

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Automatización de línea de colocación de bolsitas de salsas en empaques
de aperitivos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros en Mecatrónica

Presentado por:

Ricardo Antonio Vélez Sánchez

Wilman Joel Cuero Núñez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi amada madre, Elizabeth Sánchez, a mi amado padre, Carlos Vélez Méndez y a mi querido hermano Carlos Vélez Sánchez, por su amor y apoyo incondicional durante el desarrollo de este proyecto.

A Fabricio Herrera y Alex Saltos, grandes amigos que han estado conmigo durante mi etapa académica.

A Nicole Díaz, por ser una luz en esta etapa de mi vida y darme aliento para seguir luchando por mis sueños.

A Raúl Ferruzola, un gran amigo que estimo mucho y al cual considero una persona ejemplar.

Ricardo Vélez

DEDICATORIA

A mis padres, Wilman Cuero y Julia Núñez, sus consejos han influido positivamente en mi persona.

A los profesores que creen en el potencial de los estudiantes. Me enseñaron a analizar un problema desde mil perspectivas distintas y me estimularon con desafíos a lo largo de la carrera.

A los amigos que me vieron avanzar en la carrera y a los que avanzaron conmigo.

Wilman Cuero

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar con éxito mi etapa universitaria y por haberme permitido estudiar en la universidad que siempre anhelé.

A mi alma máter ESPOL por acogerme durante estos años de mi etapa universitaria, brindándome siempre una educación de excelencia.

A mi familia y amigos cercanos que siempre estuvieron pendientes de mí, brindándome amor y apoyo incondicional.

Al MSc. Eloy Moncayo, quien fue mi consejero académico y tutor de este proyecto. Su apoyo y guía han sido de gran motivación para mí.

Al MSc. Efraín Terán, un gran docente de la universidad que nos transmitió enseñanzas para la vida profesional.

Ricardo Vélez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por su guía a lo largo de mi vida y apoyar mi desarrollo para completar con éxito mi etapa académica.

A mis hermanos, familiares y amigos por su apoyo y confianza depositados en mí.

A los Ingenieros Valeria Franco, Jonathan Tejada, Jhonny López; las experiencias y reflexiones cuando fuimos estudiantes, son tesoros que conservo en la etapa profesional.

A Ricardo Vélez por su grata amistad, esfuerzo y entusiasmo en el desarrollo del presente proyecto.

A la ESPOL por su educación de calidad y su cultura de excelencia y mejora continua.

Al MSc. Efraín Terán y otros destacados docentes de la carrera de mecatrónica y de la universidad. Sus métodos de plantear soluciones me fueron transmitidos en varios proyectos y serán fructíferos en mis siguientes pasos.

Wilman Cuero

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Ricardo Antonio Vélez Sánchez* y *Wilman Joel Cuero Núñez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Ricardo Vélez Sánchez



Wilman Cuero Núñez

EVALUADORES

Efraín Terán, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Eloy Moncayo, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la ciudad de Guayaquil, una empresa de productos alimenticios cuenta con una línea de envasado de snacks. Esta línea de producción es planificada dos días al mes. Para realizar esta actividad utilizan cuatro operarios, debido a que poseen cuatro máquinas de envasado de snack. Los operarios se mantienen parados en el lado de operación de la máquina, colocando los sachets de salsa uno a uno el tiempo que dure la producción. Este proceso genera pérdidas económicas y productivas ya que los operarios son de otras áreas de la planta.

Por eso el presente trabajo plantea el diseño de un sistema de alimentación, orientación y transporte de sachets automatizado para reemplazar a los operarios. El sistema cuenta con una capacidad de almacenar 1500 sachets y cumplir con el requerimiento de posicionarlos en el riel de pegado en la máquina cada segundo. El diseño final fue modelado en el software Autodesk Inventor. Se diseñó el alimentador que posee un vibrador electromagnético para dosificar los sachets hacia un tazón vibratorio. El tazón posee una unidad de accionamiento que vibra y permite orientar los sachets en el tazón. Se consideró, además, un transportador lineal vibratorio a la salida del tazón y una banda transportadora que lleva los sachets hacia un riel en la máquina que contiene cinta adhesiva. El material seleccionado para los equipos es el acero inoxidable 304, ya que es de grado alimenticio. Para el sistema eléctrico y de control se diseñó un sistema capaz de sincronizar el proceso mediante el uso de un PLC S7 200. Se simuló el encendido, apagado del sistema y el control de dosificación de sachets del alimentador al tazón.

Con esta solución propuesta se espera sustituir a los operarios que realizan un trabajo repetitivo y lograr un crecimiento económico en la empresa. Además, generar un ahorro para la empresa de contratar más personal y ubicar a los operarios en otras líneas de producción.

Palabras Clave: Vibración, orientación, sachets, producción de snacks.

ABSTRACT

In the city of Guayaquil, a food products company has a snacks packaging line. This production line is scheduled two days a month. To carry out this activity they use four operators, because they have four snack packaging machines. The operators stand on the operating side of the machine, placing the sauce sachets one by one for the duration of production. This process generates economic and productive losses because the operators are from other areas of the plant.

For this reason, the project proposes the design of an automated sachet feeding, orientation and transport system to replace the operators. The system has a capacity to store 15,000 sachets and meet the requirement of positioning them on the gluing rail in the machine every second. The final design was modeled in Autodesk Inventor software. The feeder was designed with an electromagnetic vibrator to dose the sachets into a vibratory bowl. The bowl has a drive unit that vibrates and allows orienting the sachets in the bowl. In addition, a linear vibrating conveyor at the bowl outlet and a conveyor belt carrying the sachets to a rail in the machine that will transport the sachets with adhesive tape. The material selected for the equipment is 304 stainless steel, food grade steel. For the electrical and control system, a system capable of synchronizing the process was designed using a PLC S7 200. The system was simulated to turn on, turn off and control the dosing of sachets from the feeder to the bowl.

With this proposed solution it is expected to replace the operators who perform repetitive work and achieve economic growth in the company. In addition, it is expected to generate savings for the company by hiring more personnel and placing the operators in other production lines.

Key words: Vibration, orientation, sachet, snack production.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Automatización de procesos en la industria alimentaria.....	8
1.4.2 Sistemas de almacenamiento y dosificación	10
1.4.3 Tipos de máquinas para orientación de piezas	13
1.4.4 Estado del arte	16
CAPÍTULO 2	18
2. Metodología.....	18
2.1 Requerimientos del diseño.....	18
2.2 Alternativas de solución	20
2.3 Proceso de diseño	24

2.4	Diseño conceptual	26
2.5	Generalidades del diseño mecánico	27
2.5.1	Dimensionamiento de partes	31
2.5.2	Cálculos matemáticos para modelado de los equipos vibratorios	37
2.5.3	Selección de vibrador electromagnético para el alimentador	40
2.5.4	Selección de unidad de accionamiento para el tazón	41
2.5.5	Selección de vibrador electromagnético para el transportador lineal	44
2.6	Diseño del sistema de control	47
2.6.1	Selección de sensores	49
2.6.2	Selección de controlador	52
2.6.3	Programación del sistema	54
2.7	Diseño del sistema eléctrico	57
2.7.1	Diagrama de conexiones eléctricas.....	57
2.7.2	Descripción de componentes eléctricos	58
CAPÍTULO 3		62
3.	Resultados y análisis	62
3.1	Diseño final de la solución	62
3.2	Análisis de los resultados obtenidos	56
3.3	Análisis mecánico en la estructura de soporte.....	59
3.4	Análisis de la potencia consumida del sistema	63
3.5	Funcionalidad de la programación	64
3.6	Análisis de costos	68
CAPÍTULO 4		71
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	71
4.1	Conclusiones	71
4.2	Recomendaciones	72

BIBLIOGRAFÍA	73
APÉNDICES.....	76

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PP	Polipropileno
PET	Tereftalato de polietileno
DC	Direct Current (Corriente Directa)
PVC	Policloruro de Vinilo
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos
AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero
PLC	Controlador Lógico Programable
PPI	Protocolo Punto a Punto
RMS	Raíz de la Media de los Cuadrados

SIMBOLOGÍA

cm	Centímetros
kg	Kilogramos
g	gramos
m ³	Metros cúbicos
L	Litros
m	Metros
Hz	Hertz
μ_s	Coeficiente de fricción estática
V	Voltios
MPa	Megapascales
cm ³	Centímetros cúbicos
θ	Theta
φ	Phi
π	Pi
mA	Miliamperios
GPa	Gigapascales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Snack con sachet de salsa BBQ	2
Figura 1.2 Operarios realizando la colocación manual de sachets de salsa	3
Figura 1.3 Productos de mayor consumo por ecuatorianos	6
Figura 1.4 Funda de snack de papas fritas.....	7
Figura 1.5 Sachet de salsa de tomate	7
Figura 1.6 Ventajas de la automatización en la industria alimenticia.....	8
Figura 1.7 Alimentador con transporte elevador.....	10
Figura 1.8 Alimentador con vibrador electromagnético	11
Figura 1.9 Alimentador con válvula de descarga.....	12
Figura 1.10 Alimentador centrifugo.....	13
Figura 1.11 Tazón vibratorio.....	14
Figura 1.12 Brazo robótico con sujeción por ventosas	15
Figura 1.13 Sección de entrada de la máquina envasadora	16
Figura 1.14 Sección de salida de la máquina envasadora	17
Figura 2.1 Espacio disponible entre dos máquinas envasadoras.....	19
Figura 2.2 Proceso de colocación manual del sachet en el riel de pegado	23
Figura 2.3 Metodología de diseño	25
Figura 2.4 Diseño conceptual de la solución	26
Figura 2.5 Vista lateral del alimentador electromagnético	28
Figura 2.6 Partes principales de un tazón vibratorio.....	29
Figura 2.7 Banda transportadora con accionamiento interno	30
Figura 2.8 Modelado del soporte de la cinta adhesiva	31
Figura 2.9 Trampa para orientar piezas rectangulares.....	33
Figura 2.10 Ubicación sugerida de la banda transportadora	35
Figura 2.11 Riel de pegado para los sachets de salsa	36
Figura 2.12 Soporte para cinta adhesiva.....	37
Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del sachet de salsa en el tazón	38
Figura 2.14 Partes de un electroimán.....	42
Figura 2.15 Especificaciones del catálogo de la empresa RNA	43
Figura 2.16 Vista superior de la unidad de accionamiento	44

Figura 2.17 Vista lateral de la unidad de accionamiento	44
Figura 2.18 Diagrama de flujo	48
Figura 2.19 Sensor ultrasónico UC250.....	52
Figura 2.20 Simatic S7-200	54
Figura 2.21 Diagrama de programación del sistema	56
Figura 2.22 Diagrama de conexiones de la solución	57
Figura 2.23 Dimensiones del controlador de vibraciones	60
Figura 2.24 Dimensiones del segundo controlador de vibraciones	61
Figura 3.1 Diseño final de la solución realizado en Inventor	54
Figura 3.2 Modelo en 3D de la solución propuesta	55
Figura 3.3 Sachet adherido a la funda de snack	56
Figura 3.4 Simulación de esfuerzo Von Mises.....	60
Figura 3.5 Datos técnicos del tipo de soldadura.....	61
Figura 3.6 Calculadora de Inventor para el análisis de la soldadura	62
Figura 3.7 Simulación de la deformación en la estructura de soporte	63
Figura 3.8 Pestaña de activación del PLC.....	65
Figura 3.9 Estado inicial de la simulación.....	65
Figura 3.10 Activación de las salidas	66
Figura 3.11 Desactivación del alimentador vibratorio	67
Figura 3.12 Acción de parada del sistema	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación de procesos manuales y automáticos en industrias	9
Tabla 2.1 Requerimientos generales.....	18
Tabla 2.2 Ponderación según los criterios.....	21
Tabla 2.3 Cálculo de puntaje para definir la mejor alternativa	22
Tabla 2.4 Geometría y masa de un sachet de salsa	27
Tabla 2.5 Características generales de la banda transportadora	30
Tabla 2.6 Requerimientos de diseño del alimentador.....	32
Tabla 2.7 Requerimientos de diseño del tazón.....	33
Tabla 2.8 Especificaciones de los vibradores electromagnéticos	40
Tabla 2.9 Dimensiones del vibrador electromagnético	41
Tabla 2.10 Especificaciones del vibrador electromagnético	45
Tabla 2.11 Vibrador electromagnético para el transportador lineal	46
Tabla 2.12 Características del motor conmutado eléctricamente	49
Tabla 2.13 Ventajas y desventajas de los tipos de sensores	50
Tabla 2.14 Especificaciones modelo sensor ultrasónico seleccionado	51
Tabla 2.15 Ventajas y desventajas de controladores	53
Tabla 2.16 Especificaciones técnicas PLC Siemens S7-200.....	54
Tabla 2.17 Variables utilizadas en TIA PORTAL	55
Tabla 2.18 Componentes eléctricos principales	58
Tabla 2.19 Especificaciones del controlador para el alimentador.....	60
Tabla 2.20 Especificaciones del controlador para el tazón y transportador.....	61
Tabla 3.1 Datos teóricos del alimentador	57
Tabla 3.2 Datos teóricos del tazón vibratorio.....	57
Tabla 3.3 Datos teóricos del transportador lineal	57
Tabla 3.4 Datos teóricos del riel de pegado	58
Tabla 3.5 Estructura de costos	69

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de snacks es un hábito común en el día a día de las personas. Las fundas de snacks pueden ser adquiridas con facilidad en tiendas a nivel local. Esto permite que los snacks sean líderes en el mercado ecuatoriano. Según datos de Agrocalidad, de los 1.261 productos registrados y procesados, los snacks concentran el 25 %. [1]

Las empresas alimenticias realizan el envasado de snacks en bolsas. La máquina que lo realiza es comúnmente denominada envasadora, la cual realiza el proceso de transporte y empaquetado del snack. Las bolsas de snacks poseen de 100 a 200 gramos de contenido.

El consumo de snacks comúnmente se lo realiza con diferentes tipos de salsas. En la industria, para poder empaquetar salsas se usan pequeñas fundas herméticas más conocidas como sachets. Esto da la posibilidad de que la empresa tenga una línea de producción de envasado de snacks acompañado de un sachet de salsa para los consumidores.



Figura 1.1 Snack con sachet de salsa BBQ

La línea de producción comienza con la máquina envasadora de snacks realizando el proceso de transporte de la lámina que contendrá el snack. Un operario que realiza la colocación de un sachet de salsa en un riel donde hay cinta adhesiva. El operario realiza esta actividad sucesivamente hasta completar la producción. Sin embargo, este proceso repetitivo durante una jornada laboral resulta improductivo para el operador de turno. Es por esto, que el presente proyecto propone el diseño de un sistema mecatrónico que permita automatizar el proceso de colocación de sachets de salsa en la funda de snacks. Este sistema permitirá al operario poder supervisar el proceso completo sin invertir tiempo pegando el sachet.

1.1 Descripción del problema

En una empresa de producción de alimentos y bebidas ubicada en el norte de Guayaquil, cuatro operarios realizan la colocación de sachets de salsa. Un operario en cada máquina envasadora que posee la empresa. El sachet debe ser colocado en una posición específica sobre una cinta que es colocada en un riel instalado en la máquina. Es un proceso repetitivo y con alto consumo de tiempo que demanda automatizar el proceso y dar paso a un sistema mecatrónico que permita la optimización de recursos.

