Diametro de succion (Ds)} = 0.0508m$$

$$\text{Velocidad de succion (Vs)} = 2.426 \frac{m}{s}$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{Vs * Ds}{\nu}$$

$$Re = \frac{2.426 * 0.0508}{0.8937 * 10^{-6}}$$

$$Re = 137899.52$$

$Re \geq 4000$ entonces se presenta flujo turbulento

Perdidas lineales según Darcy Weisbach

$$h_{is} = f * \frac{l}{D} \left(\frac{Vs^2}{2 * g} \right)$$

Coefficiente de fricción

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

f: Coeficiente de fricción

Di: Diámetro de la tubería

e: Rugosidad absoluta Revisar Anexo B. Rugosidad relativa

Re: Numero de Reynolds

Usaremos $e = 0.0015\text{mm}$

Aplicando la fórmula de Darcy–Weisbach:

Despejando tenemos

$$f = \left(\frac{1}{4} \right) * \left(\frac{1}{\log \left(\frac{\frac{0.0015}{50.8}}{3.7} + \frac{2.51}{137899.52 * \sqrt{f}} \right)} \right)^2$$

Resolviendo por método de iteraciones tenemos

$$f = 0.0170$$

Resolviendo

$$h_{is} = f * \frac{l}{D} \left(\frac{V_s^2}{2 * g} \right)$$

$$h_{is} = 0.0170 * \frac{0.5}{0.0508} \left(\frac{2.426^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$h_{is} = 0.0502\text{m}$$

Pérdidas en la línea de descarga

Se analizaron las pérdidas en una tubería de descarga considerando los siguientes datos de diseño:

$$\text{Longitud de succión (Ld)} = 2\text{m}$$

$$\text{Diametro de succión (Dd)} = 0.0254\text{m}$$

$$\text{Velocidad de succión (Vd)} = 1.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Numero de Reynolds

$$\text{Red} = \frac{V_d * D_d}{\nu}$$

$$\text{Red} = \frac{1.92 * 0.0254}{0.8937 * 10^{-6}}$$

$$\text{Red} = 54568.647$$

$\text{Red} \geq 4000$ entonces se presenta flujo turbulento

Pérdidas lineales según Darcy Weisbach

$$h_{id} = f * \frac{l}{D} \left(\frac{V_s^2}{2 * g} \right)$$

Coefficiente de fricción

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} * \sqrt{f}} \right)$$

f: Coeficiente de fricción

Di: Diámetro de la tubería

e: Rugosidad absoluta Revisar Anexo B. Rugosidad relativa

Re: Numero de Reynolds

Usaremos $e = 0.0015\text{mm}$

Aplicando la fórmula de Darcy-Weisbach:

Despejando tenemos

$$f = \left(\frac{1}{4}\right) * \left(\frac{1}{\frac{0.0015}{25.4} + \frac{2.51}{54568.647 * \sqrt{f}}}\right)^2$$

Resolviendo por método de iteraciones tenemos

$$f = 0.0170$$

$$f = 0.0207$$

Resolviendo

$$h_{id} = f * \frac{1}{D} \left(\frac{V_s^2}{2 * g}\right)$$

$$h_{id} = 0.020 * \frac{2}{0.0254} \left(\frac{1.92^2}{2 * 9.81}\right)$$

$$h_{id} = 0.2959\text{m}$$

Pérdidas por fricción en el sistema

$$h_f = h_{is} + h_{id} + h_{ss} + h_{dd}$$

$$h_f = 0.0502 + 0.2959 + 7$$

$$h_f = 7.3460\text{m}$$

Altura de bombeo mediante la ecuación de Bernoulli

$$\left[\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1\right] + h_{\text{bomba}} - h_{\text{friccion}} = \left[\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 * g} + Z_2\right]$$

$$h_{\text{bomba}} = - \left[\frac{P1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} + Z1 \right] + h_{\text{fricción}} + \left[\frac{P2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + Z2 \right]$$

$$h_{\text{bomba}} = 7.594\text{m}$$

Potencia requerida

Finalmente, la potencia teórica se determinó como:

$$P_b = \frac{Q * \rho * g * h_b}{746 * e}$$

e: Eficiencia (70%)

$$P_b = \frac{4.9171 * 10^{-3} * 997 * 9.81 * 7.594}{746 * 0.7}$$

$$P_b = 0.5\text{hp}$$

Se seleccionó una bomba de 0.5 HP para asegurar el funcionamiento adecuado bajo condiciones reales de operación y garantizar margen de seguridad.

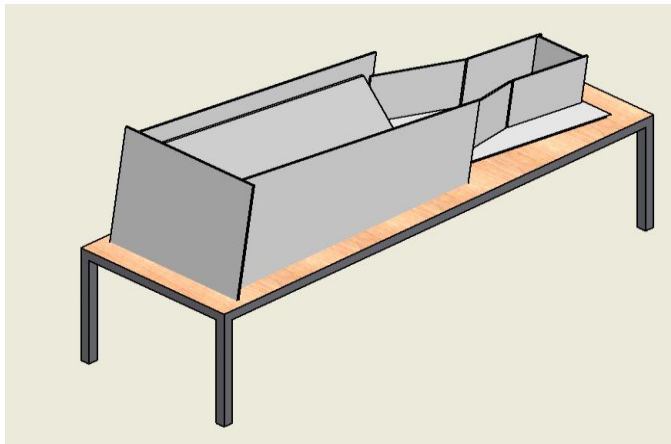
2.4 Etapa de transporte

La etapa de transporte fue diseñada con el objetivo de trasladar los productos inmediatamente después del proceso de lavado hacia la zona de sellado, garantizando un flujo continuo y ordenado. El diseño, se fabricó en acrílico, material seleccionado por su resistencia mecánica, ligereza y facilidad de limpieza, lo que resultó apropiado para el manejo de frutas y vegetales.

La geometría de la estructura permitió guiar de manera eficiente los productos, evitando atascos y minimizando daños por golpes. Su configuración también facilitó la integración con la banda transportadora y los sistemas de conteo, para optimizar el proceso de empaque.

Figura 9

Vista isométrica de la etapa de transporte post-lavado



2.5 Etapa de sellado

La etapa de sellado constituyó la fase final del prototipo, en la cual se aseguró el cierre hermético de las fundas que contenían frutas y vegetales previamente lavados y transportados. Este proceso se diseñó con el objetivo de garantizar la conservación del producto, mantener su inocuidad y cumplir con los estándares de empaque requeridos en la industria alimentaria. Para la operación de esta etapa se integraron los siguientes elementos principales:

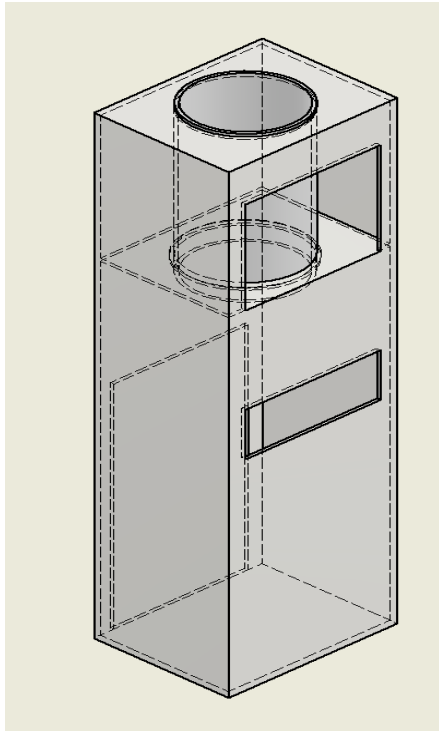
Sensor infrarrojo: empleado para detectar el paso de los productos y efectuar el conteo automático de cada unidad.

Controlador LOGO!: encargado de gestionar la señal proveniente del sensor. Una vez alcanzada la cantidad programada, el PLC activó un actuador que bloqueó temporalmente el flujo de productos deteniendo la banda transportadora, permitiendo realizar el sellado.

Sistema de sellado térmico: compuesto por hilo de nicrom que aplicara calor sobre la funda plástica, logrando el cierre hermético mediante la fusión del material

Figura 10

Vista isométrica de la etapa de sellado del prototipo



2.5.1 Dimensionamiento del elemento calefactor

Se dimensionó el sellado por impulso apuntando a una densidad de potencia práctica de 2-4 W/cm; se adoptó 3 W/cm para fundas de PP de espesor fino

$$P = 12\text{cm} \times \frac{3\text{W}}{\text{cm}} = 36\text{W}$$

Con una alimentación de 12 VDC, la resistencia objetivo del tramo activo se obtuvo como:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{12^2}{36} = 4\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{4} = 3\text{A}$$

Se seleccionó hilo NiCr 80/20 calibre 32 AWG, con resistencia típica de 33.4 Ω/m .

La longitud activa requerida para 12 cm resultó:

$$R = 33.4 \frac{\Omega}{\text{m}} \times 0.12\text{m} = 4\Omega$$

Por lo tanto, se utilizó un tramo activo de $L_a = 12 \text{ cm}$ de 32 AWG. La densidad lineal de potencia fue:

$$\frac{P}{L_a} = \frac{36W}{0.12m} = 300W/m$$

2.6 Diseño eléctrico del sistema

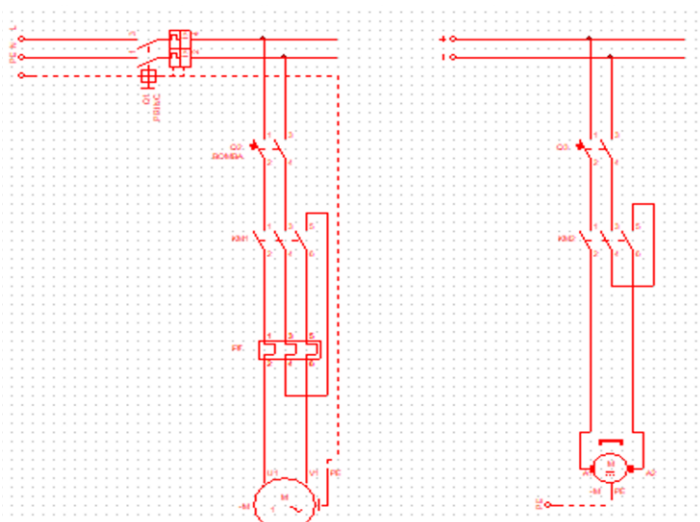
El diseño eléctrico del prototipo contempla tres subsistemas principales: el circuito de fuerza para la bomba, el circuito de fuerza para el motor de la banda transportadora y el circuito de control basado en un PLC LOGO! con programación en lenguaje Ladder.

El circuito de fuerza para la bomba está diseñado para alimentar el motor encargado de impulsar el agua durante la etapa de lavado. Incluye protecciones como un disyuntor termomagnético y un contactor, garantizando un arranque seguro y la desconexión rápida en caso de sobrecarga o falla.

El circuito de fuerza para el motor alimenta el sistema de transporte de frutas y verduras posterior al lavado. Al igual que en el caso de la bomba, cuenta con su propio contactor y protección termomagnética, dimensionados de acuerdo con la potencia y tensión nominal del motor

Figura 11

Circuito de fuerza para el motor y bomba



El circuito de control se implementa mediante un PLC LOGO! que gestiona el encendido, apagado y secuencia de operación de la bomba y el motor de transporte. La lógica de control está programada en lenguaje Ladder, permitiendo una operación automática del proceso de lavado y transporte. Los pulsadores, indicadores luminosos y relevadores de salida están debidamente identificados para facilitar el mantenimiento.

Figura 12

Circuito de control con PLC LOGO!

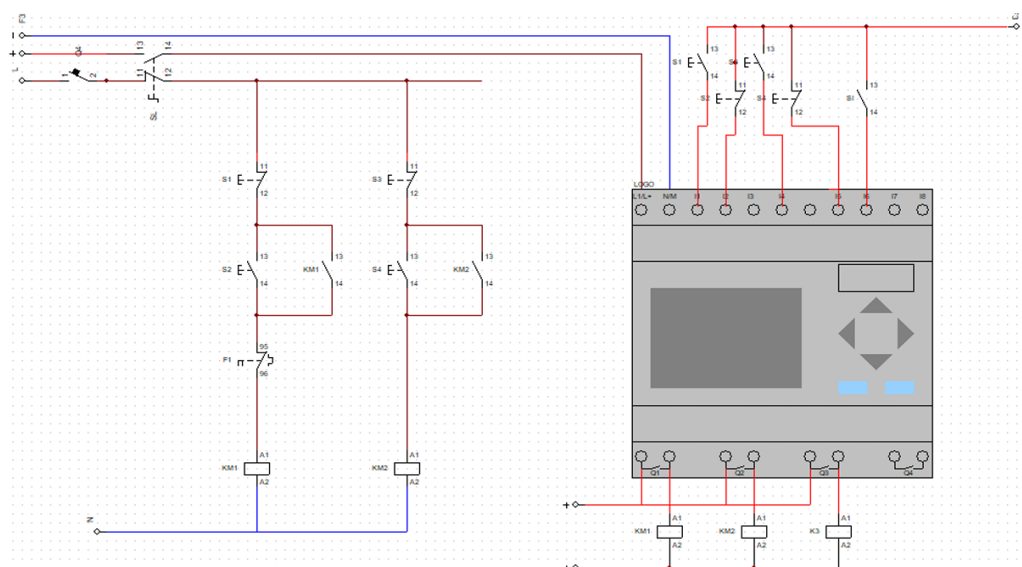
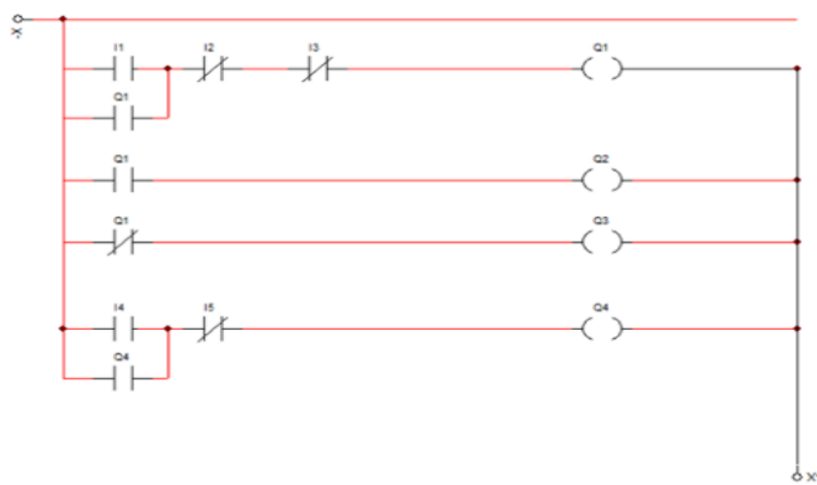


Figura 13

Programación en Ladder



Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

El prototipo desarrollado se diseñó como un sistema integrado de lavado, transporte y empaquetado, utilizando componentes de bajo costo y sistemas de control embebido para abordar la necesidad de una línea de procesamiento de baja capacidad, logrando un rendimiento que cumple con los objetivos iniciales del proyecto. A continuación, se detallan los resultados clave.