Las máquinas envasadoras utilizadas en la empresa empacan 60 fundas de snacks en un minuto, siendo el uso de operarios una pérdida en recursos y productividad. El operario desvía su atención y capacidad de poder realizar otros procesos de producción. Cabe mencionar que los operarios que realizan la colocación de los sachets, no pertenecen exclusivamente a esta área de envasado, sino que se turnan entre operarios con disponibilidad. Como consecuencia de esta actividad otras áreas con otras líneas de producción quedan con menor personal. La empresa también ha optado por contratar más personal para cubrir la demanda.



Figura 1.2 Operarios realizando la colocación manual de sachets de salsa

1.2 Justificación del problema

El proceso para esta actividad genera una necesidad de parte del empleador de buscar una alternativa más eficiente. Esto evitará que diferentes operarios roten y realicen una actividad repetitiva por largos periodos de tiempo. Los procesos llevados a cabo manualmente tienen sus ventajas como contar con mano de obra cualificada para realizar las actividades. Sin embargo, trae consigo desventajas como realizar un mismo trabajo por un solo operario por largos períodos de tiempo y además de generar un aumento en el tiempo de producción.

Actualmente la automatización se está convirtiendo en una necesidad para mejorar la competitividad en el sector productivo. Dicho concepto se ha expandido a tareas ejecutadas por máquinas reemplazando las tareas manuales. Considerando este proceso en la industria, las ventajas que se obtienen son las siguientes: incremento en la productividad, aumento en la seguridad laboral, aumentar la eficiencia del proceso, disminuir costos de producción, incrementar calidad en el proceso. [2]

Por otra parte, Ecuador es considerado uno de los países de América Latina en poseer la mayor tasa de emprendimiento con alrededor del 30% de la población, la cual posee un negocio nuevo. Este deseo de emprender es llevado a cabo gracias a dos motivaciones principales: la oportunidad y la necesidad. [3]

El sistema mecatrónico daría la oportunidad a emprendedores que deseen comercializar sus marcas de salsas. La automatización del proceso generaría una oportunidad para el empleador de realizar acuerdos comerciales con nuevas marcas en el mercado ecuatoriano. Esto permitiría a los consumidores la degustación de nuevas salsas con sus snacks preferidos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema mecatrónico de colocación automática de sachets de salsa sobre bolsas de snacks, mediante el almacenamiento, orientación y transporte, para la mejora de la productividad en la línea.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar el mecanismo para transportar sachets desde un alimentador hasta el riel de pegado.
- Dimensionar los componentes del alimentador, el tazón vibratorio, el transportador lineal y banda
- Diseñar el control secuencial para la correcta operación del sistema mecatrónico en conjunto.

1.4 Marco teórico

En Ecuador, la lista de productos que son de preferencia para el consumo de los ecuatorianos se encuentra liderado por gaseosas y snacks. Esta aseveración es gracias a un estudio realizado por Dichter & Neira, la cual es una empresa de investigación de mercado. En la Figura 1.3 se muestra los productos de mayor consumo siendo los snacks el segundo producto más consumido. [4]



Figura 1.3 Productos de mayor consumo por ecuatorianos [4]

Los envases en los cuales se almacenan los snacks son bolsas compuestas generalmente de polipropileno (PP) o tereftalato de polietileno (PET). Estos materiales permiten que el snack dentro del empaque se conserve en condiciones adecuadas para su consumo. El peso promedio de las fundas de snack es de 100 gramos, tal como se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Funda de snack de papas fritas

Por otra parte, los sachets son los envases más utilizados en el sector alimenticio y en otros sectores como la cosmética. La Figura 1.5 ilustra un sachet de salsa de tomate. Las características del sachet son su forma rectangular y su textura lisa. La composición principal es de aluminio u otro tipo de plásticos antimicrobianos. Los sachets son cerrados herméticamente, diseñados para almacenar de 6 a 10 gramos de producto.



Figura 1.5 Sachet de salsa de tomate

1.4.1 Automatización de procesos en la industria alimentaria

La automatización en la industria alimentaria ha presentado grandes avances en distintos procesos los cuales son cruciales para optimizar procesos y desarrollos. Es importante mencionar que los sistemas de automatizados y de control deben estar constituidos por una arquitectura flexible para poder realizar los procesos de producción principales y auxiliares. [5]

En la industria alimentaria existe una alta demanda, por lo que la finalidad sería reducir precios. Es necesario utilizar un sistema de características muy específicas que faciliten un control estricto. El proceso siempre debe ir de la mano humana ya que igual se requiere el control de programas electrónicos, procesos y los flujos de producción. La clasificación manual de alimentos consume un tiempo considerable de gestión en las empresas, para la organización y dirección continua de equipos de operadores. [6]

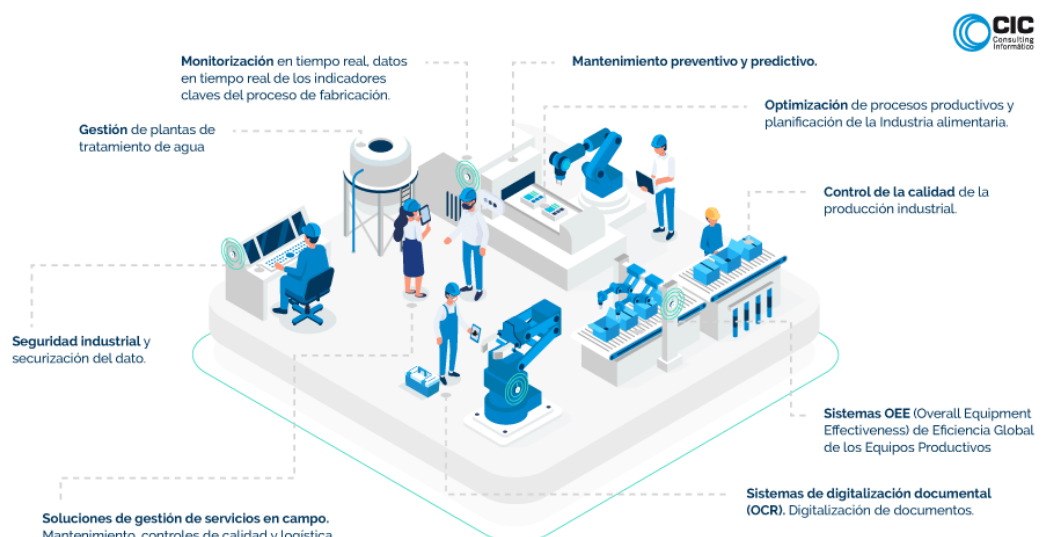


Figura 1.6 Ventajas de la automatización en la industria alimenticia [5]

Existen beneficios reales obtenidos en la industria alimentaria al haber implementado soluciones automáticas. Los más notables son la mejora en la eficiencia de procesos, el aumento de producción con menores costes, la mejora en la trazabilidad, la visibilidad de los trabajos y la seguridad para los trabajadores. En la Tabla 1.1, se comparan las desventajas más relevantes del proceso industrial manual y se contrastan con los beneficios del proceso automatizado. [7]

Tabla 1.1 Comparación de procesos manuales y automáticos en industrias

Procesos Manuales	Procesos Automáticos
Producción no alcanzada por obreros que incumplen sus horas de trabajo	Disponibilidad 24 horas
Pérdidas por productos perecibles que los clientes devuelven por baja calidad	Mejora de calidad
Los empleados disminuyen su productividad a lo largo del día	Repetitividad permanente

1.4.2 Sistemas de almacenamiento y dosificación

Los alimentadores son el primer elemento utilizado en los sistemas de almacenamiento. Son depósitos que tienen como característica almacenar y transportar diferentes tipos de productos. Dependiendo la finalidad de uso, pueden manufacturarse de diferentes tamaños y formas. Los materiales más utilizados para su fabricación son el acero al carbono, acero inoxidable o materiales antiadherentes.

Son varios sectores en la industria que utilizan alimentadores, tales como la industria minera, la industria alimentaria, entre otras. Los alimentadores funcionan en conjunto con sistemas que permiten transportar y dosificar el material almacenado. Diferentes tipos de transporte son descritos a continuación:

- **Transportador elevador:** Son ampliamente utilizados en la industria para almacenar grandes cantidades de material y que luego requieran ser transportados en cantidades más pequeñas. Un ejemplo de este tipo de transportador se ilustra en la Figura 1.7.



Figura 1.7 Alimentador con transporte elevador [8]

- **Vibrador electromagnético:** Utilizados para transportar material de forma controlada hacia otro punto. Son indispensables para suministrar continuamente materia. Es un equipo de mucha importancia para la operación del flujo automatizado. La vibración es controlada mediante una caja de control que regula las vibraciones mediante potenciómetro. La estructura es simple, la operación conveniente, no requiere de lubricación y es de bajo consumo eléctrico. El material principal es de acero inoxidable. La Figura 1.8 ilustra este tipo de alimentador.



Figura 1.8 Alimentador con vibrador electromagnético

- **Válvula de mariposa para descarga:** Su diámetro y diseño van de la mano del flujo de material para transportar. El material utilizado es acero inoxidable. Son de fácil colocación y resistentes a la abrasión, ilustrado en la Figura 1.9.



Figura 1.9 Alimentador con válvula de descarga

1.4.3 Tipos de máquinas para orientación de piezas

Para el sistema de orientación de piezas en la industria, se conoce diferentes equipos que permiten realizar dicha acción. Se describe a continuación los más representativos:

- **Alimentador centrífugo:** Ideal para piezas ligeras de plástico con un alto flujo de alimentación y geometría simple. Son accionado por un motor eléctrico que ejerce la fuerza motriz a través de un conjunto de engranajes. El principio de funcionamiento se basa en un disco plano o cónico que gira. Al girar, la fuerza centrífuga desplaza las piezas hacia la periferia del cuenco, dejando pasar solo los que tengan una posición deseada. La Figura 1.10 ilustra un alimentador centrífugo.



Figura 1.10 Alimentador centrífugo

- **Tazón de alimentación vibratorio:** Son unidades sofisticadas y robustas. Permiten alimentar y orientar piezas de diferentes tamaños. Sus dimensiones son personalizables según el producto a transportar. Son utilizados en la industria farmacéutica, automotriz, alimentaria, entre otras. Está conformado por un vibrador circular y un cuenco. El vibrador es un electroimán el cual su función es impulsar las piezas hacia vibradores lineales o bandas transportadoras. En la Figura 1.11 se ilustra un tipo de tazón vibratorio.



Figura 1.11 Tazón vibratorio

- **Brazo robótico con visión artificial:** Es una unidad articulada, rápida, fiable y precisa. Son programados para realizar diferentes tipos de actividades en diferentes entornos. Son utilizados en fábricas para actividades repetitivas. Cuentan actualmente con cámaras que les permite detectar objetos en su entorno, reconocerlos y manipularlos. La Figura 1.12 ilustra un tipo de brazo robótico con ventosas para sujetar materiales. [9]



Figura 1.12 Brazo robótico con sujeción por ventosas

1.4.4 Estado del arte

La máquina envasadora es la encargada de llevar a cabo la línea de producción de envasado de snack. Posee una sección de entrada, la cual está conformado por el rollo de papel para el snack. La siguiente sección es de transporte de la lámina de papel a través de un conjunto de rodillos. Al finalizar esta sección de transporte, se encuentra la tolva de suministro de snacks. La Figura 1.13 ilustra la sección de entrada de dos máquinas envasadoras.



Figura 1.13 Sección de entrada de la máquina envasadora

La sección de salida, ilustrada en la Figura 1.14, cuenta con la zona de envasado, sellado y cortado de las bolsas de snacks. Posteriormente las bolsas de snacks son transportadas por una banda de salida. La productividad de la máquina envasadora es 60 snacks en un minuto.



Figura 1.14 Sección de salida de la máquina envasadora

En la industria de ensamblaje y transporte de piezas, se utilizan alimentadores que dosifican piezas o materiales y los tazones vibratorios como elementos principales para orientar componentes de forma individual. Ambos se pueden personalizar según requerimientos. El presente proyecto de investigación utilizará de base este sistema de orientación y transporte vibratorio.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El capítulo detallará las características generales para desarrollar el sistema mecatrónico. Posteriormente, se determinarán los diferentes elementos mecánicos, eléctricos y de control. Además, se analizará el dimensionamiento del sistema en base a las especificaciones iniciales del cliente.

2.1 Requerimientos del diseño

En esta sección se detallan los requerimientos generales definidos por el cliente. En la Tabla 2.1 se describen brevemente los requerimientos generales conversados con el cliente. La Figura 2.1 representa el espacio que existe entre las máquinas.

Tabla 2.1 Requerimientos generales

Requerimientos	Descripción
Funcionalidad	Posicionar un sachet por segundo en el riel de pegado de la máquina
Capacidad	Transportar un aproximado de 1,500 sachets durante la producción
Espacio disponible	118 centímetros de ancho y 220 centímetros de altura
Mantenimiento	Sencillo y de bajo consumo de tiempo
Alimentación en la planta	110 voltios monofásica, 220 voltios monofásica y 380 trifásica, 60 Hertz

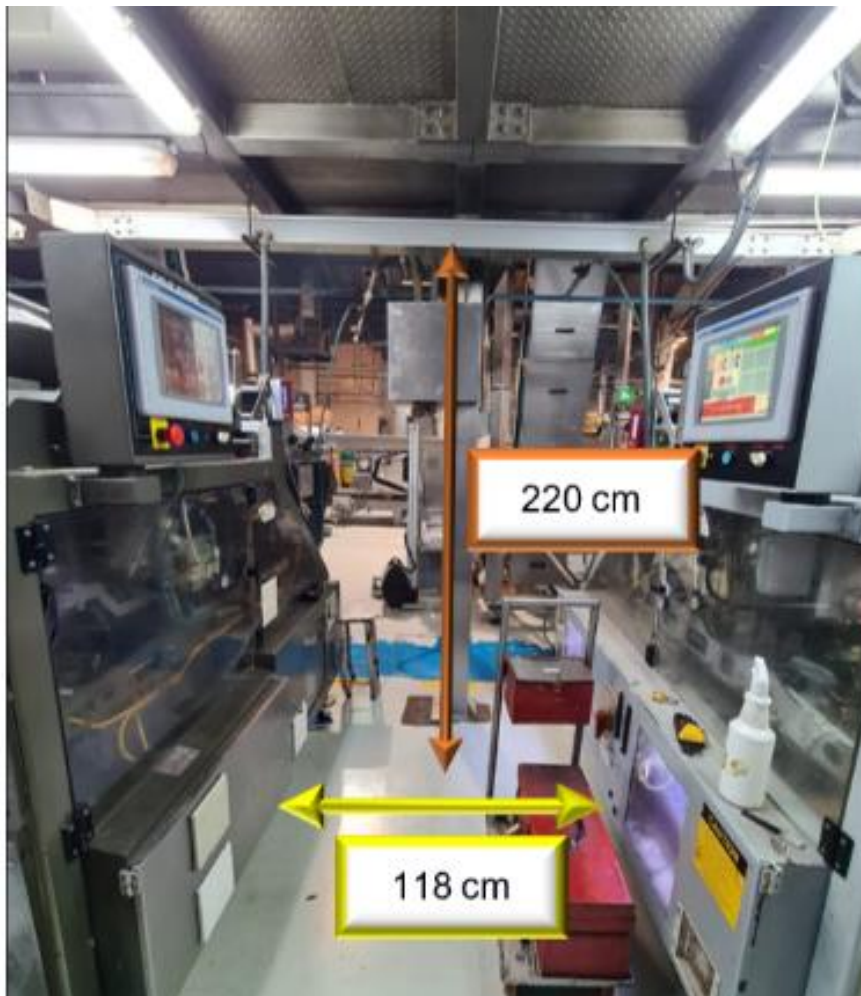


Figura 2.1 Espacio disponible entre dos máquinas envasadoras

2.2 Alternativas de solución

El sistema mecatrónico final, contó con tres alternativas. Esto es debido a la necesidad de transportar el sachet de forma ordenada e irlo colocando uno a uno en la cinta adhesiva. A continuación, se muestran las alternativas de solución con una breve descripción de cada una.

- **Alternativa 1:**

Diseño de un sistema mecatrónico con un alimentador con motores vibradores, una mesa circular giratoria donde los sachets de salsa van cayendo uniformemente y un brazo robótico con sujeción por ventosa.

- **Alternativa 2:**

Diseño de un sistema mecatrónico con un alimentador vibratorio, un sistema de orientación por un tazón y transportador vibratorio y una banda de salida con accionamiento interno.

- **Alternativa 3:**

Diseño de un sistema mecatrónico con un alimentador con válvula de escape, un alimentador centrífugo y una banda de salida con accionamiento interno.

Se evaluaron las alternativas de acuerdo con los siguientes criterios: espacio, versatilidad de uso, capacidad, mantenimiento, costo, diseño sencillo. El análisis está basado en el método de multicriterio para definir la mejor alternativa de solución. En la Tabla 2.2 se detallan los criterios y su ponderación.

Tabla 2.2 Ponderación según los criterios

Criterios	Ponderación W_i
Espacio	3
Versatilidad de uso	3
Capacidad	2
Mantenimiento	2
Costo	1
Diseño	2

1= Baja importancia 2 = Media importancia 3=Alta importancia

- **Espacio:** Hace referencia al volumen disponible para los componentes del sistema.
- **Versatilidad de uso:** Fácil y rápido de operar, sin dejar a un lado las necesidades del usuario.
- **Capacidad:** Cuantos sachets de salsa puede almacenar durante la producción.
- **Mantenimiento:** Debe ser de fácil y rápida ejecución.
- **Costo:** Debe ser accesible para el cliente si desea implementarlo.
- **Diseño:** Debe ser entendible para poder bosquejar y transmitir la información necesaria de ser necesario fabricar.

Se establece una escala que mide la satisfacción según la alternativa propuesta. En donde:

W_i : Ponderación según el criterio

R_{ij} : Valoración de la alternativa según el criterio

P_j : Valoración de la alternativa según el criterio

Tabla 2.3 Cálculo de puntaje para definir la mejor alternativa

Criterios	Ponderación W_i	R_{i1}	R_{i2}	R_{i3}
Espacio	3	3	2	2
Versatilidad de uso	3	2	5	3
Capacidad	2	4	4	4
Mantenimiento	2	1	4	3
Costo	1	2	3	3
Diseño	2	4	2	4
Puntaje P(j)		35	44	40

1= Muy bajo 2= Bajo 3= Medio 4= Alto 5= Muy alto

La ecuación 2.1 permite calcular la sumatoria total de la ponderación según el criterio multiplicado por la valoración de la alternativa según el criterio. El mismo caso se realiza para las otras dos alternativas de solución. En base a los resultados obtenidos se seleccionó la opción 2. La cual presenta la mayor puntuación y adicionalmente es la de mayor interés en el cliente.

$$P_j = \sum W_i R_{ij} \quad (2.1)$$

Todas las alternativas discutidas con el cliente, mantienen su objetivo de sustituir al operario de realizar el trabajo repetitivo de colocación ilustrados en la Figura 2.2.

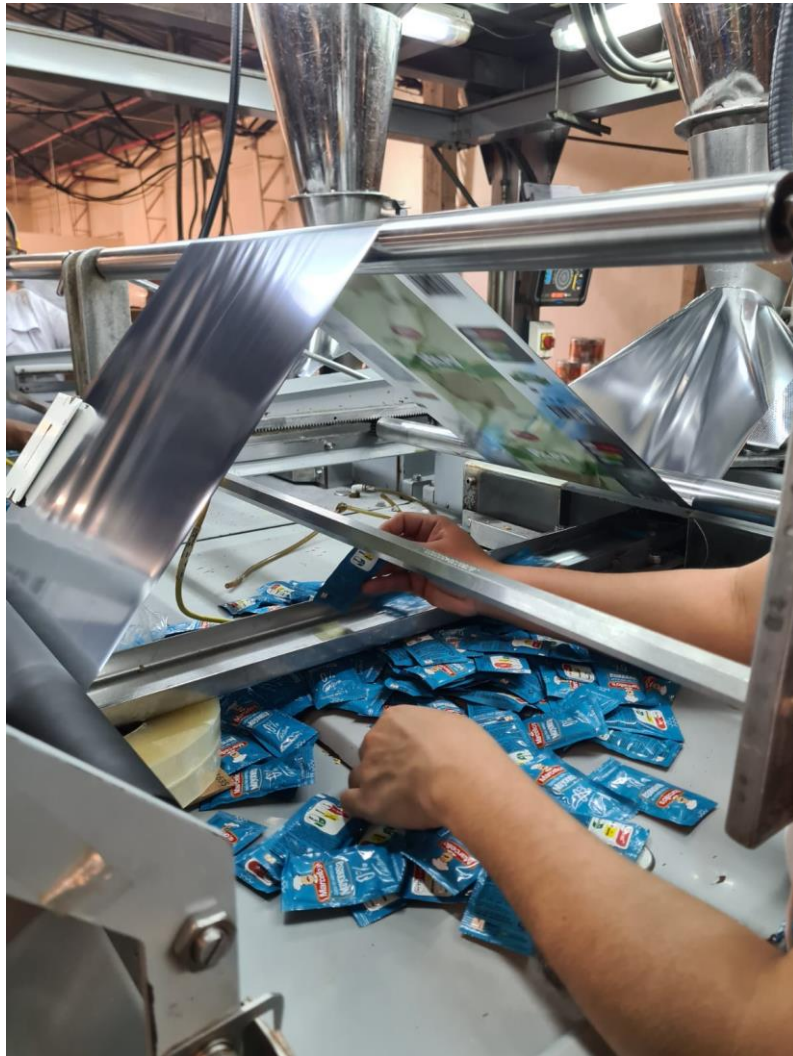


Figura 2.2 Proceso de colocación manual del sachet en el riel de pegado

2.3 Proceso de diseño

Para seleccionar el sistema mecatrónico final, se discutió con el cliente sus necesidades. Se abordó con detalle los requerimientos que se debían cumplir. Esto permitió definir un conjunto de etapas para alcanzar la solución deseada. Las etapas del proceso de diseño se muestran en la Figura 2.3.

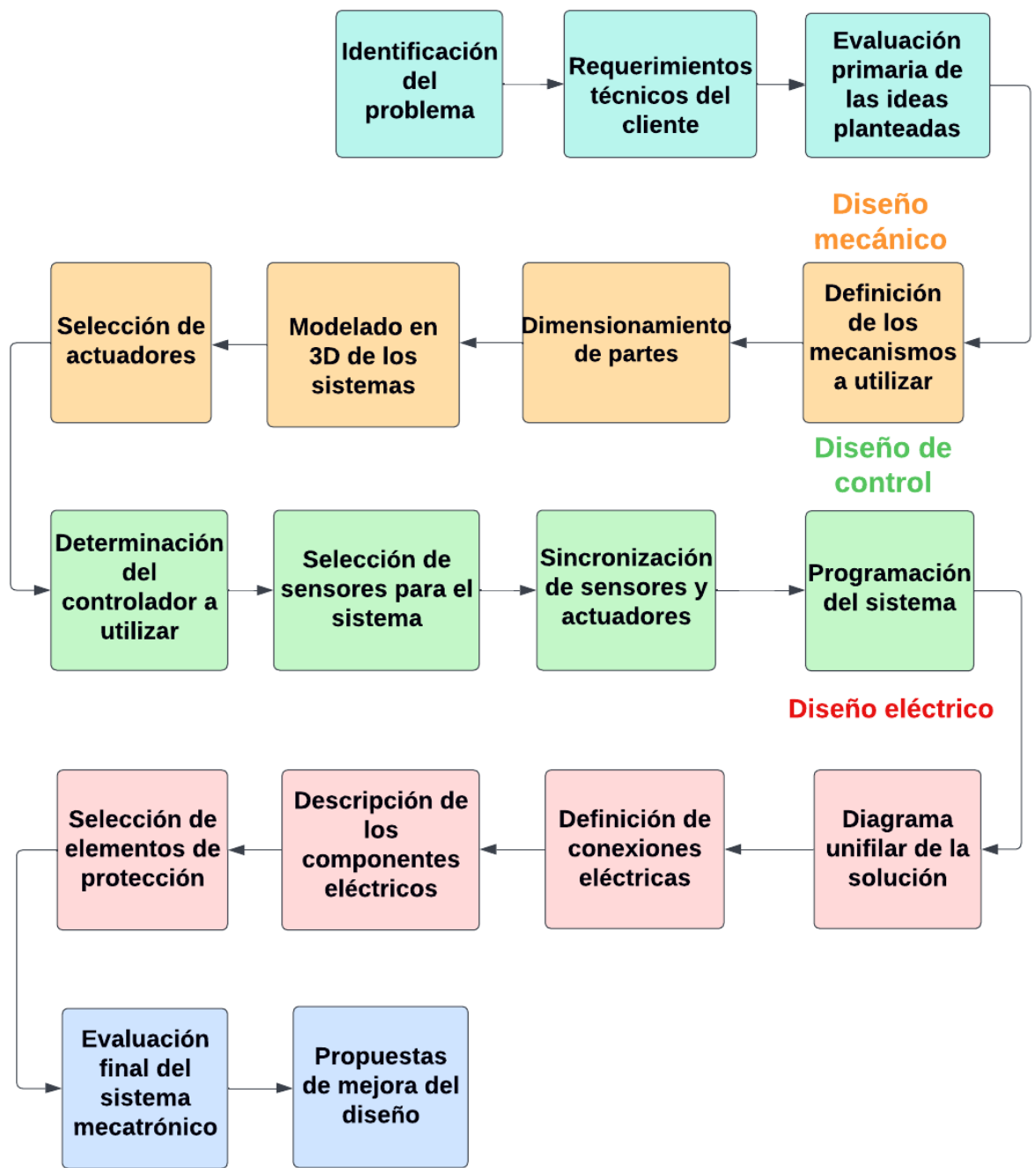


Figura 2.3 Metodología de diseño

2.4 Diseño conceptual

En la Figura 2.4 se ilustra los diferentes subsistemas que tendrá la solución final. El sistema cuenta como punto de partida al alimentador vibratorio, que almacena los sachets de salsa. Los sachets irán avanzando con un flujo constante hacia el tazón vibratorio, el cual los orientará. Al salir ordenados un transportador lineal será el encargado de llevarlos uno a uno hacia la banda transportadora que estará colocada en una sección encima de la maquina envasadora. Finalmente, el sachet viajara por la banda para luego caer en el riel de pegado cada segundo.

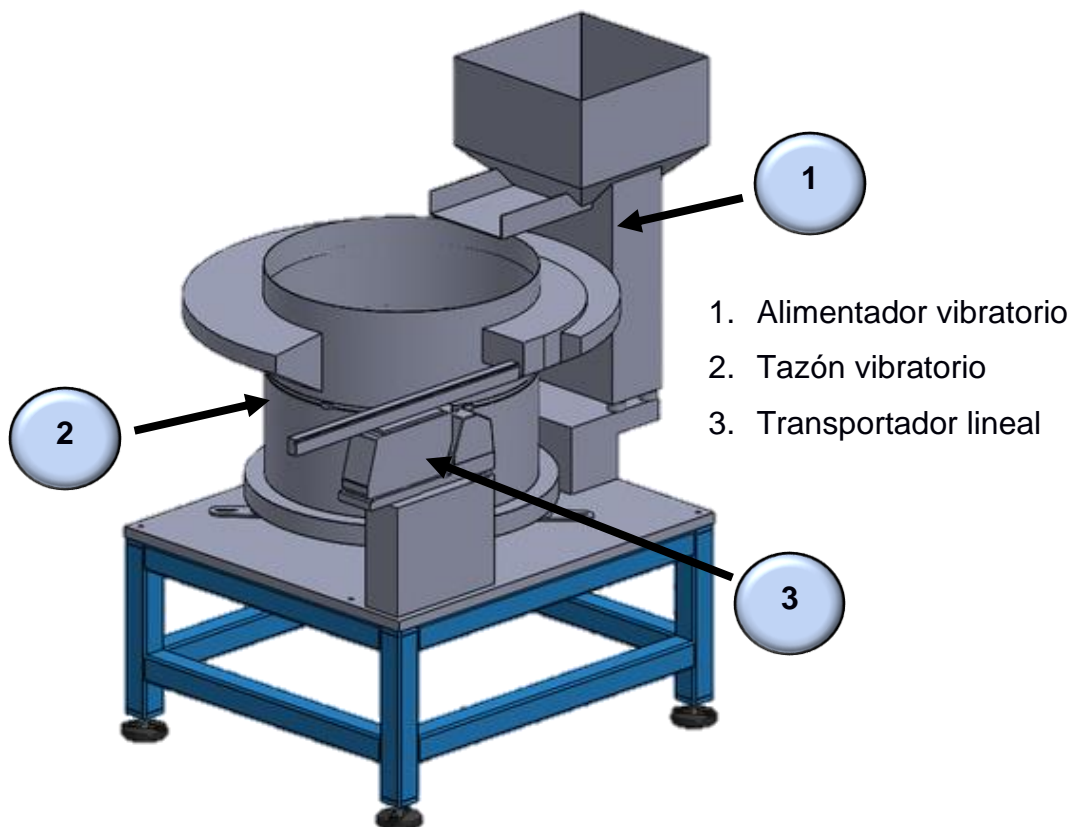


Figura 2.4 Diseño conceptual de la solución. Modificado de [10]

Es relevante para la investigación tener en cuenta las dimensiones y peso de un sachet de salsa. Estos datos son importantes ya que se debe estimar la

capacidad total que tendrá el alimentador y las dimensiones del tazón. En la Tabla 2.4 se especifica las dimensiones del sachet de salsa.