3.2 Sistema de lavado

El sistema de lavado, conformado por una tina de inmersión, demostró ser eficaz para la limpieza inicial de los vegetales y frutas. Su capacidad de inmersión constituyó un factor crítico para mantener el flujo de producción en sincronía con las siguientes etapas del proceso.

Capacidad de la tina. Se verificó que la tina albergó aproximadamente 75 vegetales y/o frutas (aproximadamente 10cm de diámetro) por lote. Esta capacidad permitió realizar la limpieza por inmersión de un volumen controlado de productos a la vez, manteniendo un flujo de trabajo continuo y ordenado hacia la etapa de empaque.

Tiempo de procesamiento. El tiempo de lavado por lote fue de 1 minuto, valor que se alineó con la velocidad de empaque, garantizando así la sincronización del sistema completo.

Eficiencia. El lavado por inmersión fue suficiente para remover la suciedad superficial de los productos, dejándolos en condiciones adecuadas para su transporte y posterior sellado.

3.3 Sistema de transporte

El conveyor actuó como el enlace entre la etapa de lavado y la sección de empaque, asegurando un movimiento continuo y ordenado de los productos. Este elemento permite

trasladar los vegetales y/o frutas desde la tina de lavado hasta la etapa de transporte previo al área de sellado.

Coordinación. La cinta transportadora se ajustó para garantizar la sincronización entre la salida de la tina de lavado y el ingreso al área de empaque, evitando acumulación o atascos de productos durante el trayecto.

Material y diseño. La cinta fue fabricada en PET-G mediante impresión 3D, material que no cuenta con certificación para contacto directo con alimentos. Esta decisión se adoptó con fines de prototipo, permitiendo reducir costos y tiempos de construcción inicial. Sin embargo, se recomienda reemplazar el material en futuras versiones por polímeros aprobados para uso alimentario (ej. poliuretano grado alimenticio), a fin de garantizar el cumplimiento de las normas de inocuidad. El marco metálico inoxidable proporcionó resistencia mecánica y estabilidad al sistema

Velocidad de transporte. La banda se configuró a una velocidad lineal de:

$$v = 0.1\text{m/s}$$

considerando una longitud efectiva de transporte de 0.7 m. El tiempo de transporte por producto fue:

$$t = \frac{l}{v} = \frac{0.7}{0.1} = 7\text{seg}$$

Si cada producto (vegetal/fruta) ocupa en promedio un área proyectada de,

$$10\text{cm} \times 10\text{cm} = 100\text{cm}^2$$

Y sabiendo que el área efectiva de transporte de la banda es de

$$70\text{cm} \times 20\text{cm} = 1400\text{cm}^2$$

entonces la banda puede transportar en un mismo ciclo:

$$N = \frac{A}{A_p} = \frac{1400}{100} = 14 \text{ productos}$$

Por tanto, la capacidad de transporte en flujo continuo es:

$$\frac{14}{7} = 2 \text{ productos/s}$$

$$Q = 2 \times 3600 = 6400 \text{ productos/hora}$$

3.4 Sistema de empaquetado

El sistema de empaquetado constituyó la etapa final del prototipo y fue el que definió la capacidad productiva total de la línea.

Rendimiento. La máquina empacadora alcanzó un promedio de 6 bolsas por minuto, manteniendo un ciclo estable durante las pruebas realizadas.

Contenido por bolsa. En cada bolsa se colocaron cuatro vegetales y/o frutas, lo que aseguró uniformidad en la presentación del producto y un empaque visualmente homogéneo.

Producción general.

Con una capacidad de 4 frutas o vegetales por funda y un tiempo de sellado comprobado experimentalmente de 2 segundos, además se debe considerar el tiempo de transporte de las frutas hacia el sistema de sellado y la respuesta del sensor al detectar las 4 frutas, lo cual añade 6 segundos.

En consecuencia, el tiempo total de procesamiento por funda es de 8 segundos.

Dado que un lote está compuesto por 70 frutas o vegetales. Considerando el tiempo de procesamiento, la producción es de 3,5 minutos por lote, lo que permite obtener 17 lotes por hora.

Esto representa un total de 1.190 frutas por hora, equivalentes a 297 fundas por hora.

A continuación, se presenta una tabla resumen detallando la producción.

1 lote	70 frutas o vegetales
Tiempo de sellado por funda	8 segundos
Tiempo de sellado de un lote	3.5 minutos
Se incluye el tiempo de lavado de un lote que equivale a 1 minuto	
1 hora	17 lotes
1 hora	1190 frutas o vegetales
1 hora	297 fundas

3.5 Tabla de costos

3.5.1 Materiales Eléctricos

Tabla 7

Lista de materiales eléctricos usados en la construcción del prototipo

Ítem	Código / Referencia	Fabricante	Descripción del Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	BOM-PKM60-0.5HP-110V	Pedrollo	Bomba centrífuga periférica PKm60 0.5HP 110V, caudal máx. 40 L/min, altura máx. 40 m, bocas 1"	und	1	\$ 56.52	\$ 56.52
2	JGB37-555-56RPM	Megatrónica	Motor reductor DC 12 V/24 V, alto torque 7 kg·cm, engranajes metálicos, velocidad 56 RPM, eje tipo D, CW/CCW	und	1	\$ 26.00	\$ 26.00
3	NC1-09-10 110V AC	Chint	Contactador trifásico 3P 9 A, categoría AC-3, bobina 110 V CA, potencia nominal 2,2 kW a 220 V / 4 kW a 380 V, con 1 contacto auxiliar NA	und	2	\$ 26.37	\$ 52.74
4	NR2-25 7,0–10 ^a	Chint	Relé térmico 3 polos, rango ajustable 7,0–10 A, compatible con contactor NC1-09, protección clase 10A	und	1	\$ 13.42	\$ 13.42
5	EZ9F56220	Schneider Electric	Interruptor termomagnético 2 polos, 20 A, curva C, poder de corte 6 kA, tensión nominal 230/400 V AC, montaje en carril DIN	und	1	\$ 9.57	\$ 9.57
6	EZ9F56216	Schneider Electric	Interruptor termomagnético 2 polos, 16 A, curva C, poder de corte 6 kA tensión nominal 220/400 V AC, montaje en carril DIN	und	4	\$ 8.15	\$ 32.60
7	A9N15636	Schneider Electric	Seccionador portafusible Acti9 STI, 1 polo, corriente nominal hasta 25 A, para fusible 10.3 x 38 mm tipo AM/GG, tensión nominal 500 V AC, montaje en carril DIN	und	1	\$ 14.95	\$ 14.95

8	DF2CA06	Schneider Electric	Cartucho fusible cilíndrico 10 x 38 mm, tipo AM, corriente nominal 6 A, tensión nominal 500 V AC, curva AM	und	1	\$ 0.38	\$ 0.38
9	60-12 DC24V	EBCHQ	Relé electromagnético, bobina 24VDC, 10A, 8 pines redondos, 2 contactos conmutables (SPDT)	und	4	\$ 1.50	\$ 6.00
10	TC-085 ^a	CAMSCO	Base para relés de 8 pines, tipo redondo, 10 A, montaje en panel o carril DIN	und	1	\$ 1.50	\$ 1.50
11	LEGB-37160 (037160)	Legrand	Borne terminal Viking 3, 2.5 mm ² (12 AWG), paso, 20 A, montaje riel DIN 35 mm	und	10	\$ 1.77	\$ 17.70
12	G50-3B5NA		Sensor fotoeléctrico G50, detección 50 cm, salida NPN NO, 90-230VAC	und	1	\$ 23.36	\$ 23.36
13	1606-XLP30E	Allen-Bradley	Fuente de alimentación 24 V DC 5A montaje en riel DIN, carcasa plástica, serie 1606-XLP	und	1	\$ 320.61	\$ 320.61
14	6ED1052-1MD08-0BA1	Siemens	Módulo lógico LOGO, display, alimentación 12/24 V DC, 8 entradas digitales, 4 salidas relé 10 A,	und	1	\$ 165.75	\$ 165.75
15	LKOS-BJ21	CAMSCO	Selector 3 posiciones 22MM 1NA+1NA	und	1	\$ 3.00	\$ 3.00
16	NP2-BA23	Chint	Pulsador Serie NP2 NO, aliment. 110 V AC	und	2	\$ 2.50	\$ 5.00
17	NP2-BA43	Chint	Pulsador Serie NP2 NC, aliment. 110 V AC	und	2	\$ 2.50	\$ 5.00
18	NP2-BS641	Chint	Pulsador tipo seta con bloqueo, desbloqueo por giro	und	1	\$ 3.50	\$ 3.50
19	NP2-EV163	Chint	Indicador LED Piloto aliment. 110 V AC Verde	und	4	\$ 2.00	\$ 8.00
20	NP2-EV164	Chint	Indicador LED Piloto aliment. 110 V AC Rojo	und	4	\$ 2.00	\$ 8.00
21		Incable	Cable de cobre aislado flexible tipo THNN #12 (BLANCO)	m	10	\$ 0.84	\$ 8.40
22		Incable	Cable de cobre aislado flexible tipo THNN #12 (NEGRO)	m	10	\$ 0.84	\$ 8.40

23	Incable	Cable de cobre aislado flexible tipo THNN #18 (NEGRO)	m	40	\$ 0.30	\$ 12.00
24	Incable	Cable de cobre aislado flexible tipo THNN #18 (ROJO)	m	40	\$ 0.30	\$ 12.00
25	EBCHQ	Relé electromagnético, bobina 110VAC, 8A, 8 pines base para riel DIN 35 mm	und	2	\$ 7.12	\$ 14.24
TOTAL						\$ 828.64

3.5.2 Materiales Tuberías y Accesorios

Tabla 8

Lista de materiales de tuberías y accesorios usados en la construcción del prototipo

Ítem	Fabricante	Material / Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	Plastigama	Polipropileno – Bushing	Bushing roscable 1" × ½", uso en agua potable	und	2	\$ 1.15	\$ 2.30
2	Plastigama	Polipropileno – Bushing	Bushing roscable ¾" × 1/2", polipropileno, agua potable	und	2	\$ 0.25	\$ 0.50
3	Plastigama	Polipropileno – Codo	Codo roscable hembra–hembra ½" × 90°	und	8	\$ 0.43	\$ 3.44
4	Plastigama	Polipropileno – Codo	Codo roscable hembra ¾" × 90°	und	2	\$ 0.72	\$ 1.44
5	Plastigama	Polipropileno – Neplo	Neplo corrido con rosca tipo tuerca, ½", para agua potable	und	8	\$ 0.39	\$ 3.12
6	Plastigama	Polipropileno – Neplo	Neplo corrido con rosca tipo tuerca, ¾", para agua potable	und	2	\$ 0.42	\$ 0.84
7	Plastigama	Polipropileno – Tee	Tee roscable ½", polipropileno, roscable	und	6	\$ 0.39	\$ 2.34

8	Helbert	Bronce – Válvula Check	Válvula check horizontal $\frac{3}{4}$ ", bronce fundido, sello metálico, rosca NPT, hasta 150 psi	und	1	\$ 21.33	\$ 21.33
9	FV	Bronce – Válvula Esférica	Válvula esfera extra liviana $\frac{1}{2}$ ", rosca H-H, palanca, bronce, probado a 500 PSI	und	5	\$ 3.85	\$ 19.25
10	FV	Bronce – Válvula Esférica	Válvula esfera extra liviana $\frac{3}{4}$ ", rosca H-H, palanca, bronce, probado a 500 PSI	und	1	\$ 4.43	\$ 4.43
11	Plastigama	PVC – Tubo roscable	Tubo roscable $\frac{1}{2}$ " \times 6 m, 420 PSI, unión NPT	m	2	\$ 1.24	\$ 2.48
12	Plastigama	PVC – Tubo Rosable	Tubo roscable $\frac{3}{4}$ " \times 6 m, 340 PSI, rosca NPT	m	1	\$ 2.01	\$ 2.01
TOTAL							\$ 63.48

3.5.3 Materiales Estructura

Tabla 9

Lista de materiales de la estructura usados en la construcción del prototipo

Ítem	Fabricante	Material / Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	Dipac	Acero Inoxidable – Plancha	Plancha de acero inoxidable 1 mm (esp.), 1220 \times 2440 mm; calidades AISI 201, Acabado 2B	und	1	\$ 140.00	\$140.00
2	Acrilmax	Acrílico – Lámina	Lámina de acrílico blanco 1220 \times 2440 mm, espesor (3 mm)	und	1	\$ 70.47	\$ 70.47
3	Megahierro	Plywood	Plancha plywood 122 \times 244 cm \times 9 mm	und	1	\$ 34.00	\$ 34.00

4		Filamento PETG	Rollo PETG plateado, 340 m (1 kg), para impresora 3D	und	1	\$ 30.00	\$ 30.00
5	Dipac	Acero – Tubo Cuadrado	Tubo estructural cuadrado Area:1,25 cm2, Espesor: 1.5 mm, 6 m. Acabado (Acero negro y galvanizado)	und	3	\$ 10.00	\$ 30.00
6	Dipac	Acero – Tubo Cuadrado	Tubo estructural cuadrado Area:0.99 cm2, Espesor: 1.5 mm, 6 m. Acabado (Acero negro y galvanizado)	und	1	\$ 8.00	\$ 8.00
TOTAL							\$312.47

3.5.4 Mano de obra

Tabla 10

Mano de obra empleada en la construcción del prototipo

Ítem	Actividad / Descripción	Subtotal
1	Corte y Soldado de la Tina en Acero inoxidable	\$ 60.00
2	Corte y Soldado de la estructura para tina de lavado y trayectoria	\$ 40.00
3	Impresión de la Banda transportadora en PETG	\$ 150.00
4	Cortes en acrilico para armado de la trayectoria	\$ 7.00
5	cortes en MDF para armado de la selladora automatica	\$ 8.00
6	Armado del tablero	\$ 200.00
7	Conexionado de tuberias	\$ 20.00
8	Montaje general	\$ 30.00
TOTAL		\$ 515.00

3.5.5 Tabla de costos

Tabla 11

Tabla con los costos por cada área usada en la construcción del prototipo

TIPO	Total	
ELECTRICO	\$	828.64
ESTRUCTURA	\$	312.47
MANO DE OBRA	\$	515.00
TUBERIAS Y ACCESORIOS	\$	63.48
Total general	\$	1,719,59

3.6 Estudios de costos y factibilidad económica

El gasto para la construcción del modelo constituyó un punto clave dentro de la evaluación de viabilidad. La propuesta implementada se presentó como una alternativa económica y eficaz frente a otros equipos disponibles en el mercado para aplicaciones de baja capacidad.

El costo total de elaboración del prototipo ascendió a 1719.59 USD, considerando materiales eléctricos, mecánicos, mano de obra y consumibles. En sitios comerciales se puede encontrar que equipos con prestaciones similares ronda los \$ 6000 y \$ 8000 en sitios como Alibaba o Syntegon [28] [29].

Esta revisión de gastos deja ver la posibilidad de que la propuesta sea rentable. La poca inversión necesaria hace que la tecnología esté al alcance de productores de menor escala y grupos de la comunidad, superando uno de los principales obstáculos para usar tecnología en zonas del campo. El costo total del prototipo fue USD 1719.59, incluyendo materiales eléctricos, estructura, tuberías/accesorios y mano de obra (Tablas 7 a 11) es notablemente inferior a las cotizaciones de referencia de proveedores internacionales. A continuación, se comparan los costos de la solución desarrollada con las opciones de mercado.

Tabla 12

Comparación de costos del prototipo frente a soluciones de mercado

Componente	Costo del prototipo (USD)	Costo de Proveedor de referencia mercado (USD)
Tina de lavado Integrado	\$ 3300	Alibaba – Bubble washer industrial
Banda transportadora Integrado	\$ 300 - \$ 150	Proveedores genéricos de Alibaba (precio por 1 m ²)
Empacadora Integrado	\$ 4,000	Proveedores genéricos de Alibaba
Total del sistema	\$ 7600	

3.6 Comparativa de costos con soluciones del mercado

Se realizó una comparativa de costos con base en la investigación de precios en plataformas como Alibaba, considerando equipos de origen asiático que se ajustan al perfil de baja capacidad.

Tina de lavado. Las opciones comerciales para una lavadora de burbujas de capacidad similar presentaron un precio de referencia de aproximadamente 3,300 USD (modelo de 750–800 kg/h). La construcción propia permitió eliminar este gasto.

Banda transportadora. Una banda transportadora de grado alimenticio se cotizó en un rango de 150 a 300 USD por metro cuadrado. Para una línea completa, este componente puede representar varios miles de dólares, mientras que la integración en el diseño propio redujo significativamente este costo.

Empacadora. Una máquina empacadora de baja velocidad se encontró con un precio referencial de 4,000 USD. La solución desarrollada, con un costo muy inferior, destacó la factibilidad económica del prototipo.

3.7 Factibilidad económica y tecnológica

La solución implementada resultó altamente rentable, con una inversión inicial que representó solo una fracción del costo de equipos equivalentes en el mercado. Esto la hizo accesible para agricultores y emprendedores que requieren maquinaria de bajo costo para apoyar su producción.

En términos tecnológicos, el desarrollo fue posible con los recursos y tecnologías disponibles localmente. Aunque el sistema alcanzó una capacidad reducida, cumplió con las funciones de lavado, transporte y empaque, validando tanto el diseño como el método de construcción empleados.

El costo total de la solución desarrollada ascendió a 1719.59 USD, lo que la posicionó como una alternativa de bajo costo frente a las máquinas disponibles en el

mercado.

De este modo, el prototipo no solo constituye una opción viable en términos de costo, sino que también se presenta como una alternativa escalable y replicable, lo que refuerza su factibilidad económica y tecnológica para su implementación en entornos de pequeña producción.

A este costo de materiales se debe sumar el gasto de diseño e ingeniería, que va de 1,000 USD a 1,500 USD, incluyendo la creación de planos, manual de operación y manual de mantenimiento. Con esto, el costo real del prototipo completo se calcula que está entre 2,469 USD y 2,969 USD, todavía mucho menor que los equipos comerciales disponibles (alrededor de 7,600 USD). Cabe mencionar que el gasto de diseño e ingeniería es un desembolso que solo se hace una vez. Una vez desarrollada la documentación técnica, planos y manuales, el costo de fabricar cada unidad adicional se reduciría únicamente al valor de los materiales y componentes, es decir, cerca de 1719.59 USD por máquina.

Así, el prototipo no solo resulta una buena opción en términos de costo, sino que también se presenta como una alternativa que se puede reproducir y ampliar, lo que demuestra que es rentable y práctico para su uso en pequeñas producciones.

Además, este prototipo constituyó un punto de partida para implementar mejoras posteriores orientadas a la preparación de fruta en operaciones de pequeña escala

3.8 Manual de operación

Este manual tiene como objetivo guiar al usuario en la correcta operación del prototipo. Se describen de manera general sus componentes, el procedimiento de encendido y apagado, así como la secuencia básica de funcionamiento.

Descripción general

El prototipo está diseñado para realizar tres etapas principales:

- **Lavado:** limpieza inicial del producto para retirar impurezas.
- **Transporte:** desplazamiento automático mediante una banda transportadora.
- **Sellado:** cierre del empaque mediante resistencia de nicrom calentada por corriente eléctrica.

Estas etapas funcionan de manera continua e integrada, optimizando el tiempo de trabajo y reduciendo la manipulación manual.

Componentes principales

- Sistema de alimentación eléctrica.
- Banda transportadora.
- Sistema de lavado (boquillas de agua, tuberías).
- Sistema de sellado (resistencia de nicrom).
- Motorreductor y sensores infrarrojo.
- Panel de control (encendido, apagado y ajustes básicos).

Operación

Antes de encender el prototipo, el operador debe asegurarse de que se cumplen las siguientes condiciones:

1. Alimentación eléctrica

- Confirmar que el prototipo está conectado a una fuente de energía estable de 110 VAC.

- Verificar que no existan cables sueltos, pelados o conexiones defectuosas.

2. Sistema de lavado

- Comprobar que el depósito de agua esté lleno.
- Revisar que las boquillas y tuberías no estén obstruidas.
- Cerciorarse de que las válvulas de entrada y salida de agua estén abiertas.

3. Banda transportadora

- Revisar que la banda esté libre de objetos extraños.
- Confirmar que esté correctamente alineada y tensionada.
- Verificar que no existan restos de suciedad que puedan interferir en el movimiento.

4. Sistema de sellado

- Inspeccionar la resistencia de nicrom: no debe estar dañada ni presentar falsos contactos.
- Confirmar que la superficie de sellado esté limpia y libre de restos plásticos.

Arranque

El prototipo cuenta con dos modos de operación:

1. **Modo Automático:** Todas las etapas (lavado, transporte y sellado) funcionan de

manera integrada gracias al control programado en el PLC Logo!. El operador solo debe iniciar el sistema y supervisar el proceso.

2. **Modo Manual:** Cada etapa puede ser activada de forma independiente, sin intervención del PLC. Este modo se utiliza en casos de falla del control automático o cuando se requiere operar o mover una etapa de manera aislada ya sea, para pruebas, mantenimiento o limpieza.

Arranque en modo automático

Paso 1. Coloque el selector de modos en posición Automático.

Paso 2. Presione los botones de marcha de la bomba y el motor.

Paso 3. Se podrá ver los indicadores de marcha encendidos de color verde

Paso 4. ¡El Logo! iniciará la secuencia programada:

- Se activa el sistema de lavado.
- Se activa la banda transportadora.
- Se habilita el sistema de sellado, luego de la secuencia programa con el logo debido a la operación del sensor infrarrojo.

Paso 5. El prototipo queda listo para procesar productos de manera continua, sin intervención del operador.

Arranque en modo manual

Paso 1. Coloque el selector de modos en posición Manual.

Paso 2. Según la necesidad, accione individualmente cada etapa desde el panel de control:

- Boton de lavado → habilita el paso de agua.

- Boton de transporte → enciende la banda transportadora.

Paso 3. Una vez realizada la operación requerida, apague manualmente cada etapa.

Apagado del prototipo

Paso 1. Presione el botón de paro en el panel de control.

- ¡El programa del Logo! detendrá la secuencia de manera automática el sistema de sellado, la banda transportadora y el sistema de lavado, en caso de estar en modo automático.

Paso 2. Espere unos segundos hasta que la resistencia de nicrom se enfríe.

Paso 3. Coloque el interruptor general de energía en posición OFF.

Paso 4. Cierre la válvula de agua si el prototipo no será utilizado nuevamente en el corto plazo.

Paso 5. Desenergizar totalmente el prototipo.

Paso 6. Retirar residuos sobrantes de la tina de lavado.

Paso 7. Almacenar y cubrir el equipo de la intemperie.

3.9 Manual de mantenimiento

Con el objetivo de prolongar la vida útil del prototipo, se establecen procedimientos de mantenimiento rutinario.

Para realizar las actividades de mantenimiento se deben utilizar los implementos de seguridad adecuados (guantes, gafas de protección, herramientas aisladas) y garantizar que el prototipo esté completamente apagado y desconectado de la fuente de energía.

Los mantenimientos considerados según frecuencia son:

a) Mantenimiento Diario.

Se ejecuta antes y después de la operación del prototipo.

b) Mantenimiento Semanal.

Se realiza para asegurar el correcto estado de componentes mecánicos y eléctricos.

c) Mantenimiento Mensual.

Su objetivo es prevenir fallas mayores y conservar la integridad del sistema a largo plazo.

Tabla 13

Tabla de mantenimientos necesario para la buena conservación y funcionamiento del prototipo.

Característica	Frecuencia	Acción
Prototipo en general	Diario	Limpiar el área externa y de operación para conservar el prototipo en buen estado.
Sistema de lavado	Semanal	Revisar boquillas y tuberías, asegurando que no estén obstruidas ni presenten fugas.
	Mensual	Ejecutar el sistema en vacío para verificar presión y caudal de agua.
Sistema eléctrico	Diario	Verificar conexiones, indicadores luminosos y correcto encendido del panel de control.
Banda transportadora	Semanal	Revisar alineación y tensión de la banda.
	Mensual	Limpiar rodillos y lubricar rodamientos
Sistema de sellado (hilo de nicrom)	Diario	Verificar que la superficie de sellado esté limpia y sin restos plásticos.
	Mensual	Medir la resistencia eléctrica del hilo

		de nicrom y reemplazar en caso de desgaste.
Motorreductor	Mensual	Inspeccionar ruidos, sobrecalentamiento o vibraciones anormales.
	Semanal	Limpiar la carcasa del motor y el reductor con un paño seco para evitar acumulación de polvo. Inspeccionar el estado del eje y acople con la banda transportadora.
Panel de control / Logo!	Mensual	Limpiar el tablero, revisar bornes de conexión y comprobar ejecución del programa.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones

El modelo creado cumple con el propósito de mejorar el empaque posterior a la cosecha. El equipo automático incrementa de forma significativa la rapidez y la efectividad del proceso, disminuyendo el riesgo de contaminación por manipulación y reduciendo las pérdidas asociadas a deterioro físico del producto. Estas mejoras garantizan un empaque más uniforme, higiénico y con mayor eficiencia operativa, lo cual responde directamente a los objetivos planteados en el proyecto.

El diagnóstico de necesidades en zonas rurales permitió orientar el diseño del equipo hacia un sistema accesible, adaptado a limitaciones técnicas y económicas de los potenciales usuarios. La implementación de componentes electrónicos de bajo costo, un diseño mecánico simplificado y un control integrado validan que es factible desarrollar soluciones funcionales y eficientes sin recurrir a equipos de alto costo o complejidad excesiva.

La inversión inicial de USD 1719.59 confirma la viabilidad económica del prototipo, ya que este costo resulta significativamente inferior al de las máquinas comerciales equivalentes (tina de lavado, transportador y empacadora). Este resultado evidencia que es posible disponer de una alternativa accesible y funcional que permite optimizar el proceso de poscosecha sin incurrir en altos gastos de adquisición.

Las pruebas de desempeño confirmaron la funcionalidad del prototipo. El sistema logra un rendimiento de 6 bolsas por minuto, con un contenido uniforme de 4 vegetales y/o frutas por bolsa. La sincronización entre las etapas de lavado y empaque asegura un flujo de producción continuo y eficiente.

El proyecto evidencia que la aplicación de sistemas de control embebido constituye una herramienta eficaz para incorporar soluciones de ingeniería en el sector

agroindustrial rural, demostrando que la automatización puede integrarse de manera práctica y con bajo costo en entornos de limitada infraestructura tecnológica.

La reducción de la carga de trabajo físico, la mejora en las condiciones laborales y la posibilidad de replicar la tecnología desarrollada contribuyen a la sostenibilidad del proceso y promueven el fortalecimiento de capacidades técnicas a nivel local.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda anclar la estructura de la selladora al piso mediante pernos o tornillos de alta resistencia. De esta manera se garantiza la estabilidad del sistema y se evita el desplazamiento o volcamiento ocasionado por la fuerza ejercida durante el accionamiento del pistón.

Con el fin de mejorar la calidad del empaque y prolongar la vida útil del producto, se sugiere la incorporación de un ventilador o sistema de secado previo al proceso de sellado. Esto permitirá eliminar el exceso de humedad en las frutas antes de ser empaquetadas, reduciendo riesgos de deterioro y contaminación.

Se recomienda sustituir la estructura fabricada en MDF por una metálica (por ejemplo, acero inoxidable o aluminio), ya que estos materiales ofrecen mayor durabilidad, resistencia mecánica e higiene, aspectos fundamentales para equipos destinados al procesamiento de productos alimenticios.

Evaluar el uso de pistones de menor consumo energético o integrar reguladores de presión ajustables, con el fin de mejorar la eficiencia energética del sistema

Implementar un panel de control más intuitivo o una interfaz HMI sencilla, que

permita al operador modificar parámetros básicos (tiempo de sellado, temperatura, cantidad de producto por ciclo).

Se recomienda que las superficies en contacto con el producto sean de acero inoxidable grado alimenticio, para cumplir normas de higiene y evitar contaminación.