Tabla 2.4 Geometría y masa de un sachet de salsa

Dimensión	Valor
Largo [m]	0.075
Ancho [m]	0.036
Espesor [m]	0.003
Peso [g]	10
Volumen [L]	8.1×10^{-6}
Densidad [kg/m³]	1234.56

2.5 Generalidades del diseño mecánico

El sistema mecatrónico comienza con un alimentador electromagnético, Figura 2.5, el cual está conformado por:

1. Base
2. Portador de carga
3. Resorte elástico
4. Armadura
5. Inductor
6. Canal de vibración
7. Amortiguadores

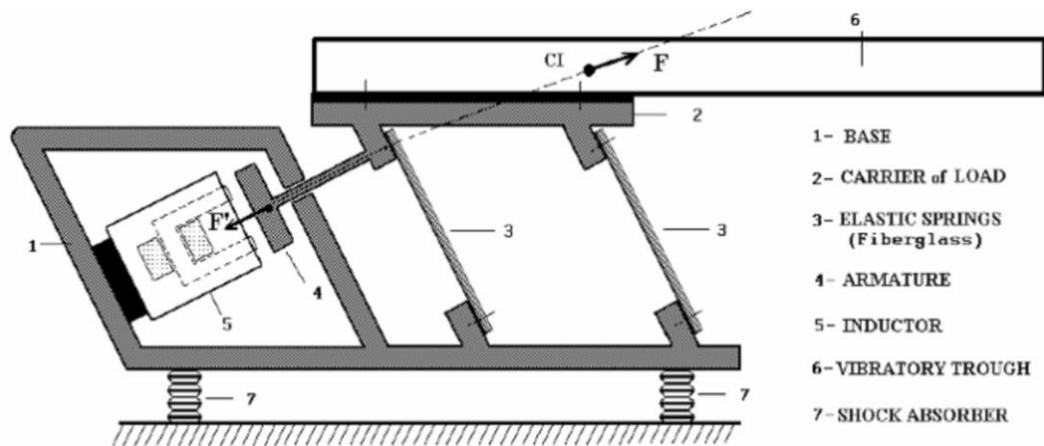


Figura 2.5 Vista lateral del alimentador electromagnético [11]

Para el tazón vibratorio, el modelo cónico es el ideal para esta aplicación. Son de gran utilidad para diferentes tipos de piezas, son eficientes y tienen un amplio uso en las industrias alimentarias y farmacéuticas. La Figura 2.6 ilustra un bosquejo del tazón, el cual está conformado por:

1. Pista
2. Sección de salida
3. Tazón
4. Electroimán
5. Resorte elástico
6. Base
7. Pies de apoyo

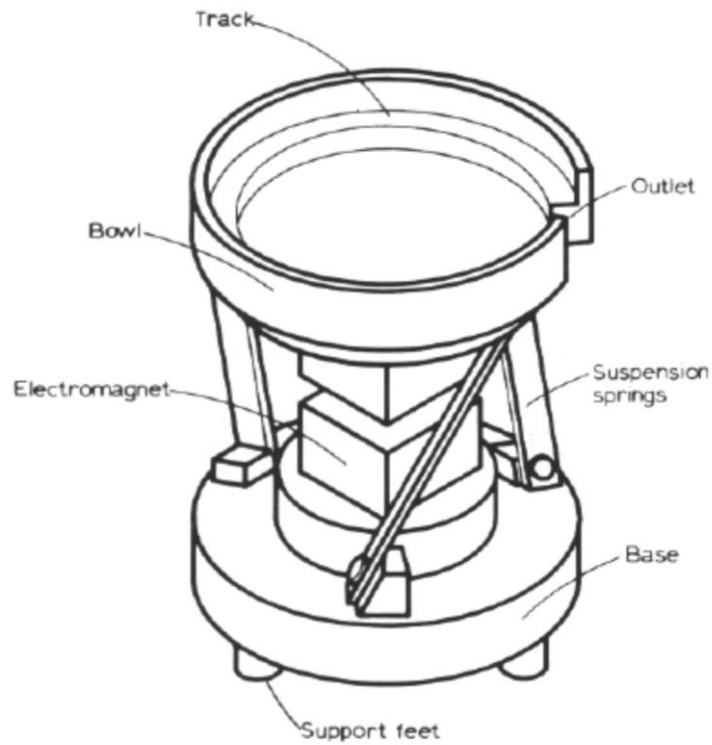


Figura 2.6 Partes principales de un tazón vibratorio [12]

Una vez que los sachets sean correctamente orientados, se dirigirán por un transportador lineal vibratorio. El transportador tendrá una geometría específica para mantener la orientación de salida. Será el encargado de llevar uno a uno los sachets a la banda transportadora.

Tabla 2.5 Características generales de la banda transportadora

Característica	Descripción
Tipo de accionamiento	Accionamiento interno
Tipo de motor	Conmutable eléctricamente
Dimensiones generales	Debe ser diseñada para utilizarse en espacios reducidos
Material de la banda	El material es de tipo PVC
Perfil de contención	Se recomienda que la banda tenga perfiles laterales de contención para evitar que el sachet caiga fuera de la banda

Un modelo similar al de la Figura 2.7, es ideal para utilizarlo en el transporte de los sachets ya ordenados. Los materiales deben ser seleccionados según medidas adecuadas, tales como: tornillos de acero, soporte de correa de acero inoxidable, poleas de aluminio, ejes de acero inoxidable, entre otros. [13]



Figura 2.7 Banda transportadora con accionamiento interno [13]

Para finalizar el proceso de transporte de sachets en la máquina se encuentra implementado un riel de pegado. Este sistema funciona en sincronización con la máquina envasadora. El rollo de cinta adhesiva es colocado en un soporte. Posteriormente se ubica la cinta a lo largo del riel para que el sachet se adhiera correctamente.

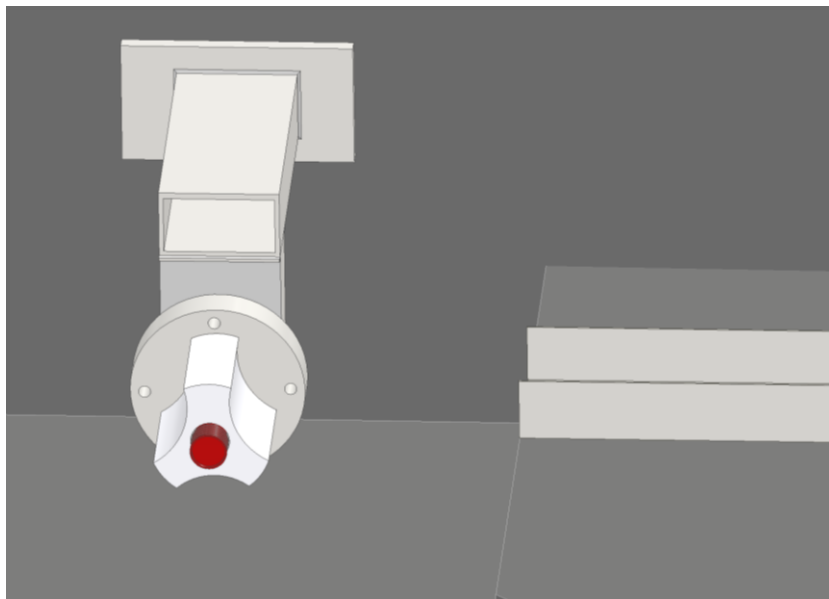


Figura 2.8 Modelado del soporte de la cinta adhesiva

2.5.1 Dimensionamiento de partes

Para el alimentador vibratorio se seleccionaron las características mostradas en la Tabla 2.6, en base al fabricante Vibrotech, el cual sugiere considerar las siguientes especificaciones de diseño. Cabe mencionar que el equipo no debe tener contacto con ninguna estructura rígida. [14]

Tabla 2.6 Requerimientos de diseño del alimentador

Característica	Descripción
Ángulo	Ángulo de 60 grados en la pared trasera del alimentador
Apertura de salida	La apertura de salida denominada H debe ser dos veces más grande que el material a transportar.
Ancho interno	El ancho interno debe ser cuatro veces más grande que el material a transportar.
Longitud	La longitud total debe ser por lo menos 15 centímetros más largo que el material.
Inclinación	La inclinación del alimentador se seleccionó 12 grados hacia la salida del material
Material	El material del alimentador es de acero inoxidable 304

Para el dimensionamiento del tazón vibratorio se utilizaron instrucciones de los fabricantes Automation Devices y VIBROMAQ los cuales sugieren los siguientes requerimientos de diseño, detallados en la Tabla 2.7. [15]

Tabla 2.7 Requerimientos de diseño del tazón

Característica	Descripción
Longitud de pieza	Se debe considerar la longitud de la pieza a transportar debido al radio de giro
Peso de la pieza	Es determinante para la elección de la potencia del equipo
Inclinación de la pista	Para piezas rectangulares se aconseja un ángulo positivo de 7 grados
Diámetro del tazón	Se recomienda diseñarlo 10 veces la longitud de la pieza a orientar
Trampa de salida en el tazón	Se debe colocar una trampa las cuales no necesariamente deben ser del mismo material del tazón. El tipo de trampa que se recomienda utilizar se ilustran en la Figura 2.9
Ancho de la pista	Se debe considerar el ancho de la pieza a transportar
Pies de apoyo de la unidad de accionamiento	Se recomienda utilizar neopreno flexible y que es un material reductor de vibraciones.

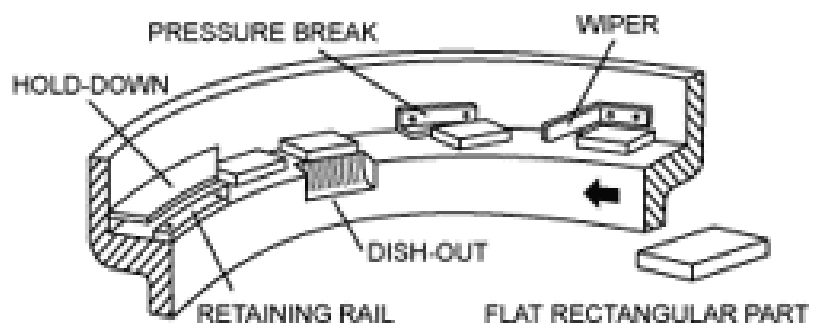


Figura 2.9 Trampa para orientar piezas rectangulares [16]

Finalmente, para el material del tazón vibratorio se eligió el acero inoxidable 304, mismo que se usa en el alimentador vibratorio. Esto debido a que este tipo de acero es aprobado por la FDA.

A la salida del tazón vibratorio, comienza un pequeño sistema de transporte de vibración lineal, el cual se recomienda utilizar acero inoxidable 304. Este sistema es de vital importancia debido a que la geometría del tazón evita que se enlace directamente con la banda. En una de las visitas realizadas a la empresa, se utilizó un flexómetro para estimar la longitud aproximada que debe tener el transportador. La longitud aproximada es de 420 milímetros de longitud y 45 milímetros de ancho. El transportador cuenta con un vibrador electromagnético lineal.

Para la banda transportadora, se realizó el mismo proceso de medición utilizando un flexómetro. Se consideró una longitud aproximada de 172 milímetros y un ancho de 60 milímetros. El accionamiento interno para la banda, fue seleccionado debido al espacio del que se dispone. La ubicación recomendada para la banda transportadora se la ilustra en la Figura 2.10. Se recomienda colocar la banda a una altura de 10 centímetros sobre la superficie de la máquina envasadora, debido a la altura del riel de pegado.



Figura 2.10 Ubicación sugerida de la banda transportadora

El riel de pegado permite la cinta adhesiva desplazarse junto al sachet de salsa. El sistema de pegado es completamente funcional. El riel cuenta con una longitud aproximada de 84 centímetros y un ancho es de 8,5 centímetros. El material del riel es de acero inoxidable. En la Figura 2.11, se puede apreciar el riel el cual se dirige hacia la zona de envasado del snack.



Figura 2.11 Riel de pegado para los sachets de salsa

En la Figura 2.12 se ilustra el soporte para el rollo de cinta adhesiva, el cual fue implementado en la máquina. Cuenta con un brazo horizontal y uno vertical de una longitud aproximada de 20 centímetros y un disco de giro de aproximadamente 10 centímetros de diámetro.



Figura 2.12 Soporte para cinta adhesiva

2.5.2 Cálculos matemáticos para modelado de los equipos vibratorios

La geometría del sachet se asumió como una pieza rectangular ideal. La velocidad de los sachets ocurre por vibración, por lo que se puede aproximar su dinámica a un movimiento armónico simple, explicado con mayor detalle en el Apéndice A.

Se determinó la capacidad del alimentador y la altura recomendada, permitiendo hacer una estimación del modelo final. Estos cálculos se basaron en las ecuaciones propuestas por la empresa Vibrotech. Los resultados obtenidos se encuentran en el Apéndice D.

Los cálculos para el diseño del tazón vibratorio se basaron en el libro de Geoffrey Boothroyd, *Assembly Automation and Product Design*. [17]

En el libro se detalla el procedimiento a tener en cuenta según la pieza que se desea orientar. Para los cálculos fue necesario realizar el diagrama de cuerpo libre del sachet en la pista del tazón ilustrado en la Figura 2.13.



Figura 2.13 Diagrama de cuerpo libre del sachet de salsa en el tazón

En donde:

N = Fuerza normal del sachet respecto a la pista del tazón

W = Peso del sachet

θ = Angulo de inclinación de la pista, el cual es de 5 grados.

φ = Angulo de vibración, el cual es de 30 grados

ω = Frecuencia de vibración

F_r = Fuerza de fricción

a_o = Máxima amplitud de vibración

a_g = Aceleración de la gravedad

Se calculó la máxima amplitud de vibración en la pista, debido al comportamiento del sachet de salsa en el tazón. Para este cálculo se utilizó la ecuación 2.2.

$$a_o = \frac{a_g \cdot \cos(\theta)}{\omega^2 \cdot \text{sen}(\varphi)} \quad (2.2)$$

Con el valor que se obtiene en la ecuación 2.2 se procede a calcular la relación de la aceleración normal de la pista y la aceleración de la gravedad representada en la ecuación 2.3.

$$\frac{A_n}{g_n} = \frac{a_o \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\varphi)}{g \cdot \cos(\theta)} \quad (2.3)$$

Para conocer si existe un desplazamiento hacia adelante, se utiliza la ecuación 2.4. El coeficiente de fricción del polietileno bio-orientado tiene gran relevancia en este cálculo. Con el resultado obtenido se puede asegurar el desplazamiento hacia adelante.

$$\frac{A_n}{g_n} > \frac{u_s + \tan(\theta)}{\cot(\varphi) + u_s} \quad (2.4)$$

Se debe cumplir la relación para que el sachet de salsa se desprenda de la pista y realice su desplazamiento hacia adelante. La relación de las aceleraciones debe ser mayor a uno.

$$\frac{A_n}{g_n} > 1 \quad (2.5)$$

2.5.3 Selección de vibrador electromagnético para el alimentador

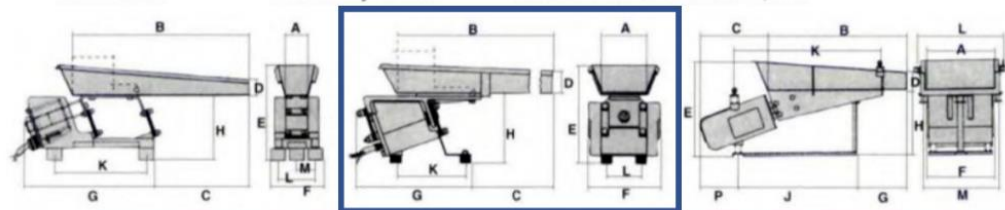
Al conocer el peso que almacenaría el alimentador, el cual es de 15 kilogramos, se determina que el modelo BF-3 es el adecuado para esta aplicación. Esta información es gracias al catálogo de la empresa Tarnos mostrado en la Tabla 2.8. La selección se la realiza en base a las dimensiones que tiene el alimentador y en base a esto los proveedores recomiendan el vibrador adecuado.