Referencias

- [1] onuchcha. (s. f.). Los agricultores deben limpiar las zanahorias frescas después de la cosecha. Este es un proceso tradicional de lavado de zanahorias [Fotografía]. Freepik. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de https://www.freepik.es/fotos-premium/agricultores-deben-limpiar-zanahorias-frescas-despues-cosecha-es-proceso-tradicional-lavado-zanahorias_38225236.htm
- [2] B. Balana, C. Okafor, and A. Adewuyi, “Post-harvest handling and losses of fresh produce in rural nigeria,” *Journal of Agricultural Economics and Development*, vol. 10, no. 2, pp. 45–57, 2021.
- [3] Adams, A. (2021). Agricultural technologies adoption and smallholder farmers: critical to improving productivity and income. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2006905>
- [4] Varani, M. (Ed.). (2024). Design, optimization and analysis of agricultural machinery (Reprint of a Special Issue). MDPI AG. <https://www.mdpi.com/books/reprint/9457-design-optimization-and-analysis-of-agricultural-machinery>
- [5] S. Tiewtoy and W. Moocharoen, “User-friendly agricultural machine design for low-tech environments,” *Asian Journal of Agricultural Innovation*, vol. 5, no. 2, pp. 88–95, 2023.
- [6] Van Loon, J., Woltering, L., Krupnik, T. J., Baudron, F., Boa, M., & Govaerts, B. (2020). Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America. *Agricultural Systems*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X18314914>
- [7] Industrial Quick Search. (s. f.). Belt conveyors: Types, components and applications. IQS Directory. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.iqsdirectory.com/articles/conveyors/belt-conveyors.html>
- [8] Bay Belting. (s. f.). Problemas comunes en bandas transportadoras de pared lateral con tacos [Imagen]. Bay Belting. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de

- <https://es.baybelting.com/Content/uploads/2023952268/20230316090504ec40ec5f091640c88e892e42d475052a.jpg>
- [9] Motee Intelligence Control Co., Ltd. (2025, 1 de agosto). Photoelectric sensor applications drive smart automation across industries. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.moteesensor.com/news/photoelectric-sensor-applications-drive-smart-automation-across-industries>
- [10] Automaq Perú. (2025) Sensor fotoeléctrico telemecanique xuk1arcnl2. Recuperado el 7 de agosto de 2025. [Online]. Available: https://automaq.pe/w_files/img/producto/xuk1arcnl2_1612748373.jpg
- [11] Siemens AG. (s. f.). LOGO! 8 series basic modules user guide. Manuals+. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://manuals.plus/siemens/logo-8-series-basic-modules-manual>
- [12] Siemens AG. (2016). Startup LOGO! 0BA8 [PDF]. Siemens Automation Cooperates with Education (SCE). Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/additional/logo/sce-900-011-startup-logo-0ba8-r1603-en.pdf>
- [13] International Organization for Standardization, ISO 12100:2010 - Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction, Std., 2010. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/51528.html>
- [14] International Organization for Standardization, ISO 22000:2018 - Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain, Std., 2018. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/65464.html>
- [15] International Organization for Standardization, ISO 11783 - Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Std., 2017. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/48229.html>
- [16] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (s. f.). Estadísticas del agro por cantón.

Quito: INEC.

- [17] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2018–2020). Estadísticas zonales 2018–2020: Informe de diagnóstico de zonas agrícolas del litoral. Quito: MAG.
- [18] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2018a). Anuario de estadísticas agropecuarias (2018), sección “Cultivos de arroz en la provincia de Guayas”. Quito: MAG.
- [19] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2018b). Anuario de estadísticas agropecuarias 2018. Quito: MAG.
- [20] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (2019). Diagnóstico de producción de leguminosas en Guayas (2017–2019). Quito: MAG.
- [21] Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. (s. f.). Manual técnico de producción hortícola y frutícola (fichas por cultivo). Quito: MAG.
- [22] E. Britannica. (2024) Laminar flow. Recuperado el 7 de agosto de 2025. [Online].
Available: <https://www.britannica.com/science/laminar-flow>
- [23] T. E. Toolbox. (2024) Reynolds number for laminar and turbulent flow. Recuperado el 7 de agosto de 2025. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/reynolds-number-d_237.html
- [24] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006, vol. I.
- [25] Hidalgo Camacho Ingenieros S.A.S. (2020). Lavadora por inmersión hidrodinámica. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.hidacamingenieros.com/lavadora-por-inmersion>
- [26] Zhengzhou Hadof Food Machinery Co., Ltd. (2025). Línea de procesamiento de frutas y verduras. Hadof Food Machinery. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://es.hadofmachinery.com/products/linea-de-procesamiento-de-frutas-y-verduras/>
- [27] oshi Packing Machinery. (s. f.). Boshi Packing – Maquinaria de empaque y envasado.

Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.boshipacking.com>

[28] Syntegon Technology GmbH. (s. f.). Case packer solutions for food. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de <https://www.syntegon.com/solutions/food/case-packer>

[29] Alibaba Group. (s. f.). Flowpack machine – Alibaba Premium Suppliers. Recuperado el 17 de agosto de 2025, de https://www.alibaba.com/premium/flowpack_machine.html

Anexo A. Propiedades del agua a 25°C

Tabla 5

Propiedades físicas del agua a 25°C

Propiedad	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	997 kg/m ³
Peso específico	γ	9780.57 N/m ³
Viscosidad dinámica	μ	0.891 · 10 ⁻³ Pa · s
Viscosidad cinemática	ν	0.8937 · 10 ⁻⁶ m ² /s

Nota: Valores aproximados tomados de Cengel y Cimbala (2006).

Anexo B. Rugosidad relativa

Tabla 6

Rugosidad absoluta de materiales comunes de tuberías

Material	Símbolo	Rugosidad ϵ (mm)
PVC (nuevo)	ϵ	0.0015
Acero galvanizado	ϵ	0.15
Hierro fundido (nuevo)	ϵ	0.26
Hierro fundido (viejo)	ϵ	1.5
Hormigón	ϵ	0.3 – 3.0

Nota: Adaptado de tabla de rugosidades estándar (Mott, 2014).

Anexo C. Ampicidad vs temperatura hilo de nirom

Tabla 7

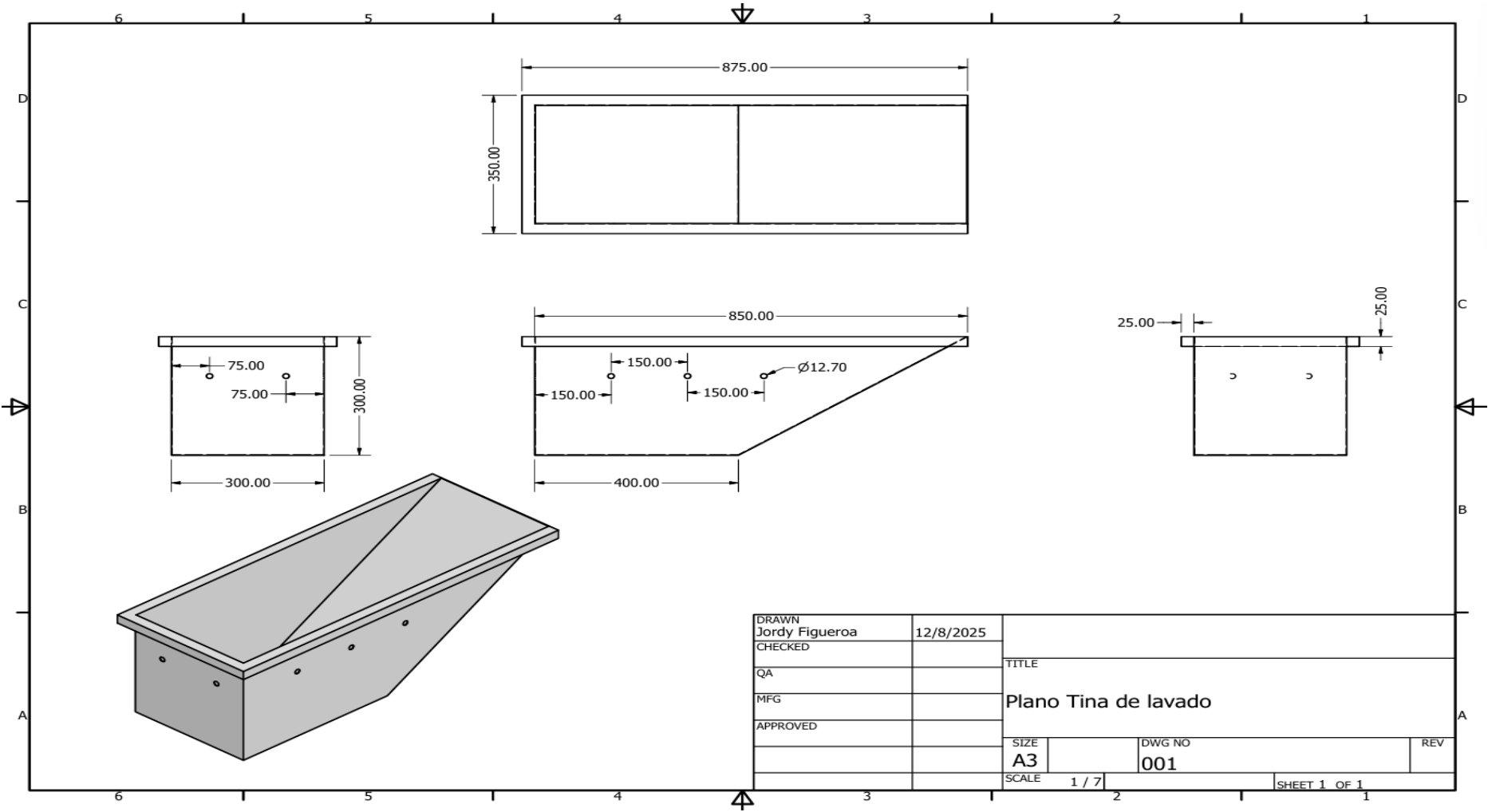
Ampicidad vs temperatura del hilo de nicrom

AWG	200°C	500°C	800°C	1000°C	1100°C
10	16.2A	37.5A	56A	80A	92A
16	6.4A	13.7A	20.9A	29.4A	33.6A
18	4.8A	10.1A	14.8A	20.7A	23.7A
20	3.8A	7.6A	11A	15.2A	17.5A
24	2.21A	4.2A	6A	8.2A	9.4A

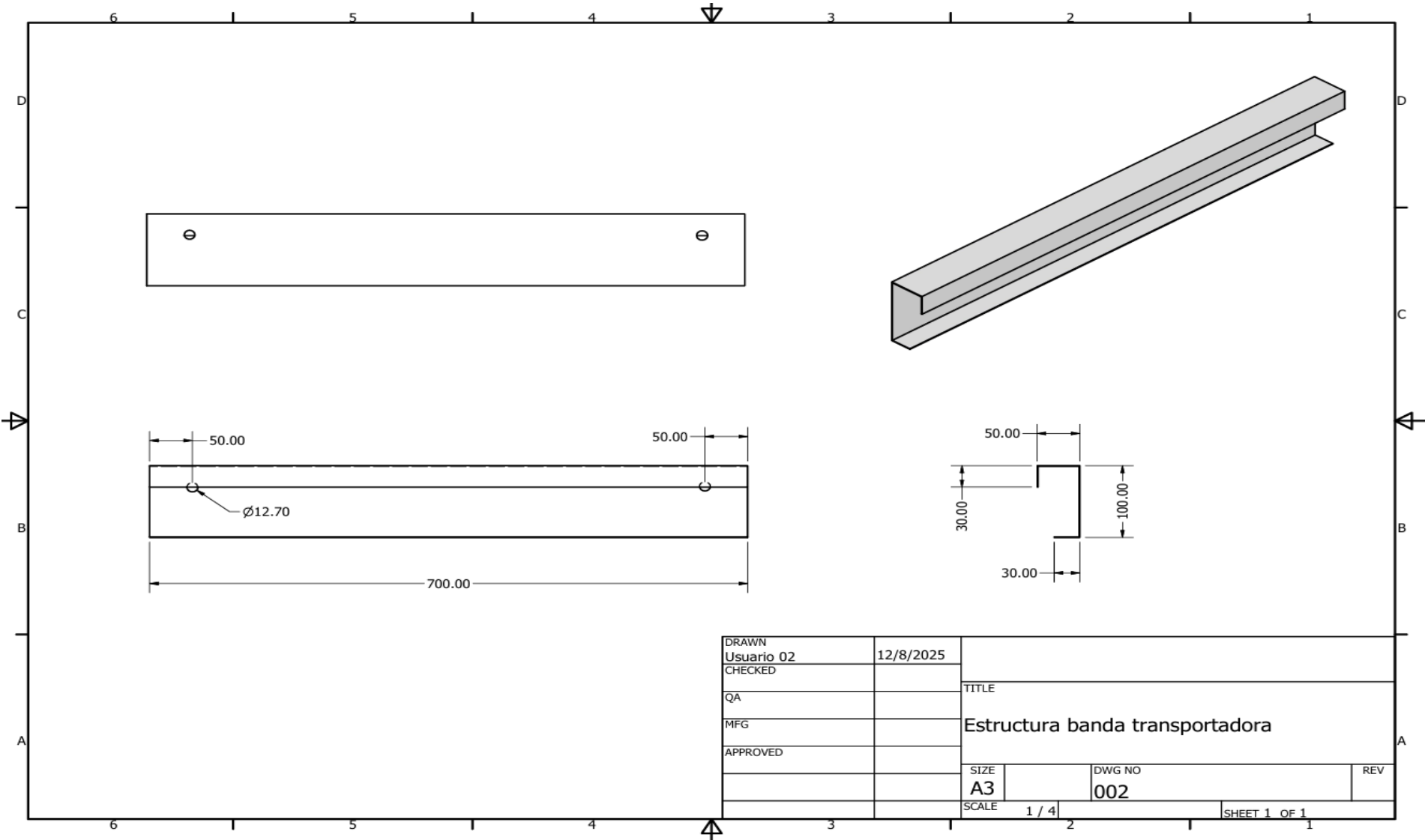
Nota: Tomado de Nicromel. (s. f.). *Alambre Nicromel*.

Anexo C. Planos

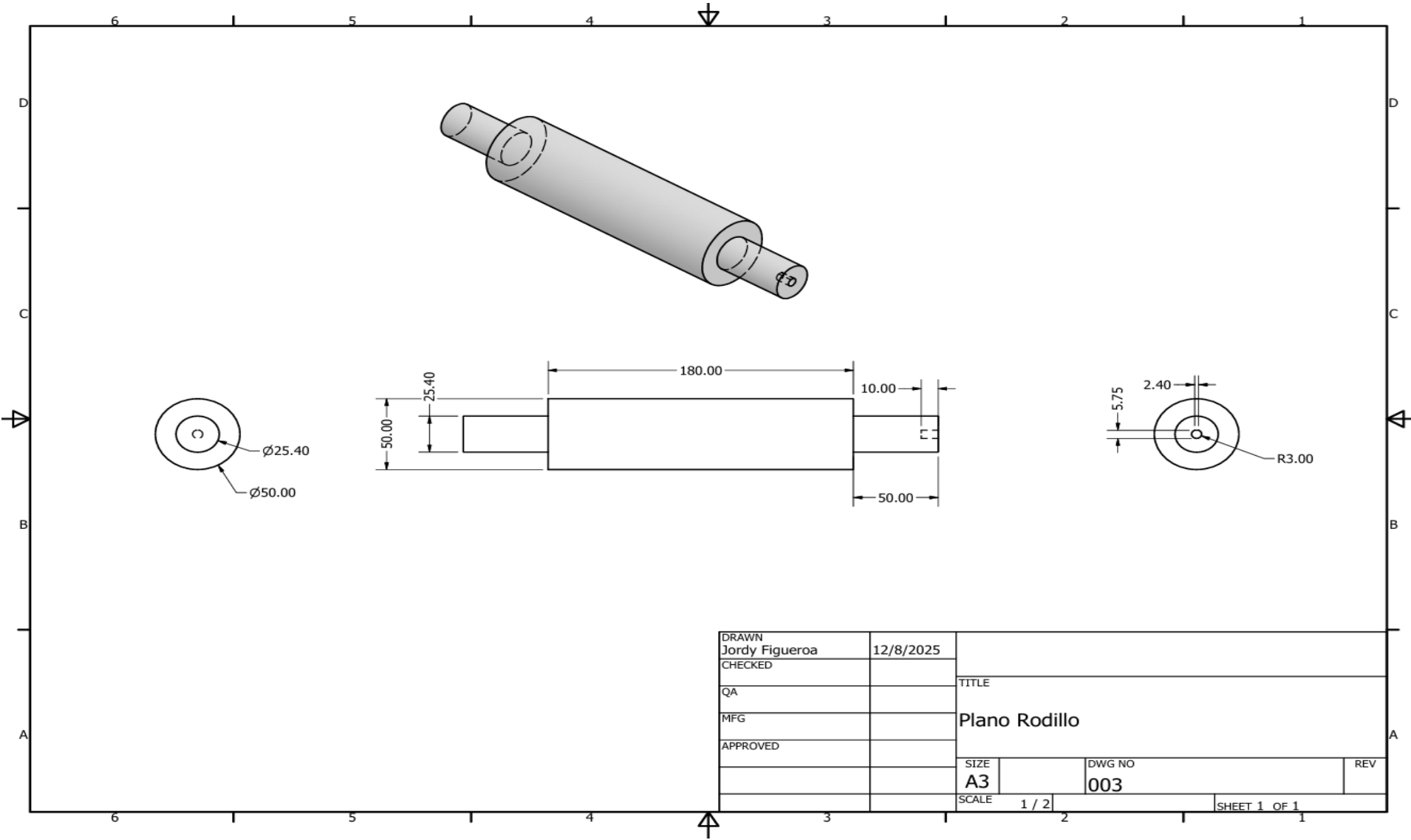
Plano 1 Tina de lavado



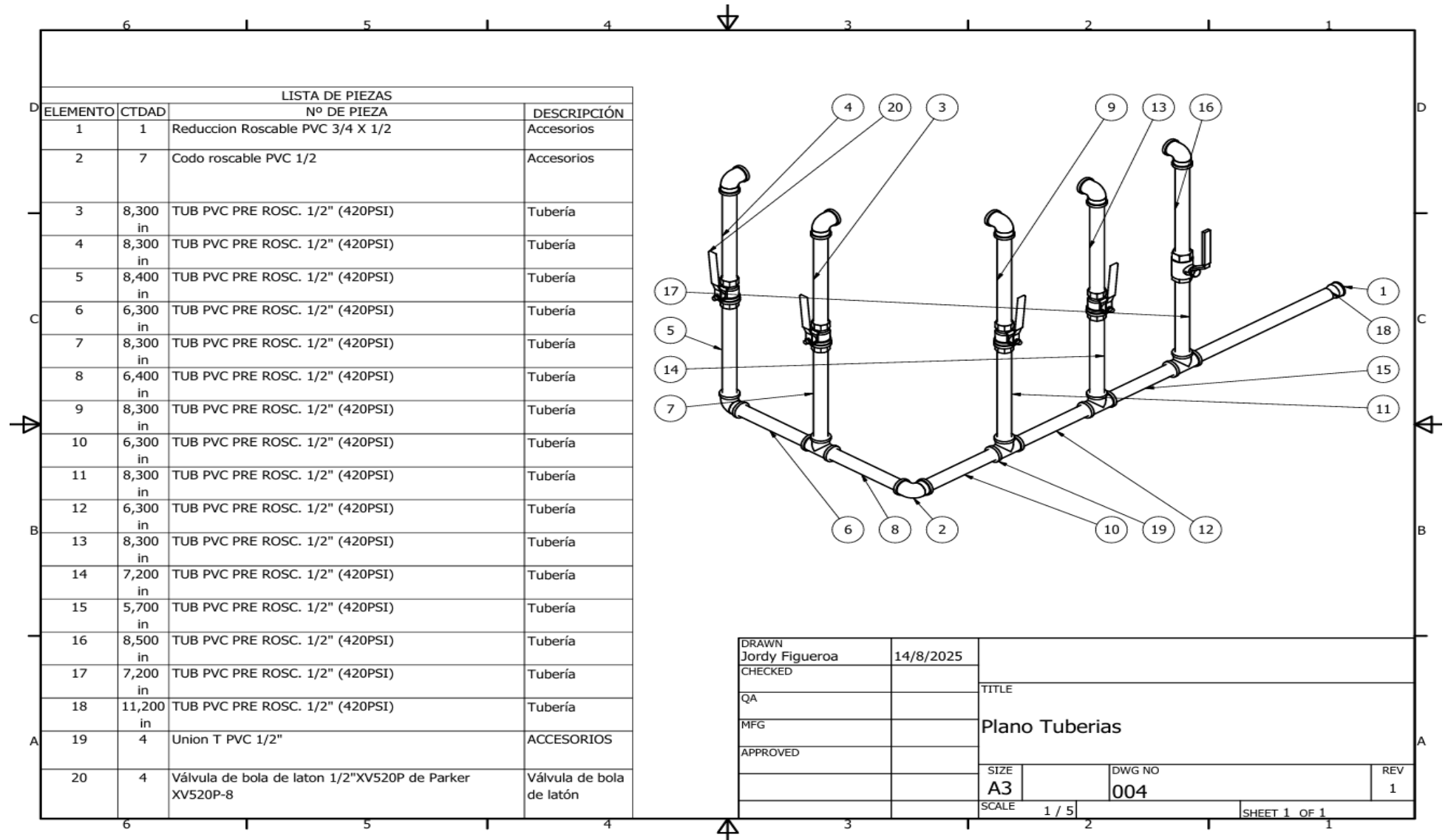
Plano 2 Estructura banda transportadora



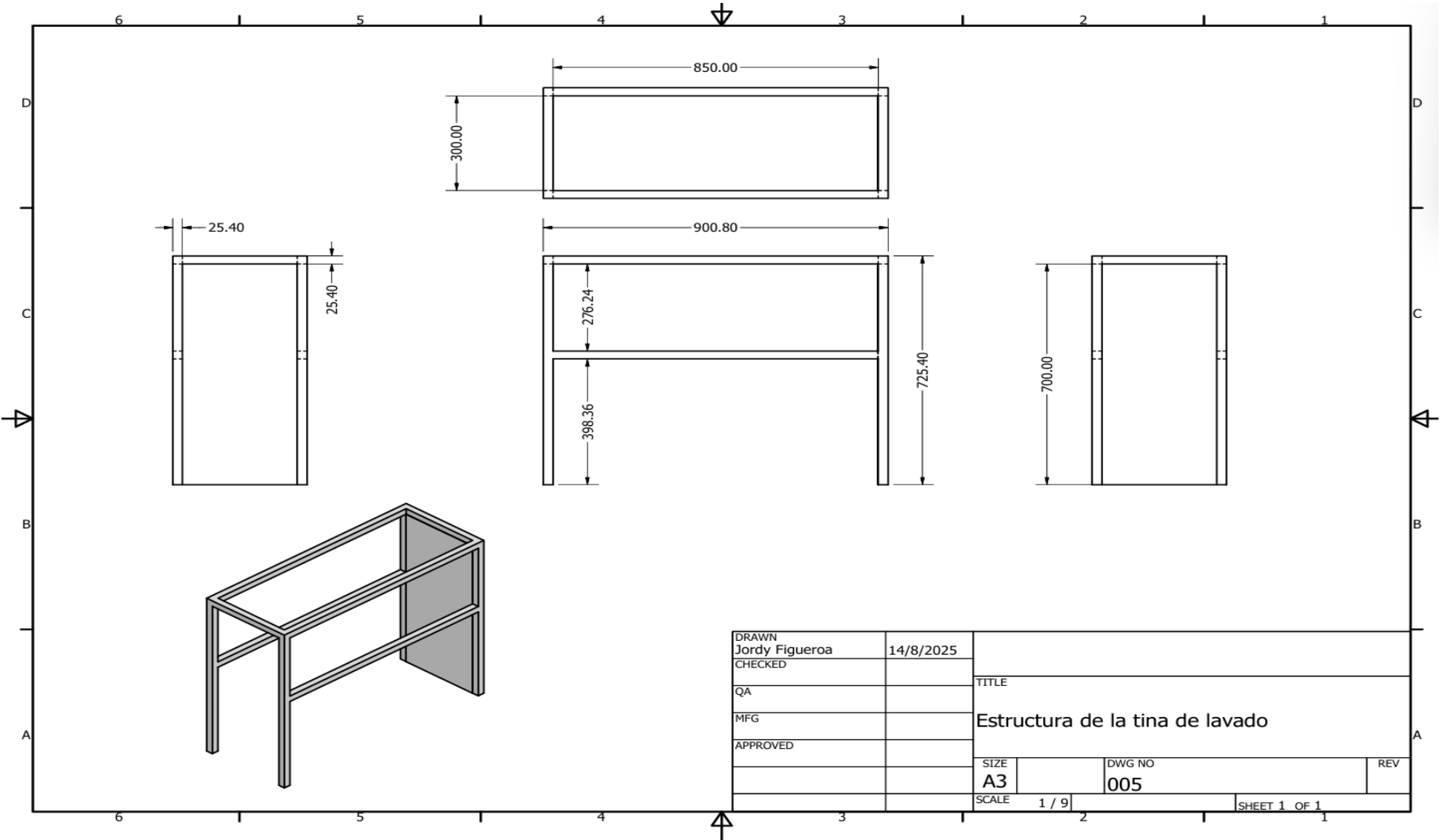
Plano 3 Rodillos



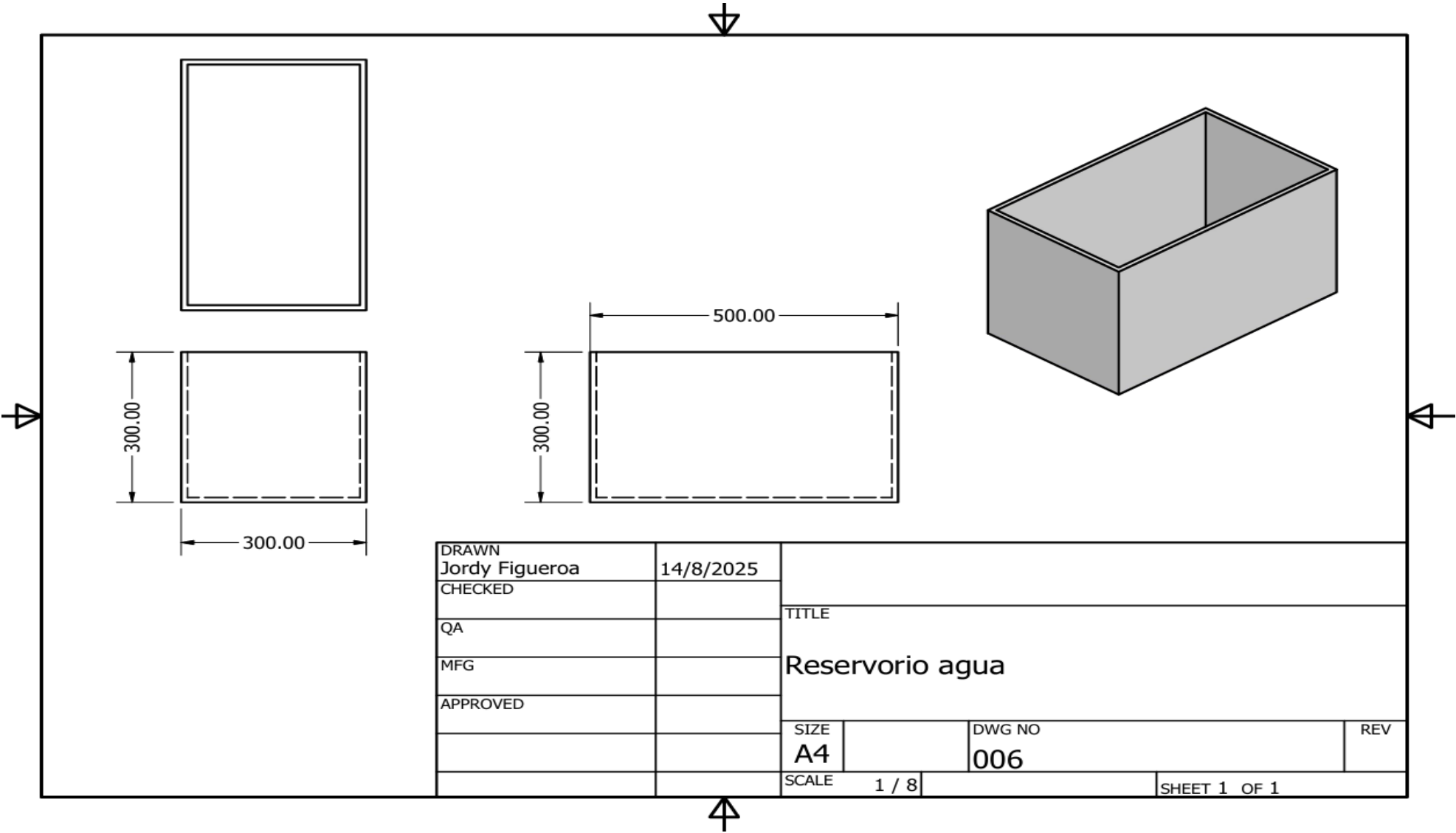
Plano 4 Tuberías y accesorios



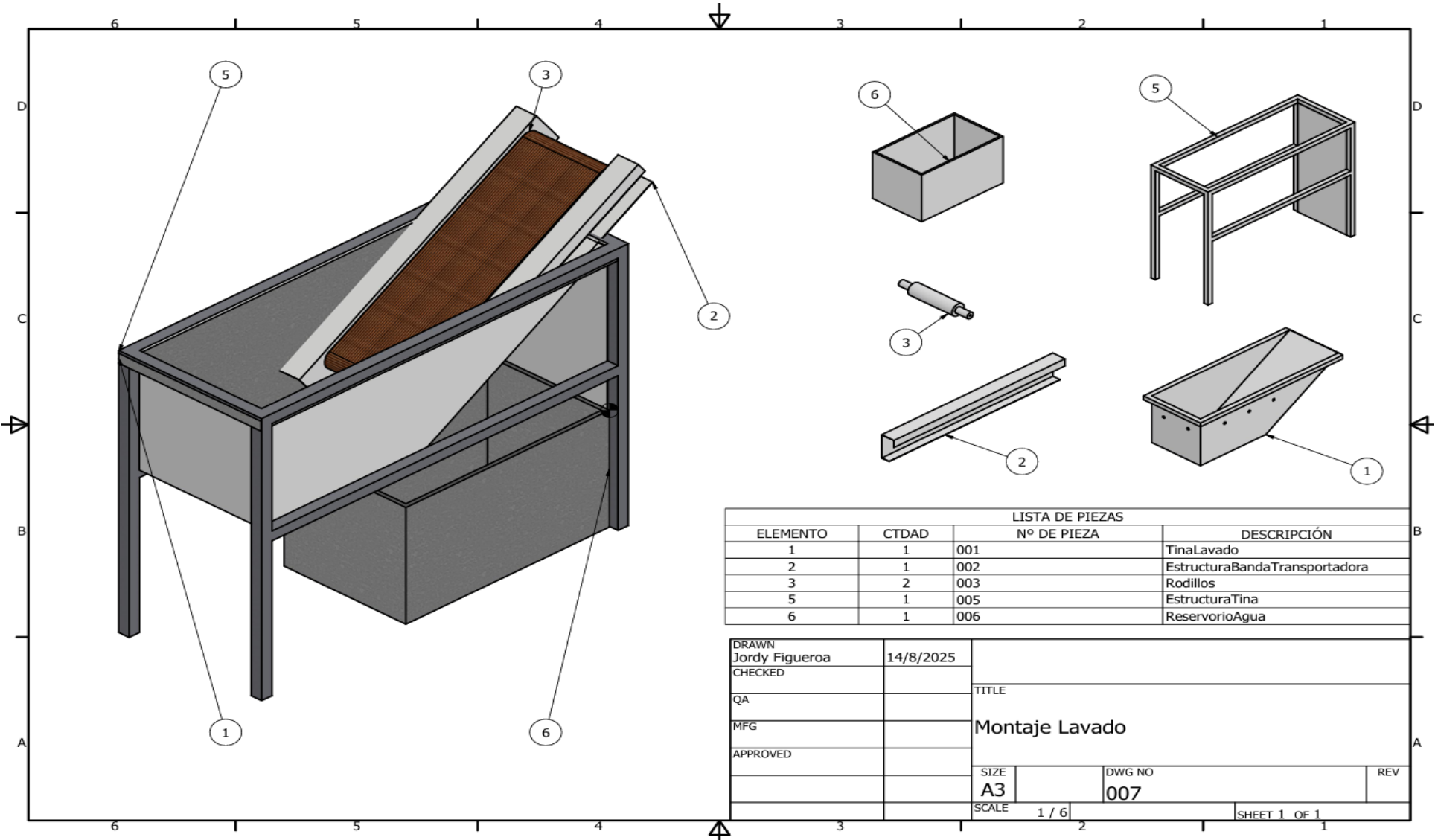
Plano 5 Estructura de la tina



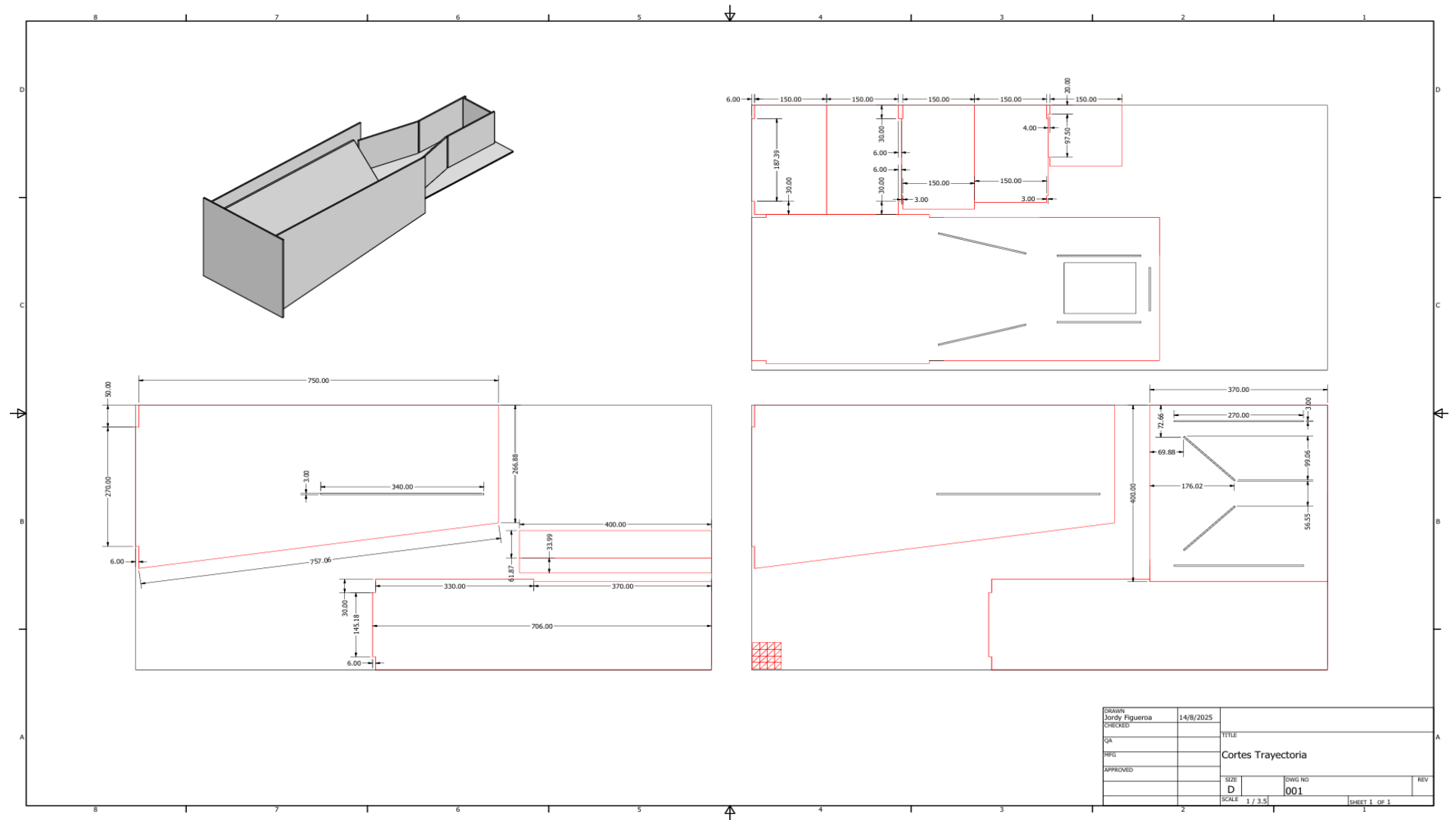
Plano 6 Estructura del reservorio de agua