Tabla 2.8 Especificaciones de los vibradores electromagnéticos [18]

Especificaciones	Modelo	Potencia (W)	Intensidad (Amp.) *	Peso (Kg) □	Caudal Max. (T/h) •	Peso Max. bandeja (Kg)	Amplitud (mm.)
		FT-0	15	0,18	4,3	0,6	1,5
	FT-01	20	0,4	10	2	2,7	1,5
	FT-02	35	0,55	15	8	4,2	2,3
	BF-01	50	1,2	14	5	6	1,5
	BF-2	80	2	30	9	9	1,5
	BF-3	150	4,5	60	20	18	2,3
	F-152	100	1,2	36	12	12	1,6
	F-212	125	2,2	64	20	23	1,6

Al conocer el modelo, se verificó que cumpla con las características que debe tener el alimentador. Para este caso la longitud del diseño propuesto es de 587 milímetros, siendo la opción en el cuadro azul la aproximada a la solución propuesta. Las características del modelo se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Dimensiones del vibrador electromagnético [18]



DIMENSIONES (MILIMETROS)

Modelo	Figura	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	P
FT-0•	1*	40	305	163	25	160	76	222	111	-	159	57	29	-
		50	203	71										
FT-01	1*	76	455	320	45	222	127	232	152	-	143	79	-	-
		100	455	320										
		150	305	170										
FT-02	1*	150	455	320	50	227	127	267	128	-	143	79	-	-
		200	400	240										
BF-01	2*	150	610	362	50	245	167	292	169	-	168	80	-	-
		200	500	331										
		250	500	331										
		300	360	203										
BF-2	2*	200	760	446	50	296	203	320	220	-	178	152	-	-
		255	760	446										
		305	610	370										
		305	610	370										
BF-3	2	203	1219	811	102	414	254	437	287	-	191	197	-	-
		305	1070	735										
		356	762	557										
		406	762	329										
F-152	3*	250	915	135	75	365	203	474	310	423	752	384	303	153
		150	915	135										
		200	915	135										
		300	750	213										
F-212	3*	305	915	271	75	400	279	302	319	709	783	439	389	175
		350	915	271										
		400	765	314										
		450	600	334										

2.5.4 Selección de unidad de accionamiento para el tazón

En la base del tazón vibratorio se encuentra un electroimán, el cual se lo representa gráficamente en la Figura 2.14. Este elemento funciona con el principio de inducción magnética. El denominado núcleo de hierro dulce representa la base del tazón, mientras que la armadura móvil representa al tazón soportado por un elemento elástico. El campo magnético es creado por el embobinado, lo que genera una atracción entre las dos partes del circuito magnético. Las vibraciones magnéticas que son creadas por los electroimanes son convertidas en vibraciones mecánicas.

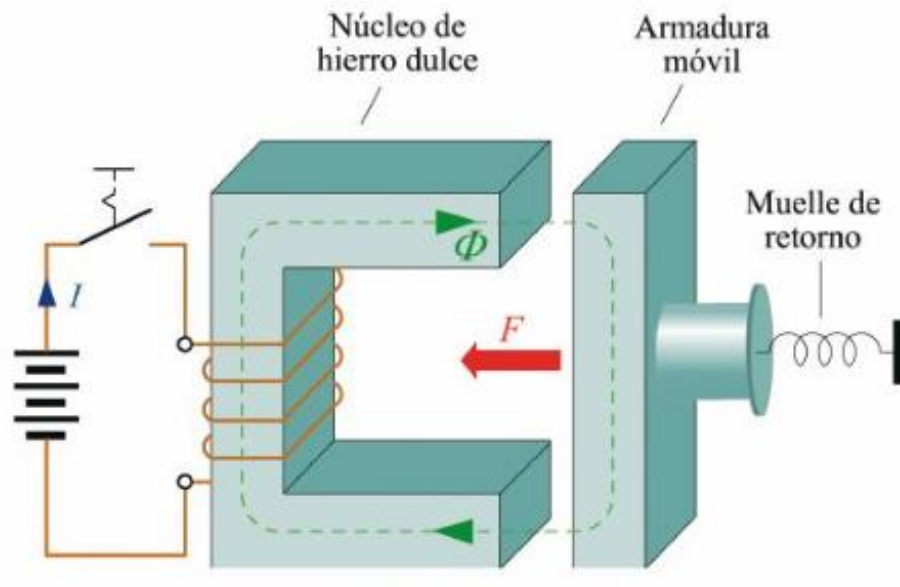


Figura 2.14 Partes de un electroimán [19]

Posteriormente se procedió a seleccionar el tipo de unidad de accionamiento. El modelo de tazón similar al propuesto es el KSB-N-630-50-180 de la empresa RNA Automation. Siendo la unidad de accionamiento SRC-N630 la adecuada para este tipo de tazones. En la Figura 2.15, se especifican las características generales de la unidad de accionamiento.

Type	SRC-N 400-1	SRHL 400-1	SRC-N 630-1	SRC-N 800-1
h = Drive unit height/ Top casting	228	255	227	315
J = Drive unit diameter	440	470	660	826
K = Pitch between mountings/no. of bores	350/3	350/3	560/3	735
L = Thread dimensions	M10	M10	M10	M10
M = Bowl fixing	M6 12x30°	M6 12x30°	M6 12x30°	
N = Shoulder diameter	300	300	500	
G = Bolt circle (Bowl fastening)	320	320	525	
Drive unit weight [kg]	103	140	168	270
Rating in amps [A]	3,75	5,7	5	8,5
Length of connection cable* [m]	2,5	2,5	2,5	1,4
Vibration frequency	50Hz 3000min	50Hz 3000min	50Hz 3000min	50Hz 3000min
Nominal voltages (available on request with 220V)	200V 50Hz 200V 60Hz 110V 50Hz 110V 60Hz	200V 50Hz 110V 60Hz	200V 50Hz 200V 60Hz 110V 50Hz 110V 60Hz	200V 50Hz 200V 60Hz 110V 60Hz
Execution standard	CE, CSA/UL	CE, CSA/UL	CE, CSA/UL	CE, CSA/UL
Protection type	IP54	IP54	IP54	IP54
Protective casing (special painting on request)	Steel, painted RAL7035 light grey	Steel, painted RAL7035 light grey	Steel, painted RAL7035 light grey	Steel, painted RAL7035 light grey

Figura 2.15 Especificaciones del catálogo de la empresa RNA [20]

En la Figura 2.16 y la Figura 2.17 se detalla gráficamente a que sección de la unidad de accionamiento se refieren las letras utilizadas en el catálogo.

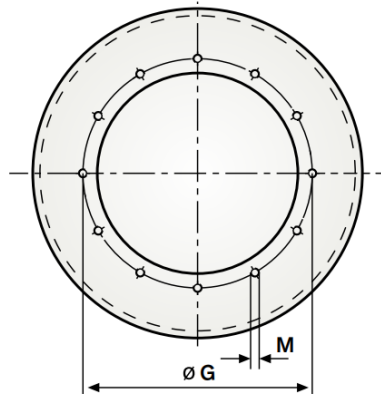


Figura 2.16 Vista superior de la unidad de accionamiento [20]

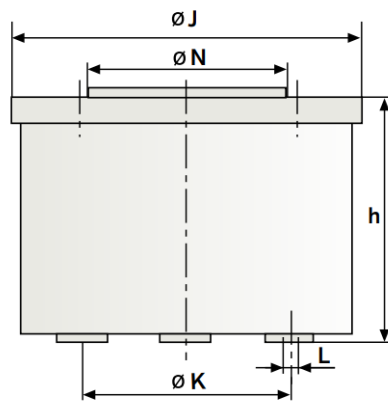


Figura 2.17 Vista lateral de la unidad de accionamiento [20]

2.5.5 Selección de vibrador electromagnético para el transportador lineal

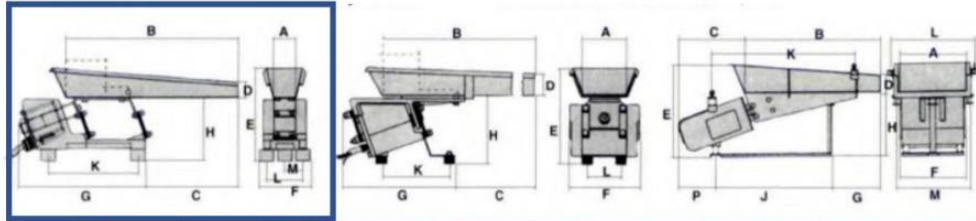
La longitud del transportador lineal es de 420 milímetros y su ancho de 50 milímetros. Con un promedio de 5 sachets en el transportador se estima una carga de 0.05 Kilogramos. Utilizando el mismo catálogo de la empresa Tarnos, se seleccionó el vibrador en la Tabla 2.10. Del mismo modo que los anteriores vibradores, la selección se basa en las dimensiones del transportador.

Tabla 2.10 Especificaciones del vibrador electromagnético [18]

Especificaciones	Modelo	Potencia (W)	Intensidad (Amp.) *	Peso (Kg) □	Caudal Max. (T/h) •	Peso Max. bandeja (Kg)	Amplitud (mm.)
		FT-0	15	0,18	4,3	0,6	1,5
	FT-01	20	0,4	10	2	2,7	1,5
	FT-02	35	0,55	15	8	4,2	2,3
	BF-01	50	1,2	14	5	6	1,5
	BF-2	80	2	30	9	9	1,5
	BF-3	150	4,5	60	20	18	2,3
	F-152	100	1,2	36	12	12	1,6
	F-212	125	2,2	64	20	23	1,6

Una vez definido el modelo para el transportador lineal se procede a validar las medidas del vibrador electromagnético. Este vibrador tendrá otras dimensiones debido a las medidas del transportador. La Tabla 2.11 detalla las medidas del vibrador electromagnético.

Tabla 2.11 Vibrador electromagnético para el transportador lineal [18]



DIMENSIONES (MILIMETROS)

Modelo	Figura	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	P
FT-0	1 *	40	305	163	25	160	76	222	111	-	159	57	29	-
		50	203	71										
FT-01	1 *	76	455	320	45	222	127	232	152	-	143	79	-	-
		100	455	320										
		150	305	170										
FT-02	1 *	150	455	320	50	227	127	267	128	-	143	79	-	-
		200	400	240										
BF-01	2 *	150	610	362	50	245	167	292	169	-	168	80	-	-
		200	500	331										
		250	500	331										
		300	360	203										
BF-2	2 *	200	760	446	50	296	203	320	220	-	178	152	-	-
		255	760	446										
		305	610	370										
		305	610	370										
BF-3	2	203	1219	811	102	414	254	437	287	-	191	197	-	-
		305	1070	735										
		356	762	557										
		406	762	329										
F-152	3 *	250	915	135	75	365	203	474	310	423	752	384	303	153
		150	915	135				461			677	284		
		200	915	135				401			677	334		
		300	750	213				389			677	434		
F-212	3 *	305	915	271	75	400	279	302	319	709	783	439	389	175
		350	915	271		400		302	319	709	783	484		
		400	765	314		385		400	304	514	708	594		
		450	600	334		385		245	304	514	608	584		

2.6 Diseño del sistema de control

En esta sección del proyecto se establecen los parámetros de control en el sistema mecatrónico propuesto. El monitoreo del proceso permitirá obtener ventajas como la atención inmediata a fallas y llevar una correcta supervisión de la línea de colocación.

Como primer paso se plantearon las entradas y salidas que tendrá el sistema. Se definió una botonera de marcha, una botonera de paro y el sensor de nivel en el tazón. En cuanto a las salidas se seleccionaron el vibrador del alimentador, la unidad de accionamiento del tazón, el vibrador del transportador y la banda.

Una vez definidas las entradas y salidas, se realizó el diagrama de flujo de la solución. Este diagrama facilita la forma de entender el proceso mediante la segmentación de la información. Al finalizar el diagrama se alcanza la solución deseada. La Figura 2.18 ilustra la secuencia del sistema.

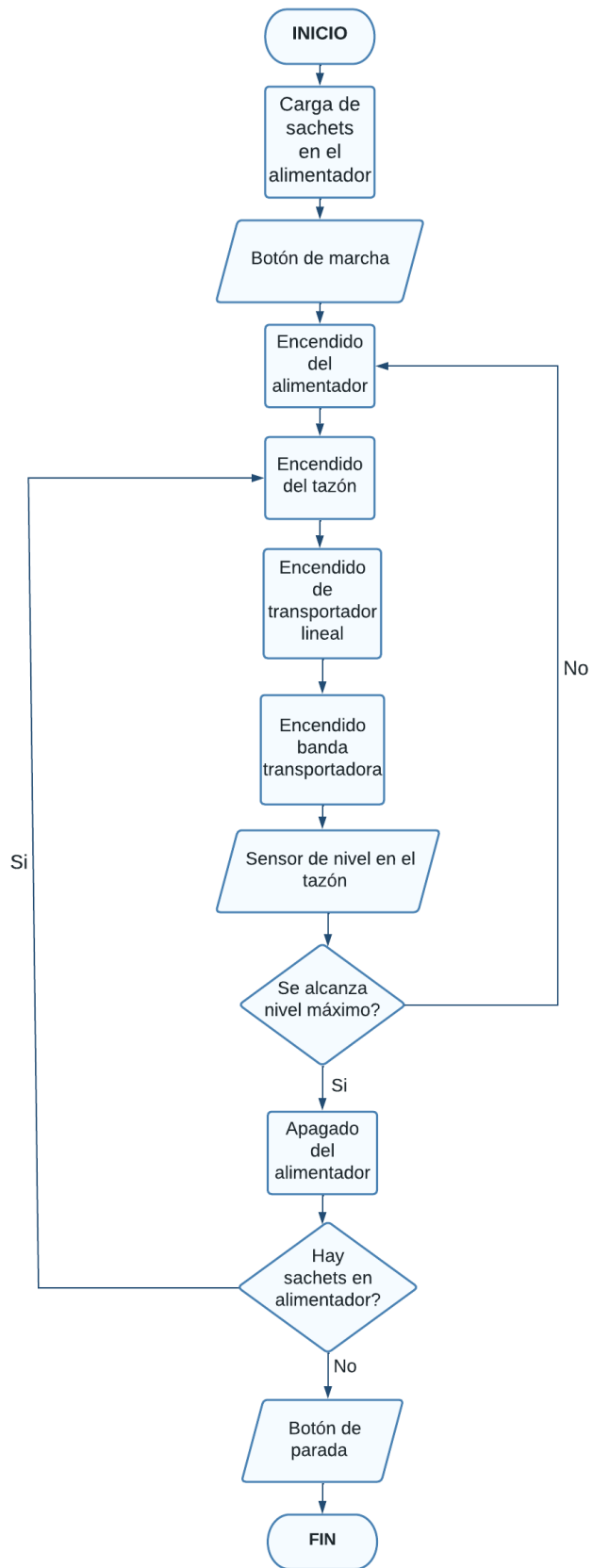


Figura 2.18 Diagrama de flujo

El modelo de la banda transportadora es el 95300 de la empresa norelem, cuenta con un motor conmutable eléctricamente marca maxon. Posee una técnica de regulación integrada, puede ser regulado externamente mediante líneas de control. La velocidad del motor se regula a través de un módulo inversor. Las especificaciones del motor se detallan en la Tabla 2.12. [21]

Tabla 2.12 Características del motor conmutado eléctricamente

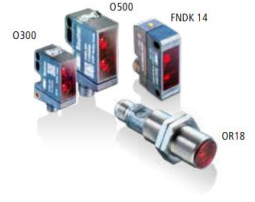


Datos técnicos	Valor
Tensión nominal [V]	24
Potencia [W]	30
Corriente de arranque [A]	2
Revoluciones [rpm]	5000
Velocidad máxima [m/s]	0.19

En el Apéndice C, se desarrollaron los cálculos para estimar el torque y la velocidad necesaria del motor. Se concluye que el modelo del motor sin escobillas conmutado eléctricamente es el recomendado para utilizar en este proyecto.

2.6.1 Selección de sensores

Para el sensor que utiliza el sistema mecatrónico, se definió un sensor que permita tener un control del nivel de sachets dentro del tazón. En el mercado hay varios tipos de sensores que pueden realizar esta función. Se seleccionó el sensor adecuado tal que, al alcanzar el nivel máximo, el sensor envíe una señal y detenga el vibrador del alimentador para evitar que haya un exceso de sachets en el tazón.