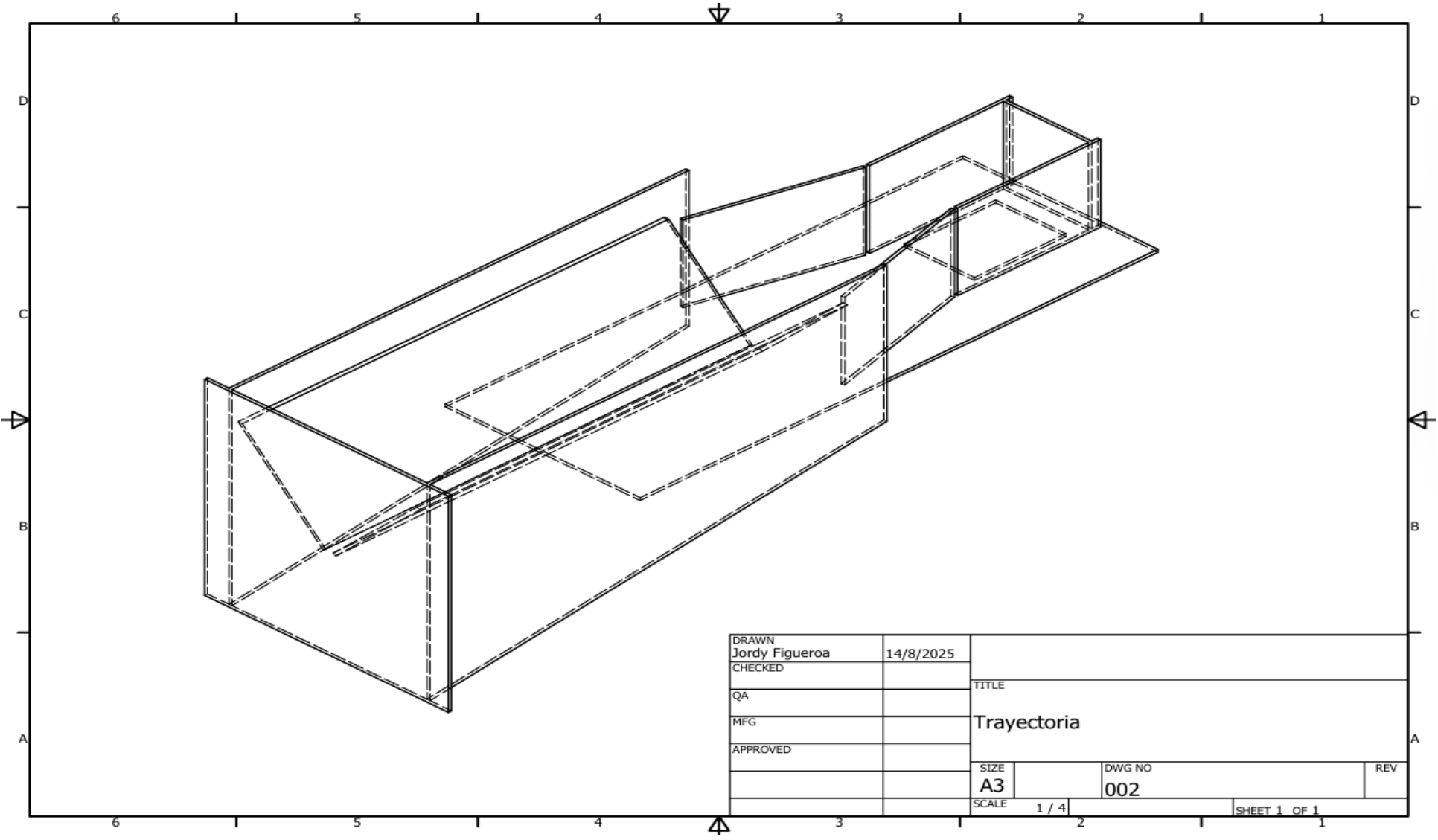
Plano 7 Montaje de la etapa de lavado



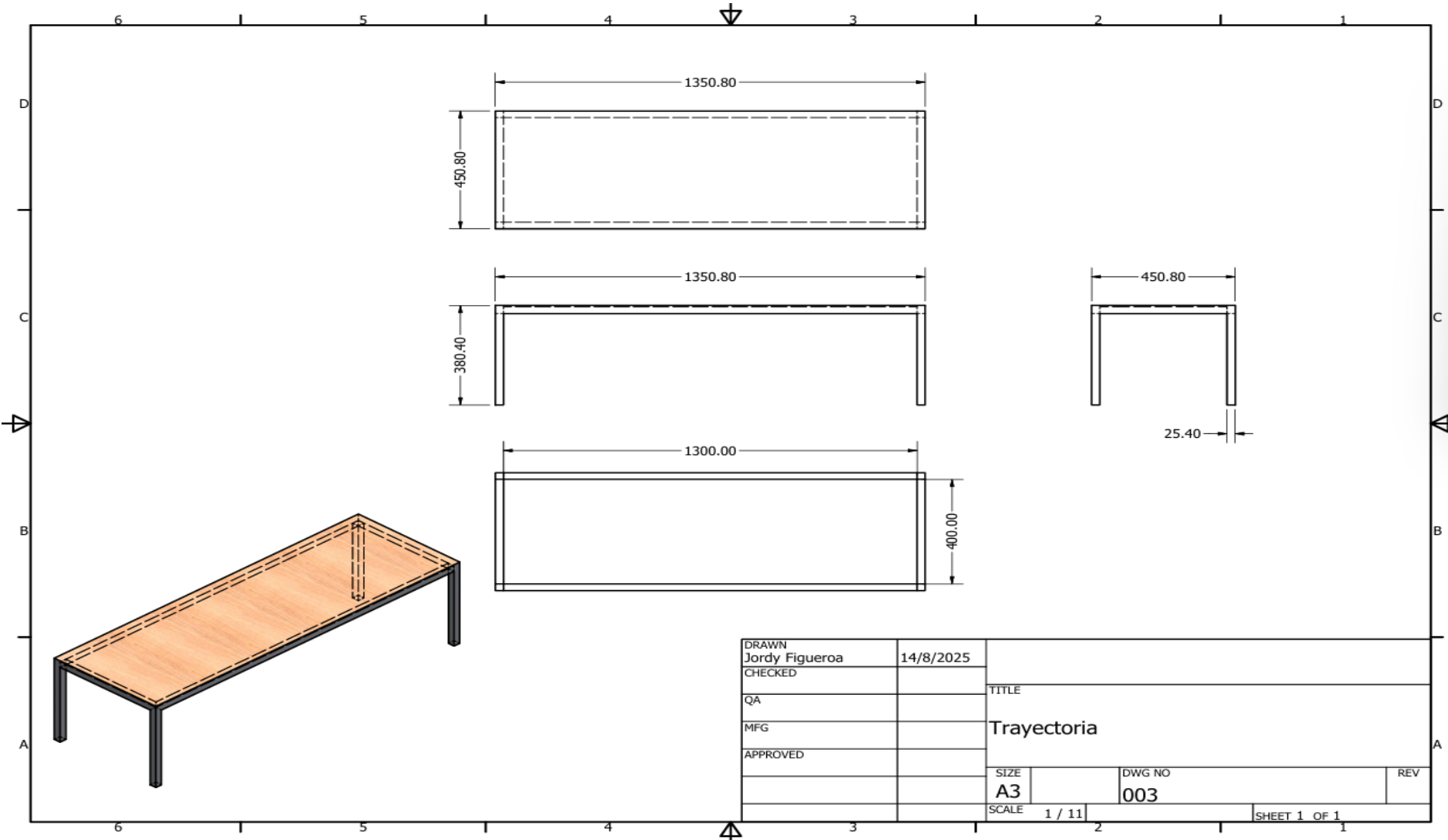
Plano 8 Montaje de la etapa de lavado



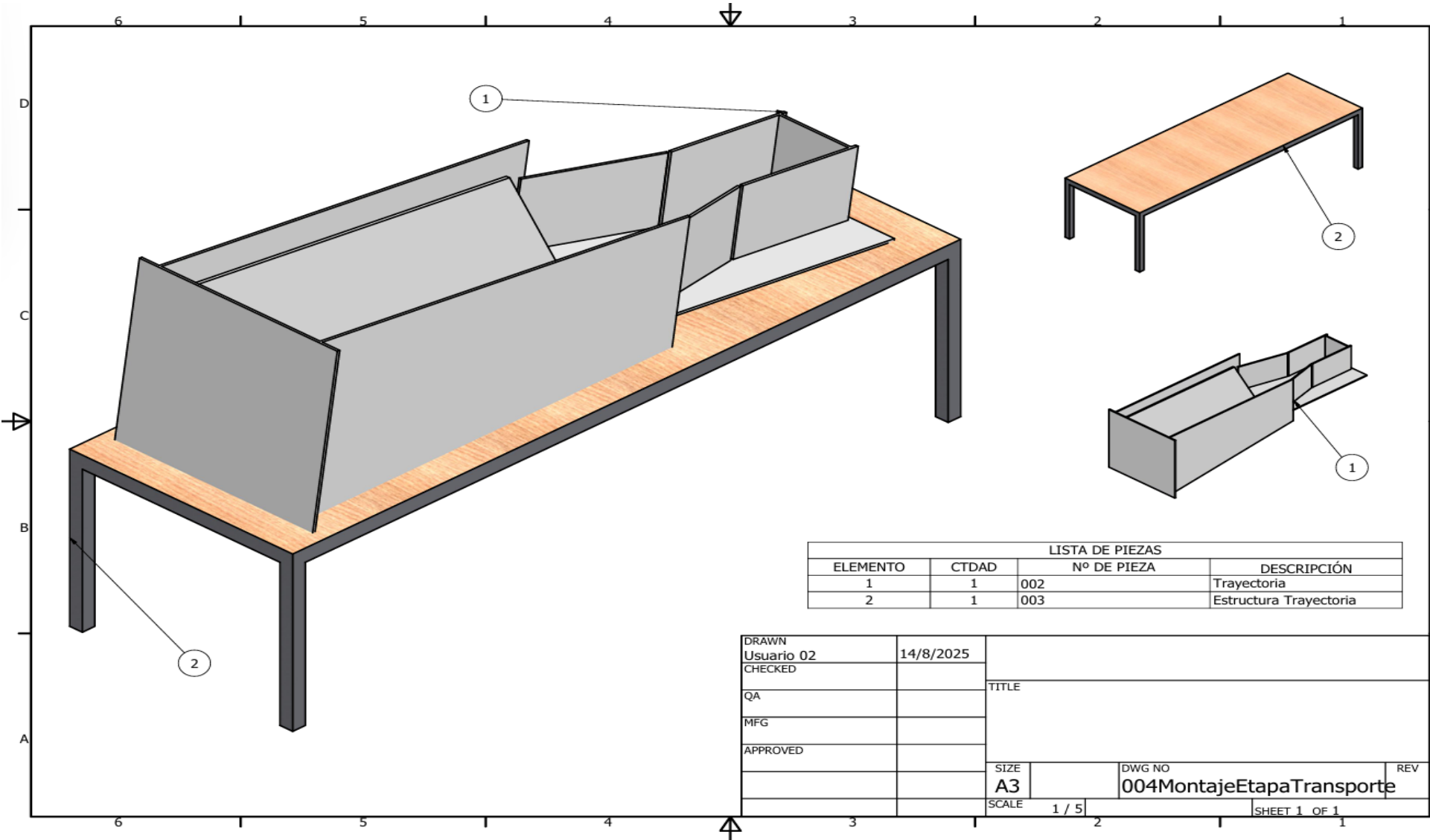
Plano 9 Montaje de la etapa de lavado



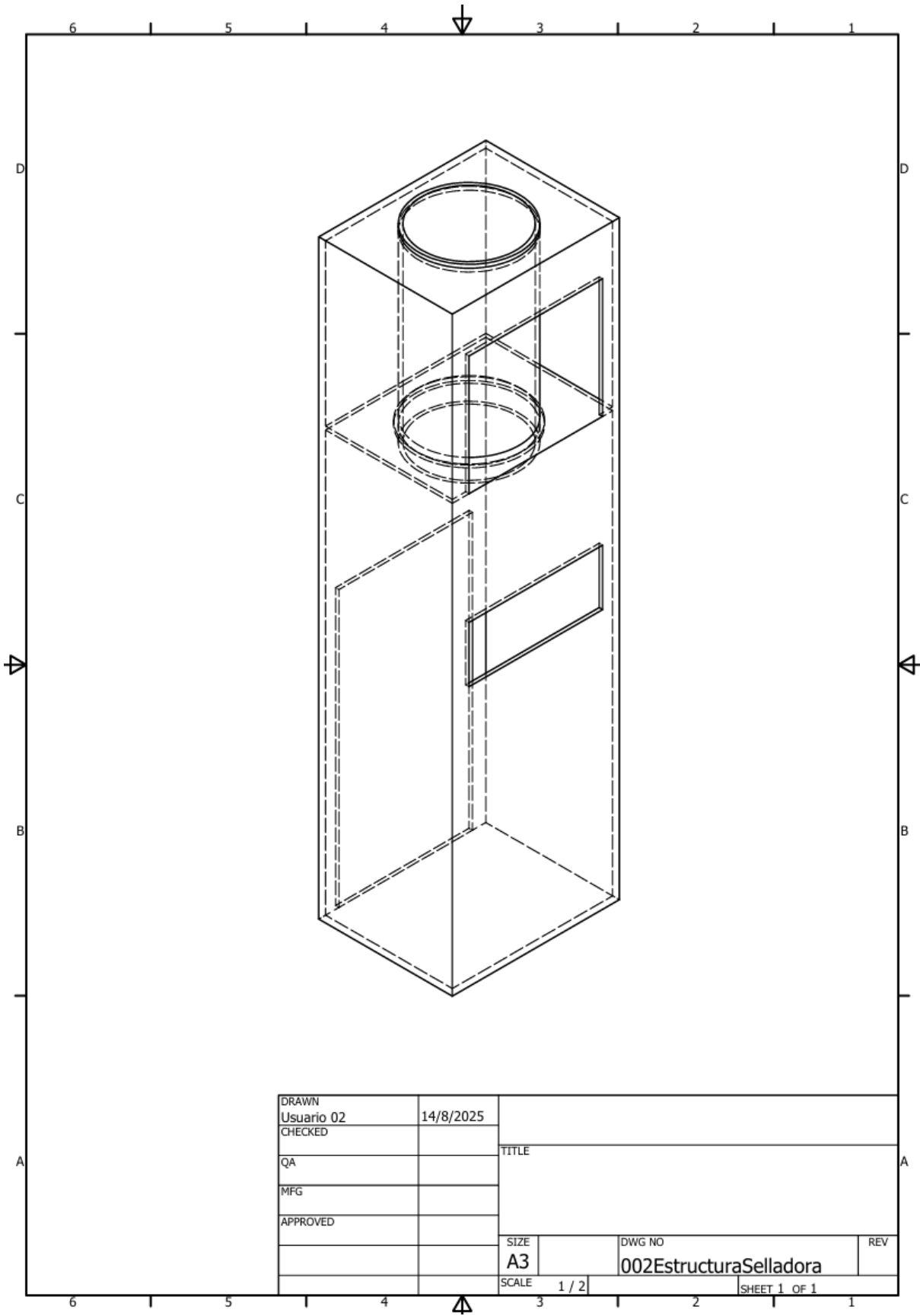
Plano 10 Estructura de la trayectoria



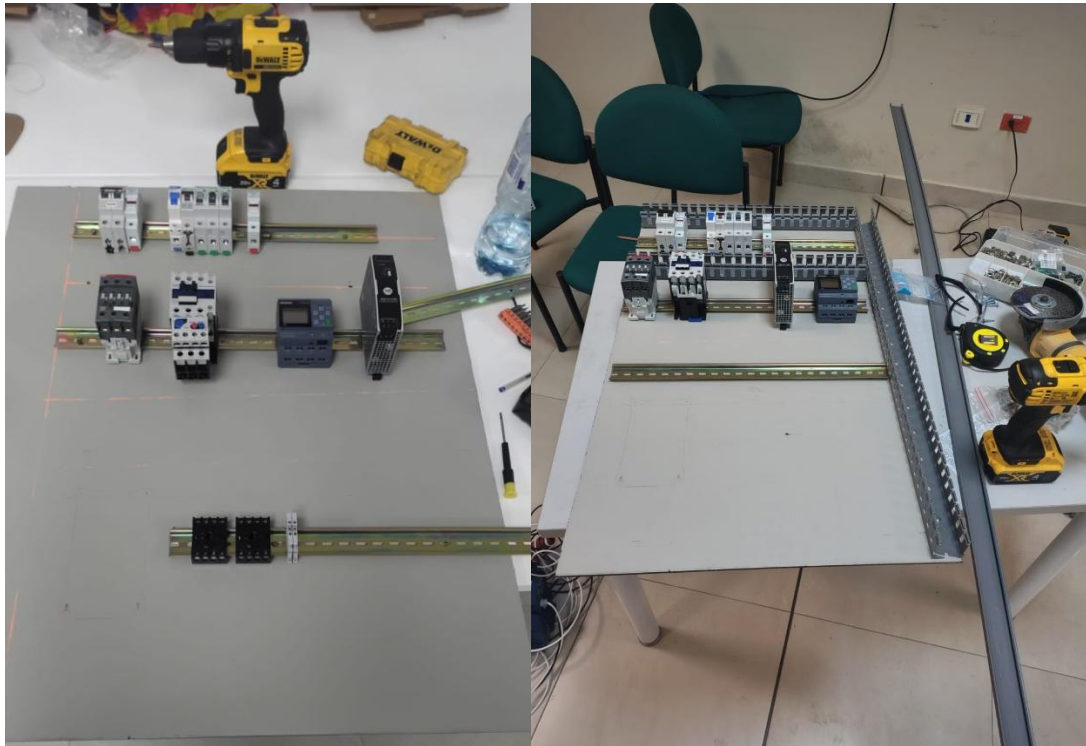
Plano 11 Montaje etapa de la trayectoria



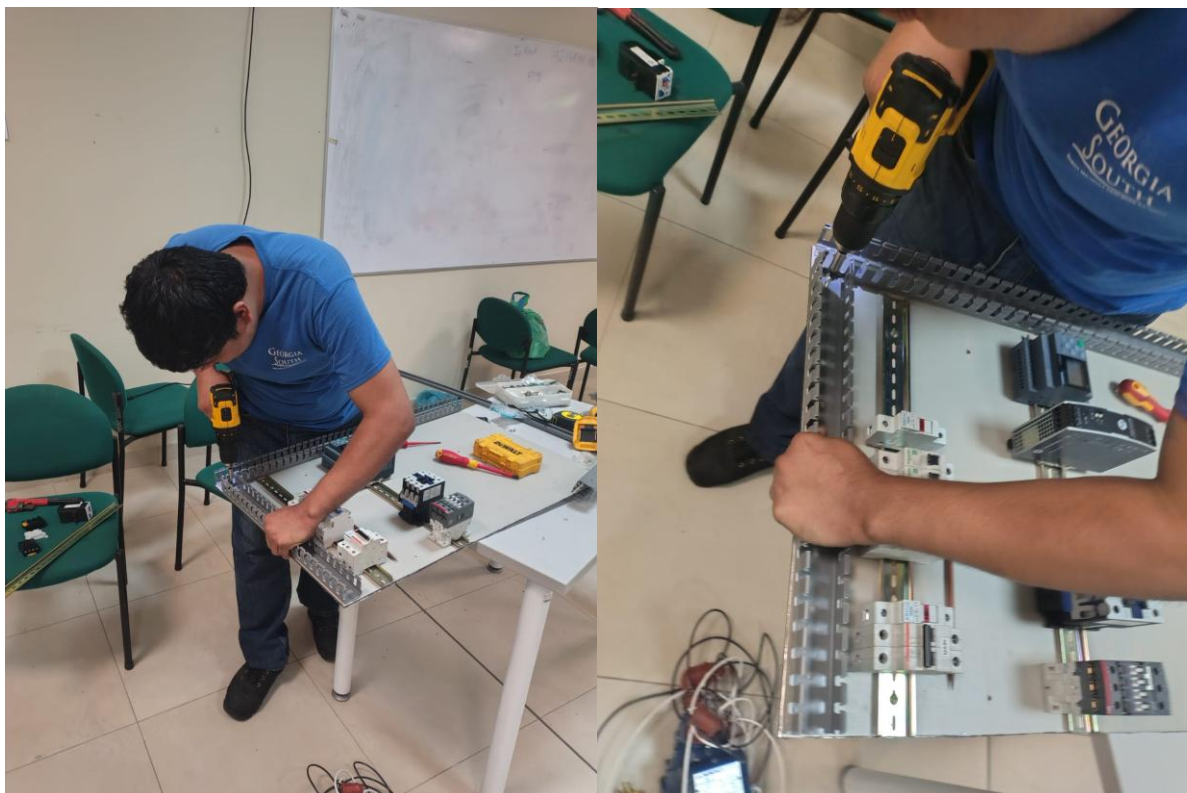
Plano 12 Estructura de la tina de lavado



Anexo D. Fotos de la construcción del prototipo



Implementando los componentes electricos en el tablero



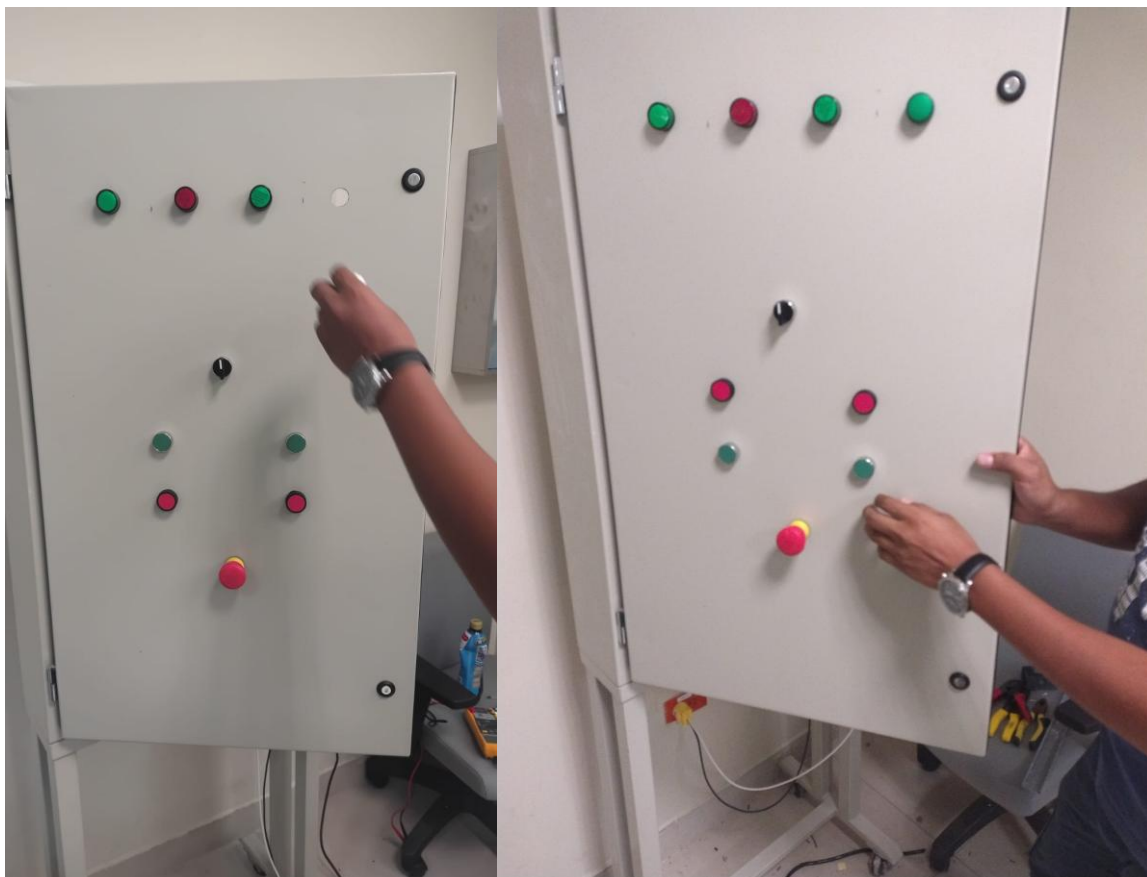
Poniendo las canaleta a utilizar en el tablero