Tabla 2.13 Ventajas y desventajas de los tipos de sensores

Tipos	Ventajas	Desventajas	Imagen
Sensor óptico	Inmunidad a la interferencia electromagnética, alta sensibilidad, son ligeros y de tamaño reducido.	Bajo nivel de potencia, doblado de fibra, alto coste.	
Sensor ultrasónico	Rango de detección de 8 metros, detectan objetos indiferentemente el color o material, resistentes a suciedad.	Puede presentar falsas alarmas, su funcionalidad disminuye en ambientes con elevada contaminación acústica.	
Sensor inductivo	No sufre desgaste, alta durabilidad, resistentes al polvo y humedad.	Sólo detectan objetos metálicos, puede fallar en caso de haber campos electromagnéticos de gran magnitud.	

Luego de detallar los tres tipos de sensores mostrados en la Tabla 2.13, el sensor adecuado para este sistema es de tipo ultrasónico. Su ventaja de poder detectar objetos independientemente del material es importante para esta aplicación. Son de fácil instalación y puesta en marcha. Las características generales del sensor se detallan en la Tabla 2.14. [22]

Tabla 2.14 Especificaciones modelo sensor ultrasónico seleccionado [23]

Especificaciones	Descripción
Modelo	UC250-F77-IU-IO-V31
Rango de detección	20-250 milímetros
Zona ciega	0-20 milímetros
Retardo de respuesta	8 milisegundos
Memoria	No volátil EEPROM
Elementos de indicación	Cuenta con luces LED verde, amarillo y rojo que representan un estado
Tensión de trabajo	18-30 Voltios corriente continua
Entrada	1 conexión de sincronización, bidireccional
Tipo de conexión	Conector macho M8 x 1, 4 polos
Masa	9 gramos



Figura 2.19 Sensor ultrasónico UC250

2.6.2 Selección de controlador

El uso de un controlador da la posibilidad de automatizar el proceso de orientación y transporte del sachet. Se escogió la opción adecuada para la necesidad de este proyecto. En base a tres posibles alternativas las cuales se muestran en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15 Ventajas y desventajas de controladores

Tipos	Ventajas	Desventajas
Control lógico programable	Posibilidad de automatización de un proceso, uso de un software propio, instalación sencilla y de poco espacio.	El personal que lo maneje debe ser calificado, se debe conocer detalladamente variables y funciones.
Microcontrolador	Uso de una computadora para grabar los programas con variedad de softwares para programar.	Elevado coste, programación compleja.
Lógica cableada	Se puede implementar en diferentes tipos de proyectos, estructuración ordenada, uso de diagrama Ladder para implementación	Se necesita espacio, no es flexible, mantenimiento complejo, elevado coste.

La opción de un control lógico programable presenta ventajas que permiten controlar y automatizar el proceso de colocación y transporte del sachet. Un PLC compacto es adecuado debido a que se tiene tres entradas y cuatro salidas previamente definidas. En el mercado se puede comprar PLC de la marca Siemens modelo S7-200. Este modelo es el adecuado debido a la cantidad de entradas y salidas que presenta la solución y para permitir añadir nuevas entradas o salidas de ser pertinente. Cabe mencionar que hay varias marcas de PLC. Sin embargo, se aconseja seleccionar una marca confiable dentro del mercado de la automatización.

Tabla 2.16 Especificaciones técnicas PLC Siemens S7-200

Especificaciones	Descripción
Modelo	S7-200
Dimensiones [mm]	160x80x62
Entradas	8 DI
Salidas	6 DO
Protocolos de comunicación	PPI
Alimentación	24 V DC/180 mA



Figura 2.20 Simatic S7-200

2.6.3 Programación del sistema

El software utilizado para simular la secuencia del sistema fue TIA PORTAL V7 de Siemens, que permitió simular el funcionamiento en conjunto del sistema. Como primer paso se definieron las variables, las cuales se encuentran en la Tabla 2.17. Para lograr simular el

funcionamiento del sistema se asumieron todas las entradas como digitales.

Tabla 2.17 Variables utilizadas en TIA PORTAL

Nombre	Data	Dirección	Alias
DI_00	Bool	%I0.0	Marcha
DI_01	Bool	%I0.1	Paro
DI_01	Bool	%I0.2	Sensor de nivel
DO_00	Bool	%Q0.0	Sistema
DO_01	Bool	%Q0.0	Alimentador vibratorio
DO_02	Bool	%Q0.0	Tazón vibratorio
DO_03	Bool	%Q0.0	Transportador lineal
DO_04	Bool	%Q0.0	Banda transportadora
DO_05	Bool	%Q0.0	Apagado del alimentador

Posteriormente se procedió a programar en el lenguaje escalera. Se usa este tipo de programación debido a su relación con los esquemas eléctricos de control clásicos. La Figura 2.21 ilustra el diagrama de programación para la orientación y transporte de sachets de salsa.

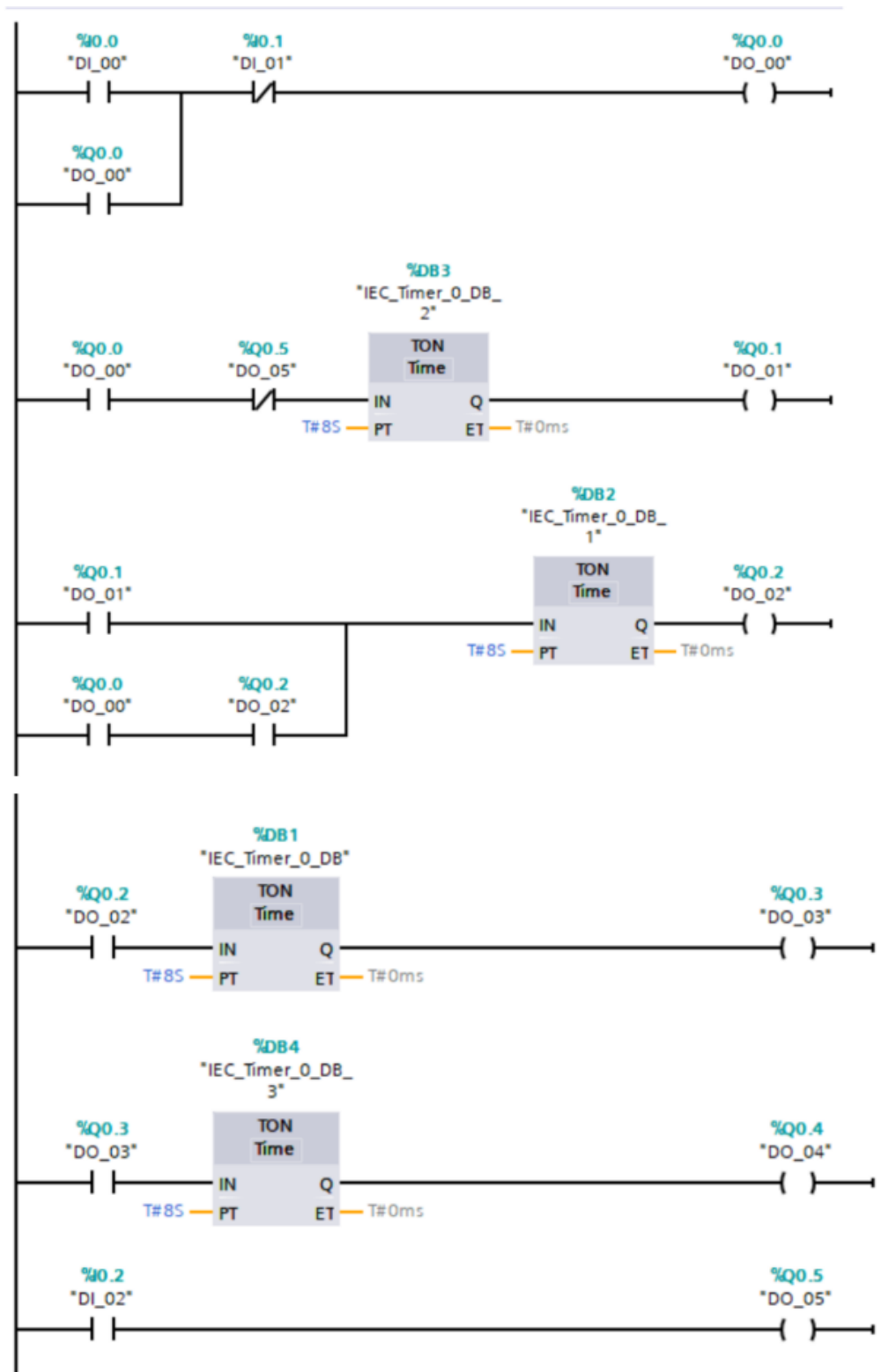


Figura 2.21 Diagrama de programación del sistema

2.7 Diseño del sistema eléctrico

La planta ubicada en la ciudad de Guayaquil cuenta con alimentación 127 Voltios RMS línea - neutro, y 235 Voltios RMS línea - línea, además tiene alimentación trifásica 381 Voltios RMS línea - línea. Se realizó un diagrama eléctrico que represente el sistema en donde se dimensione los componentes principales de la solución.

2.7.1 Diagrama de conexiones eléctricas

En el diagrama con los elementos principales para protección y control se ilustra las conexiones entre los elementos. Se basa en diagramas unifilares para facilidad de interpretación. La Figura 2.22 representa el diagrama de conexiones principales.

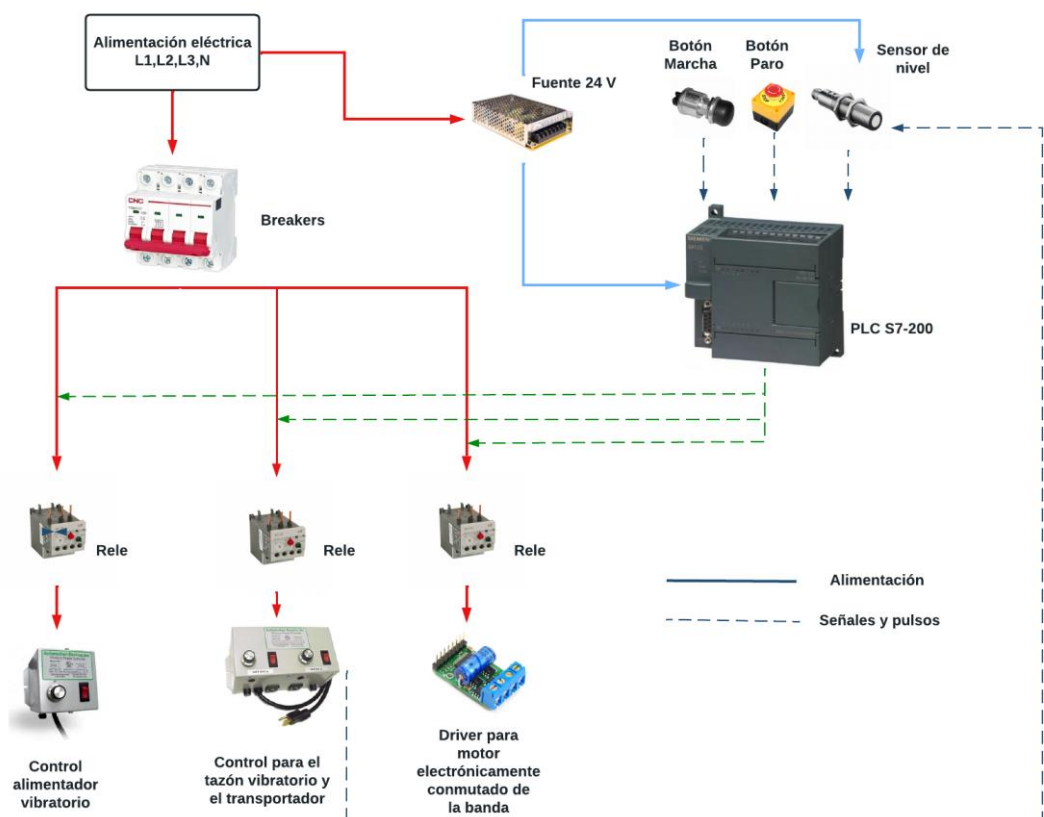






Figura 2.22 Diagrama de conexiones de la solución

2.7.2 Descripción de componentes eléctricos

En la Tabla 2.18, se detallan los principales componentes eléctricos, su descripción y una imagen representativa.

Tabla 2.18 Componentes eléctricos principales

Componente	Descripción	Imagen
Botonera de marcha	Permite el accionamiento del sistema	
Botonera de paro	Detiene el sistema en caso de emergencia o falta de sachets	
Breaker	Evitar daños por una corriente elevada o sobrecarga	
Rele	Sirve de protección para sobrecalentamientos y sobrecargas	

<p>Fuente 24 V conmutada</p>	<p>Convertir la corriente alterna en corriente directa para alimentar dispositivos</p>	
<p>Control alimentador vibratorio</p>	<p>Regular la vibración mediante el uso de un potenciómetro</p>	
<p>Control de tazón vibratorio y transportador lineal</p>	<p>Regular las vibraciones mediante el uso de potenciómetros</p>	
<p>Driver para motor DC de la banda</p>	<p>Permite controlar el arranque y parada de forma controlada</p>	

Las características principales del controlador para el alimentador, el tazón y el alimentador se detallan en la Tabla 2.19 y la Tabla 2.20. Estos controladores son de gran importancia ya que de no utilizarlos los equipos funcionarían a su máxima capacidad, por lo que son necesarios para mantener las vibraciones uniformes.

Tabla 2.19 Especificaciones del controlador para el alimentador

Especificaciones	Descripción
Modelo	6000.1
Entrada	120 VAC
Frecuencia	50/60 Hertz
Tamaño de fusible	15 AMPS de una sola unidad
Salida	0-120 VAC
Control remoto de velocidad	Señal 4-20 mA desde un PLC

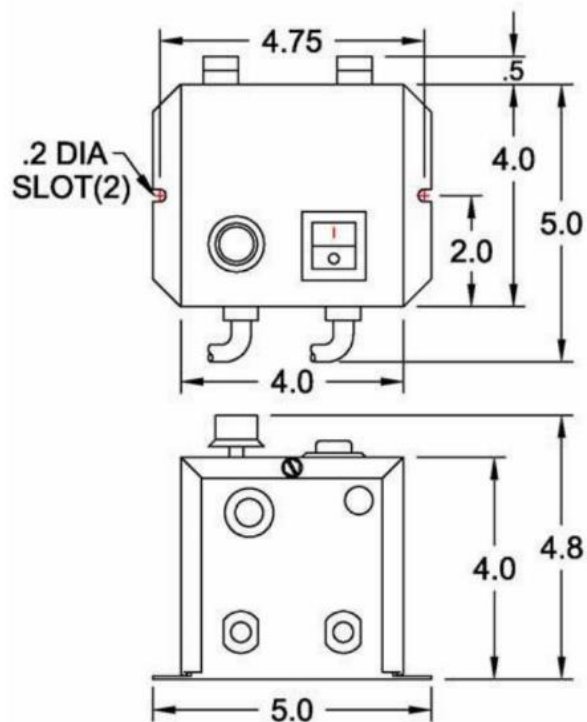


Figura 2.23 Dimensiones del controlador de vibraciones [29]

Tabla 2.20 Especificaciones del controlador para el tazón y transportador

Especificaciones	Descripción
Modelo	6000.1D
Entrada	120 VAC
Frecuencia	50/60 Hertz
Tamaño de fusibles	10 AMPS la unidad A y 5 AMPS la unidad B
Salida	0-120 VAC
Control remoto de velocidad	Señal 4-20 mA desde un PLC

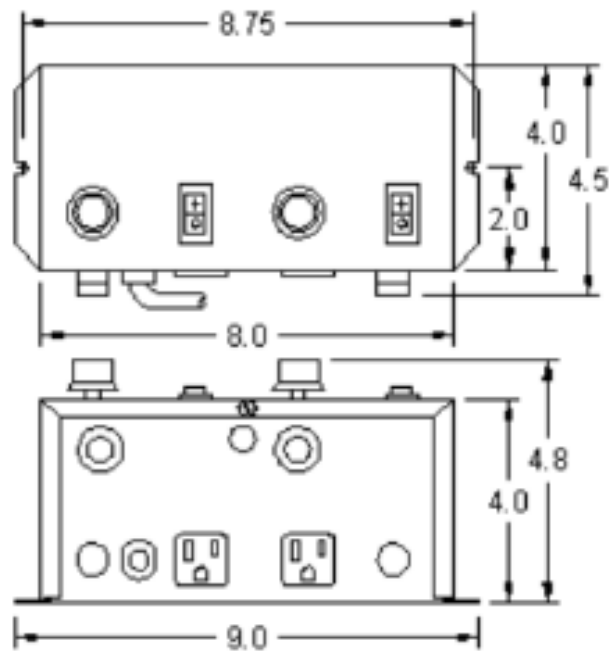


Figura 2.24 Dimensiones del segundo controlador de vibraciones [30]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presenta el diseño final realizado con las medidas previamente establecidas. Se detalla un análisis general de los resultados obtenidos, estimación de consumo del sistema mecatrónico y la tabla de costos para analizar la viabilidad del proyecto.