Armado de tablero eléctrico



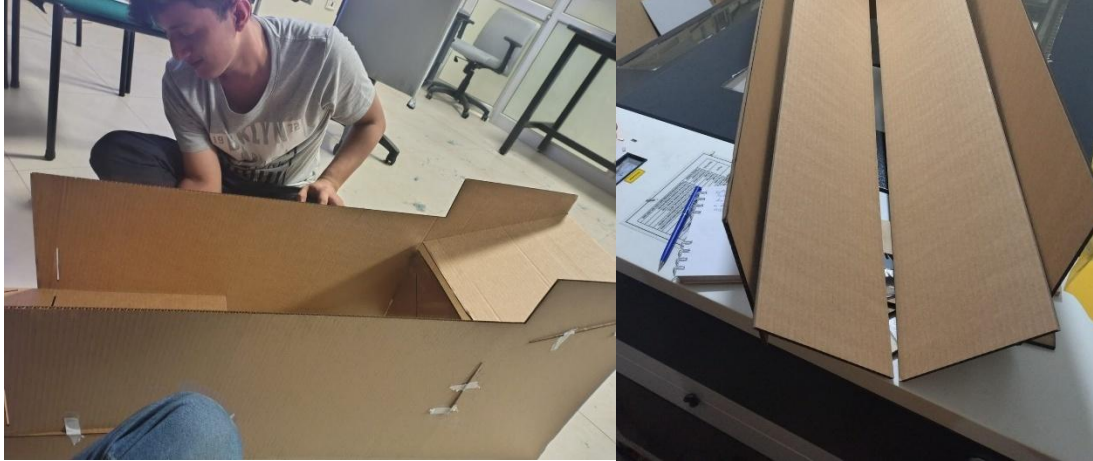
Comprobación de las conexiones del logo



Puesta de botoneras e indicadores en el tablero



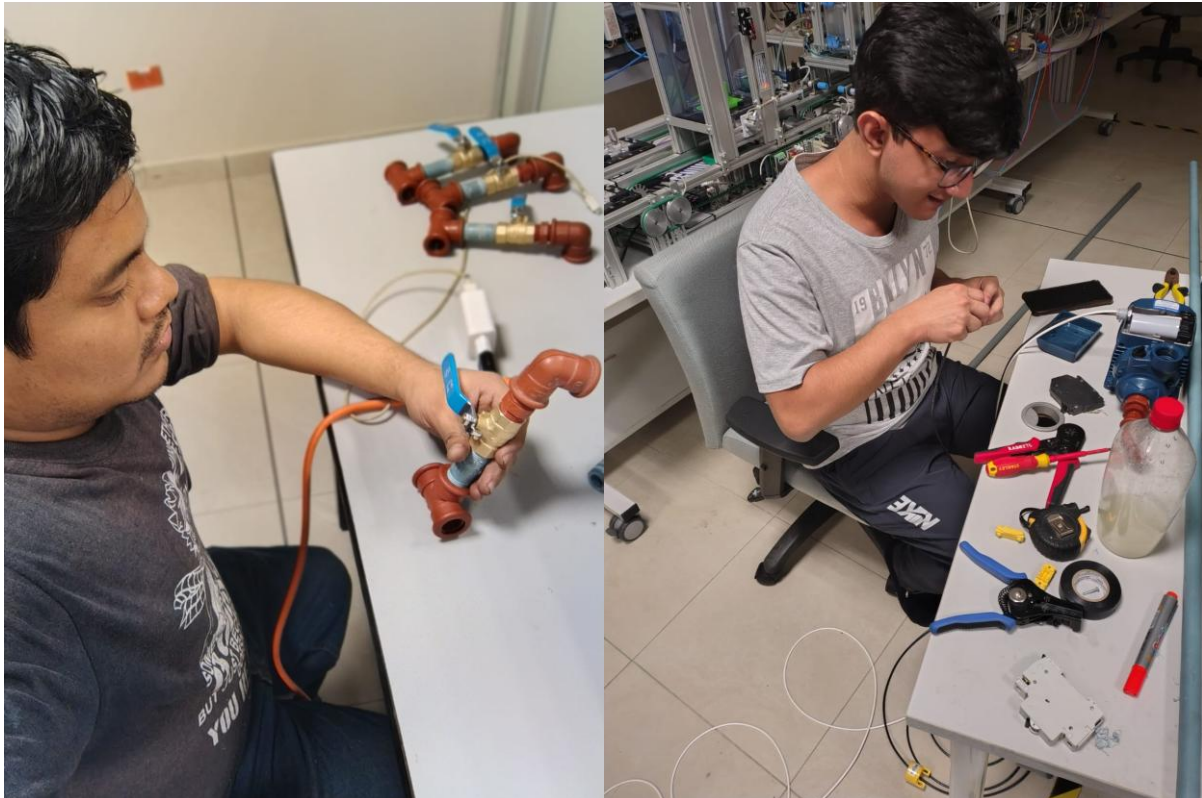
Comprobación y peinado de tablero eléctrico



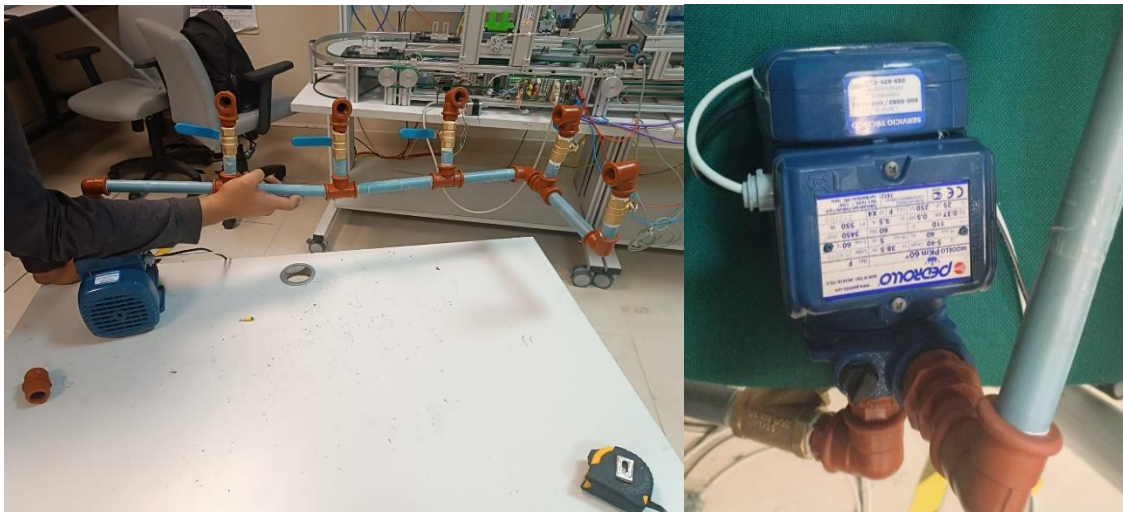
Prueba en cartón del plano de la trayectoria



Armado de la trayectoria en acrílico



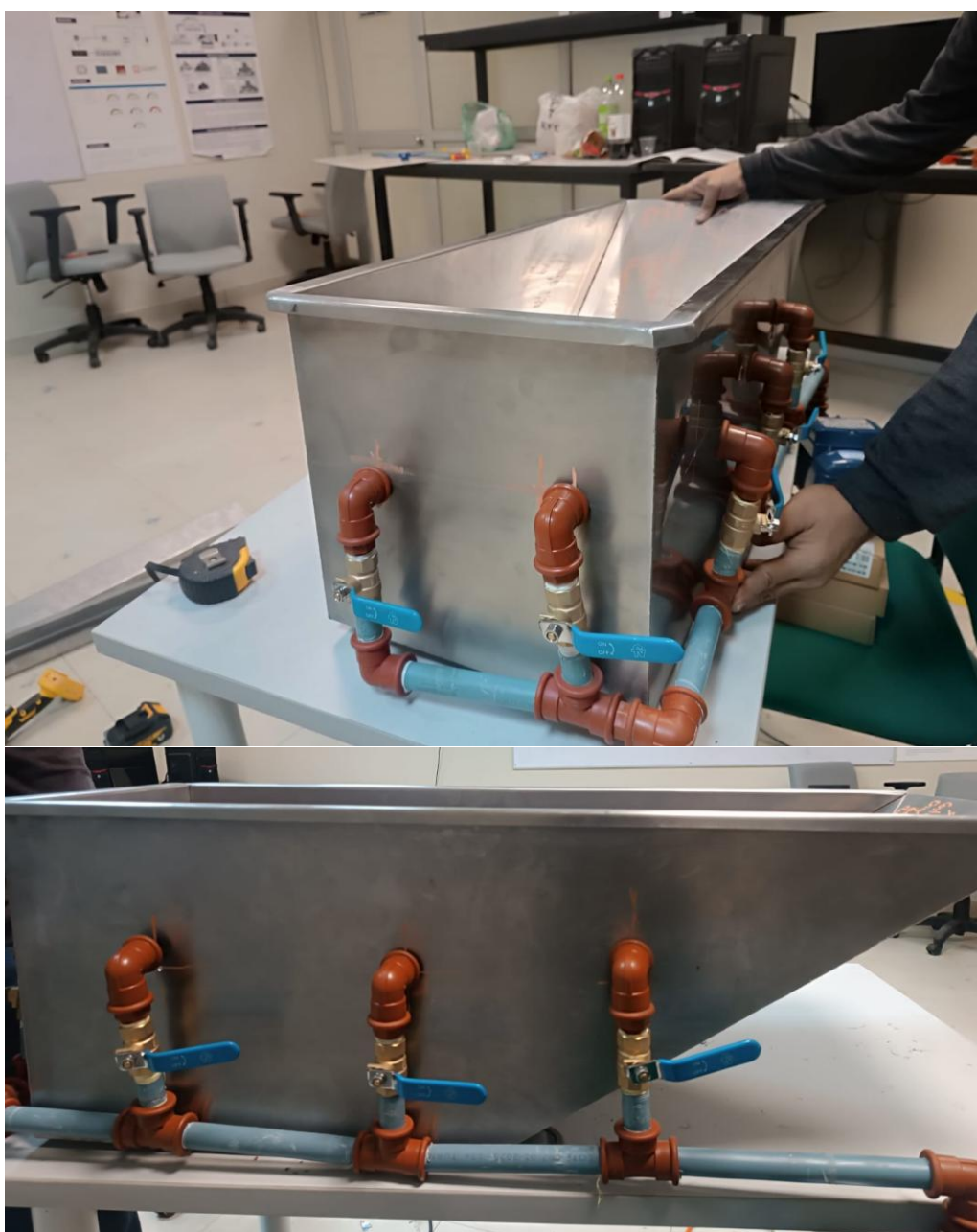
Armado de la tubería y conexión de la bomba



Estructuras armadas y conectadas



Implementación de las tuberías con la tina de lavado



Estructura armada y conectada



Base de soporte para la banda



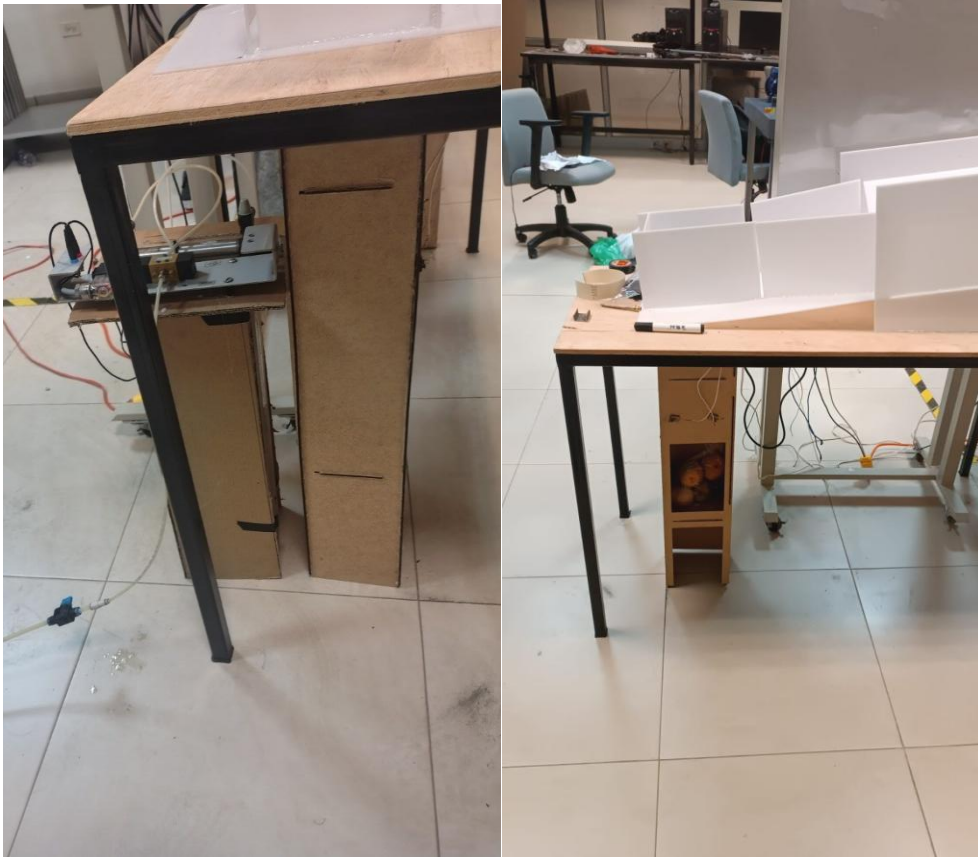
Base presentada a la tina de lavado



Estructura de soporte para el prototipo



Tina implementada en el soporte



Selladora



Trayectoria implementada con la selladora



Tina de lavado implementada con la banda y aspas subiendo las frutas



Tina de lavado implementada con la banda y aspas subiendo las frutas



Prototipo de empaquetadora de vegetales y/o frutas



Producto obtenido