3.1 Diseño final de la solución

El dibujo en 3D se lo realizó en el software Inventor. El software permitió el modelado de cada una de las piezas con sus medidas requeridas. Posteriormente se ensambló las piezas dibujadas y se colocó piezas de color celeste para simular el trayecto de los sachets. El dibujo se lo ilustra en la Figura 3.1.

En la representación gráfica se detalla la ubicación de las cajas de control. La primera está ubicada a un costado del alimentador. El círculo extruido color verde de la caja se refiere al botón de encendido y apagado, mientras que el círculo extruido color naranja simula el potenciómetro para regular la frecuencia de vibración.

Debajo del transportador se ubica la segunda caja de control de vibraciones, esta permite regular la frecuencia de vibración del tazón y el transportador. El círculo extruido color verde representa el encendido y apagado, el círculo rojo el potenciómetro para el tazón y el azul el potenciómetro para el transportador lineal.

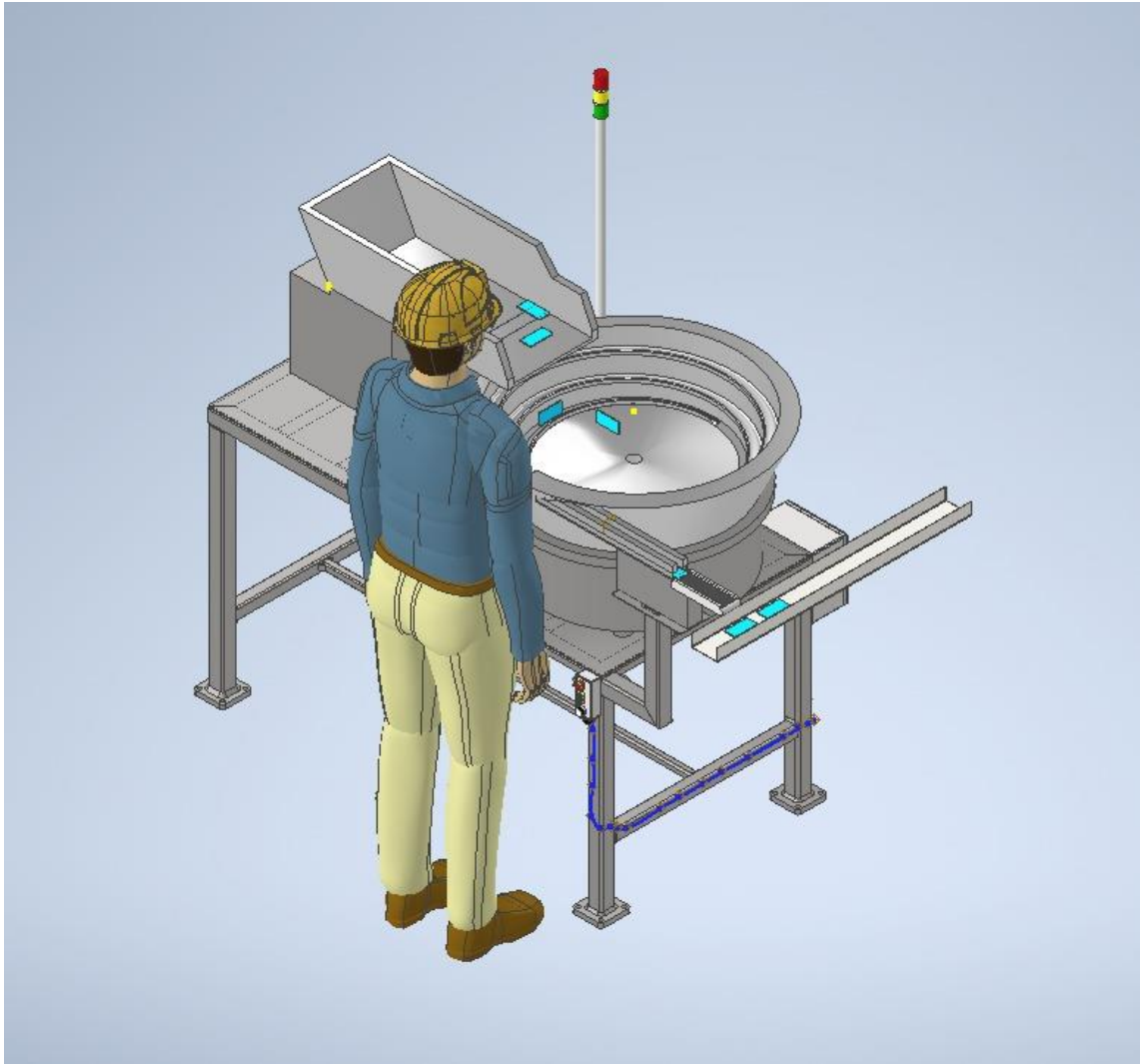


Figura 3.1 Diseño final de la solución realizado en Inventor

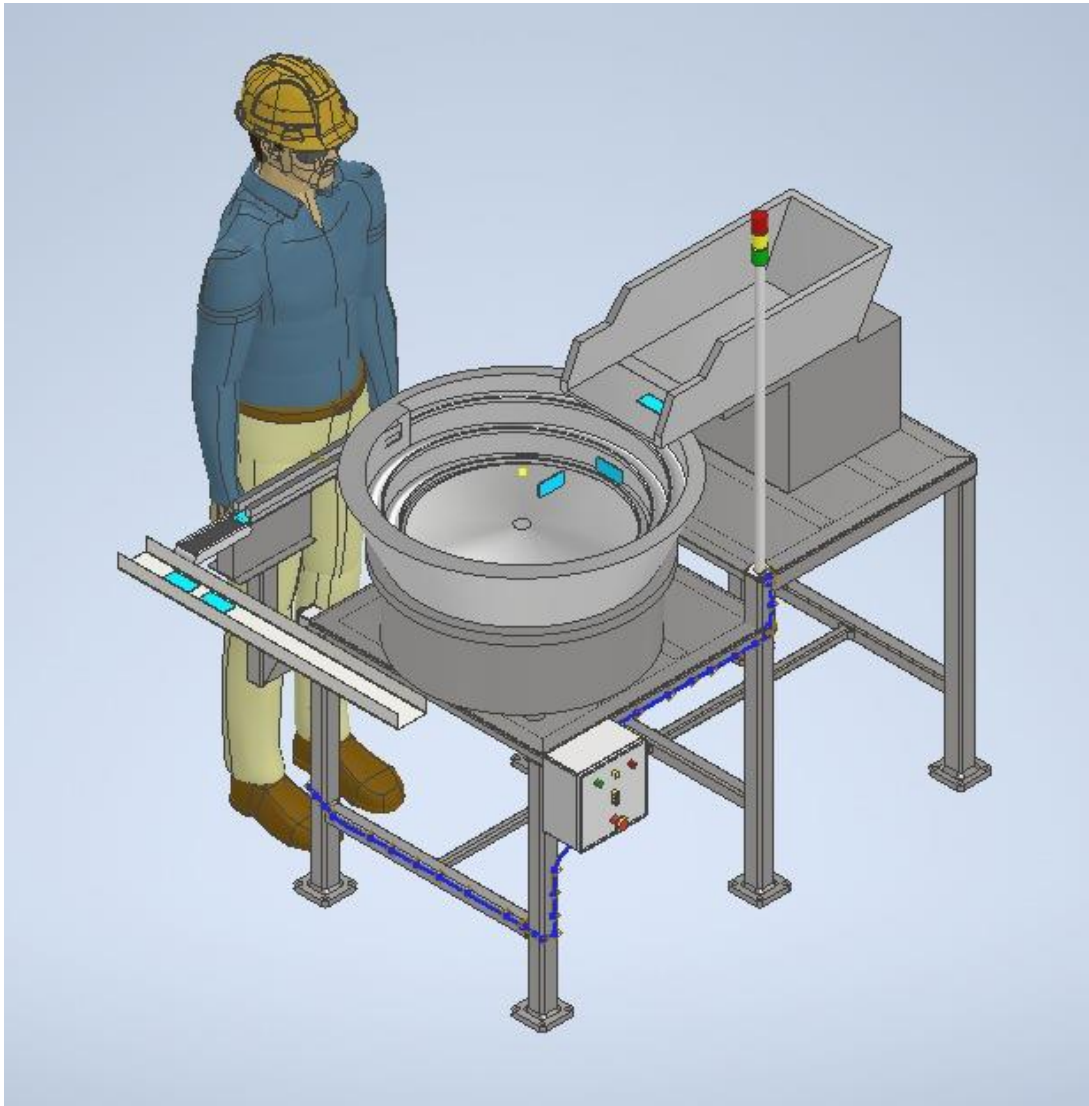


Figura 3.2 Modelo en 3D de la solución propuesta

La finalidad del sistema es que al ir cayendo los sachets en el riel de pegado se transporten a la zona de envasado de snacks. La cinta se desplaza en el riel en sincronización con la máquina envasadora. Este trabajo en conjunto permite que el sachet se adhiera a la funda de snack tal como se muestra en la Figura 3.3



Figura 3.3 Sachet adherido a la funda de snack

3.2 Análisis de los resultados obtenidos

Se realizaron diferentes cálculos en base a ecuaciones previamente establecidas por modelos matemáticos. El primer punto a analizar es el de las ecuaciones de vibración. El proyecto se basa en este principio en donde fue necesario conocer sobre el movimiento armónico simple para entender la base de este tipo de movimiento oscilatorio. Este permite obtener ecuaciones sobre posición, velocidad, aceleración, entre otras.

Posteriormente, basado en los catálogos de la empresa Vibrotech, se realizó la estimación de las medidas del alimentador vibratorio. Fue necesario calcular el volumen total por sachets para estimar la carga que contendrá el alimentador. Con estos datos se pudo realizar el modelo en 3D en Inventor del alimentador y con el material adecuado se obtuvieron valores como la masa y área. Los resultados se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos teóricos del alimentador

Especificaciones	Valor
Masa [kg]	48.881
Área [m²]	0.87

Un procedimiento similar se llevó a cabo para el tazón vibratorio en base a proveedores que venden estos productos. Se consideraron dichos requerimientos y se modeló en 3D el tazón con el material seleccionado. Al hacer las estimaciones en Inventor, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Datos teóricos del tazón vibratorio

Especificaciones	Valor
Masa [kg]	202.22
Área [m²]	1.61

Para el diseño del transportador, se hizo un modelo propio en base a la geometría del sachet. Y para lograr un acople al vibrador lineal, se escogió el mismo material, acero inoxidable 304. Se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Datos teóricos del transportador lineal

Especificaciones	Valor
Masa [kg]	3.23
Área [m²]	0.14

Finalmente, para el riel de pegado, basado en las medidas obtenidas se estimaron los valores teóricos mostrados en la Tabla 3.4. Los planos mecánicos del alimentador, el tazón vibratorio, el transportador lineal y el riel de pegado se ilustran en el Apéndice B. Estas medidas sirven de referencia al momento de manufacturar el producto final.

Tabla 3.4 Datos teóricos del riel de pegado

Especificaciones	Valor
Masa [kg]	1.11
Área [m ²]	0.27

En el alimentador se estimó la fuerza necesaria para que el sachet se mueva, basado en el coeficiente de fricción del material del sachet. Se utilizó como primer paso un diagrama de cuerpo libre para conocer las fuerzas que actúan sobre un sachet. La fuerza necesaria obtenida es de 22 Newtons.

Para el análisis de los sachets en el tazón se utilizaron ecuaciones del libro de Geoffrey Boothroyd, *Assembly Automation and Product Design*. Se realizó un diagrama de cuerpo libre del sachet en la pista inclinada del tazón. El primer resultado obtenido es la aceleración basada en la amplitud máxima del sachet en la pista. El resultado permitió determinar la relación entre la aceleración normal y la aceleración de la gravedad.

$$a_o = \frac{9.81 \cdot \cos(0.08726)}{376.99^2 \cdot \text{sen}(0.5236)} = 0.0076 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$\frac{A_n}{g_n} = \frac{0.0076 \cdot 376.99^2 \cdot \text{sen}(0.5236)}{9.81 \cdot \cos(0.08726)} = 1.0061$$

Con el valor obtenido se determinó que el sachet sí realiza un desplazamiento hacia adelante. El valor del coeficiente de fricción del material del sachet es de gran relevancia en el cálculo.

$$\frac{A_n}{g_n} > \frac{0.3 + \tan(5^\circ)}{\cot(30^\circ) + 0.3}$$

$$1.0061 > 0.20$$

Finalmente cumple con ser mayor a la unidad para poder determinar que el sachet se desprende de la pista y se desplaza hacia adelante.

$$1.0061 > 1$$

Para la validación del motor de accionamiento interno en la banda se calculó la velocidad necesaria para que el sachet se desplace en un segundo hacia el riel de pegado. Al conocer este dato, y conociendo el valor de la velocidad máxima de la banda, se aceptó el modelo de motor propuesto. Para el cálculo de la diferencia entre ambas velocidades se utilizó la ecuación 3.1.

$$\Delta v = V_{motor} - V_{sachet} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3.1)$$

$$\Delta v = 0.19 - 0.172 = 0.0182 \left[\frac{m}{s} \right]$$

3.3 Análisis mecánico en la estructura de soporte

Para el siguiente análisis se procedió a tomar el peso del sistema completo que será instalado en la mesa que pesa alrededor de 250 kg. Debido a que existen pequeños valores de fuerzas las cuales se desconocen, se asume un factor de seguridad de 2. Dicho valor se encuentra en un rango aceptable comparado con el que se genera en el software al realizar la simulación. Con el valor de seguridad

seleccionado se asegura que no ocurra alguna situación adversa que termine en algún percance involucrando al operario de manera directa.

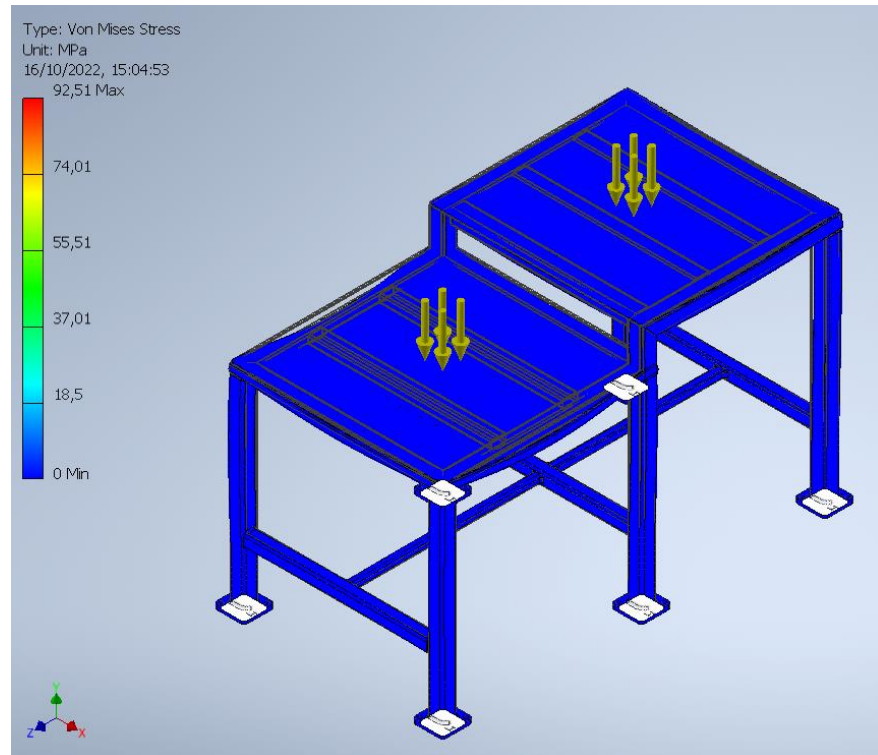


Figura 3.4 Simulación de esfuerzo Von Mises

La soldadura propuesta es de tipo filete con un cordón de 5 milímetros con una forma cuadrada de 50x50, tal como los perfiles estructurales de las bases en donde se presenta la mayor concentración de esfuerzos.

CLASIFICACIÓN

AWS A5.4	E312-16
ISO 3581-A	E 299 R 12

DIÁMETRO x LONGITUD (mm/Pulg.)

J110EL	2,5 mm x 350 mm → 3/32" x 14"
J111EL	3,2 mm x 350 mm → 1/8" x 14"

CARACTERÍSTICAS

- Puede soldar en todas las posiciones produciendo un arco suave y consistente.
- Escoria es de fácil remoción.
- Los cordones presentan un aspecto plano y suave.
- Puede aplicarse en corriente continua, polaridad invertida (+) o corriente alterna.

APLICACIONES TÍPICAS

- Este tipo de electrodo se utiliza en la unión por soldadura de aceros inoxidable con aceros carbono.
- En reconstrucción de piezas duras como dientes de cremalleras, engranajes, ejes y piñones.



COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO)

C	Si	Mn	P	S
0,064	0,92	1,23	0,027	0,009
Ni	Cr	Mo	Cu	
8,980	28,150	0,170	0,210	

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS, SOBRE EL METAL DEPOSITADO

	R. Tensión (mpa)	Lím. Elástico (mpa)	Elongación (%)	Resistencia al impacto
Standard	≥ 450	≥ 660	≥ 22	--
Valores típicos	756	800	26	70

AMPERAJE RECOMENDADO SEGÚN DIÁMETRO

Diámetro x longitud mm / (pulg.)	Rango de corriente (A)
2,5 x 350 (3/32" x 14")	40 - 80
3,2 x 350 (1/8" x 14")	70 - 110

POSICIONES DE SOLDADURA



TIPO DE CORRIENTE

CA / CC

CERTIFICACIONES / BAJO NORMA DE

AWS BAC CNAS IAF ISO 9001:2008

Referencia	Diámetro por longitud mm / (pulg.)	Tipo de Presentación	Gramos por electrodos aprox.	Electrodos por empaque aprox.	Peso del empaque (Kg)	Empaques por caja (uds.)	Peso de la caja (Kg)	Cajas por palet (uds.)	Peso total del palet (Kg.)	Color de la presentación del empaque
J110EL	2,5 x 350 (3/32" x 14")	Empaque 2 Kg	18,4	93	2	10	20	50	1000	
J111EL	3,2 x 350 (1/8" x 14")	Empaque 2 Kg	36,5	55	2	10	20	50	1000	

* Disponibilidad de presentación en blisters. (consulte a su proveedor).

Figura 3.5 Datos técnicos del tipo de soldadura [31]

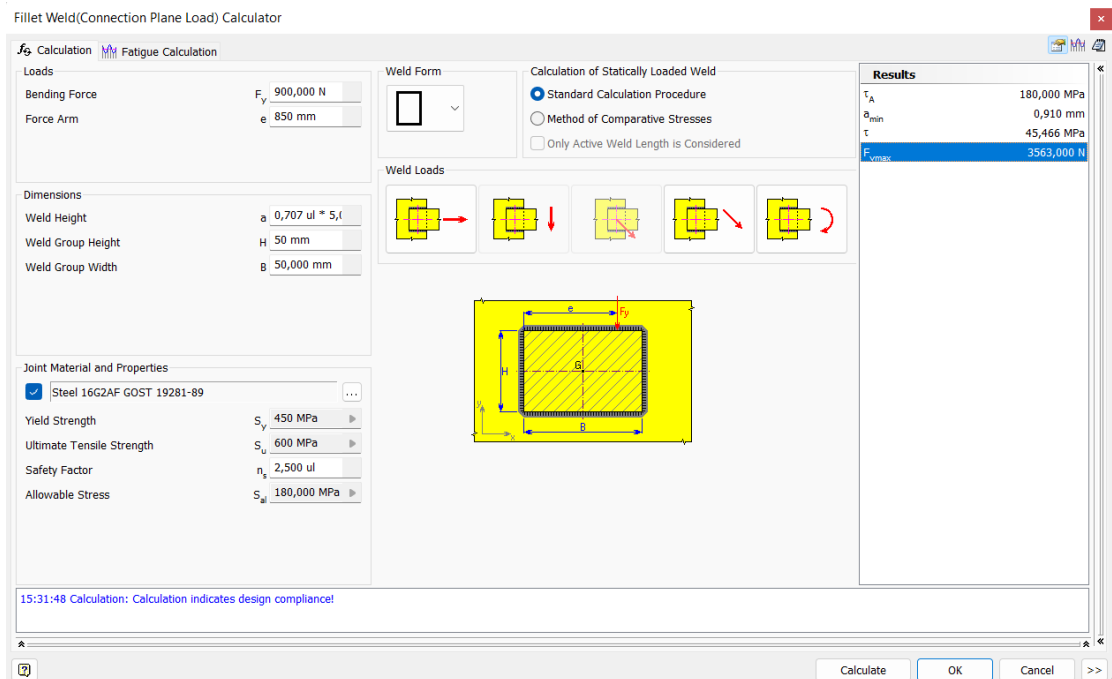


Figura 3.6 Calculadora de Inventor para el análisis de la soldadura

Los resultados indican un valor máximo menor a 93 MPA en el sistema concentradores de esfuerzos presentes en las juntas soldadas de los perfiles. Debido a esto se seleccionó un electrodo E312-16 ya que suelda con acero inoxidable, de esta manera se asegura la vida útil de la soldadura y además la calidad de la misma. Las características de la soldadura indican que el valor de resistencia a la fluencia es de 450 MPA. Al ser el valor máximo calculado 93 MPA en las uniones se asegura que no exista ruptura de la soldadura. El límite elástico del material es de 600 MPA detallado en la Figura 3.5. Con estos valores presentados por la calculadora los esfuerzos en el cordón de soldadura no supera el límite permisible por lo que no fallará.

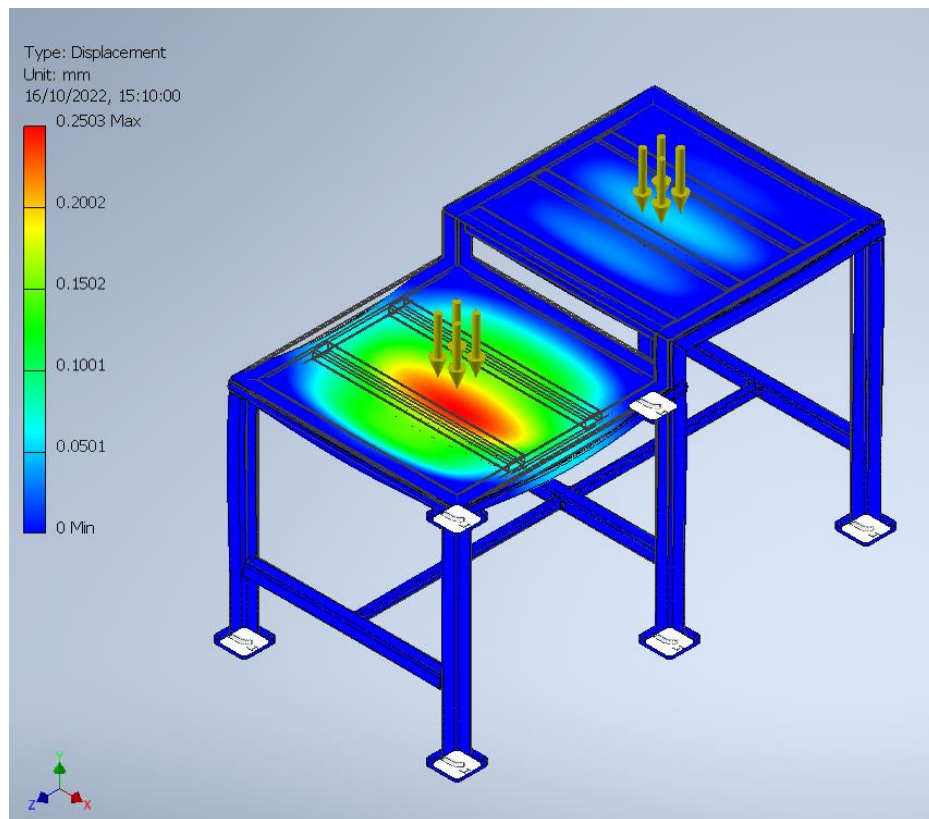


Figura 3.7 Simulación de la deformación en la estructura de soporte

La máxima deformación se aproxima a un cuarto de milímetro, asegurando que la estructura no sufre una deformación significativa al momento de operar. Esto permite aceptar el modelo propuesto, el cual será sometido a esas cargas durante su fase operativa. La Figura 3.7 ilustra la simulación que se realizó en el software utilizado.

3.4 Análisis de la potencia consumida del sistema

Para el cálculo de la potencia de los equipos vibratorios y la banda, se realiza una sumatoria total de las potencias individuales de cada equipo. La empresa Tarnos en sus catálogos de vibradores facilita ese dato de sus equipos. Para el sistema propuesto los vibradores electromagnéticos FT-0 y BF-3 son los adecuados para la aplicación. Estos equipos tienen una potencia de 15 Watts y 150 Watts respectivamente. La empresa norelem en su modelo de banda, menciona que la potencia del motor conmutable eléctricamente tiene una potencia de 30 Watts.

En cuanto al tazón vibratorio es necesario estimarlo mediante la ecuación 3.2, la cual permite calcular la potencia eléctrica. En el catálogo de la empresa RNA Automation, menciona que la unidad de accionamiento trabaja 110 Voltios, con una corriente de 5 Amperios.

$$P = V \cdot I \text{ [W]} \quad (3.2)$$

$$P = 110 \cdot 5 = 550 \text{ [W]}$$

Se procede a realizar la suma total de las potencias eléctricas, utilizando la ecuación 3.3. El resultado de la potencia total del sistema es de 745 Watts.

$$\begin{aligned} \sum P_{total} = & P_{alimentador} + P_{tazon} + P_{transportador} \\ & + P_{motor} \text{ [W]} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$P_{total} = 745 \text{ [W]}$$

Con este cálculo se da a conocer cuanta energía es suministrada o absorbida por unidad de tiempo. Se debe considerar que durante su uso en la planta pueden existir pérdidas debido al calor generado en el sistema eléctrico, generando una disminución de la eficiencia de dicho sistema.

3.5 Funcionalidad de la programación

Se utilizó el software TIA PORTAL V17 para simular la secuencia del sistema. El primer paso es poner en modo RUN el PLC. La ventana que muestra el software se ilustra en la Figura 3.8. Una vez realizado este paso se procede a realizar la simulación.

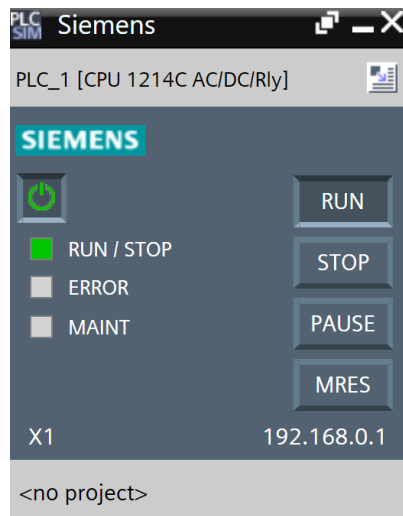


Figura 3.8 Pestaña de activación del PLC

Al iniciar la simulación, la entrada DI_00, la cual representa el botón de marcha se encuentra desactivada. La vista inicial del programa se ilustra en Figura 3.9, en donde se puede apreciar las diferentes entradas y salidas. El temporizador se programó de 8 segundos antes de activar la primera salida que representa el controlador del alimentador vibratorio.

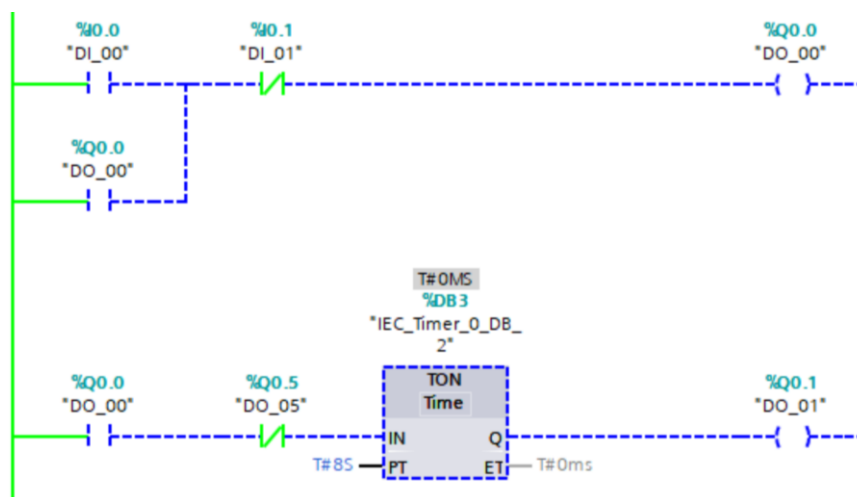


Figura 3.9 Estado inicial de la simulación

Al activar la entrada DI_00 comienza la secuencia de activación, ilustrada en la Figura 3.10. Los temporizadores alcanzaron los 8 segundos y dan paso a

que se activen las salidas. Las salidas DO_01 y DO_02, representan a los controladores del alimentador y el tazón vibratorio respectivamente.

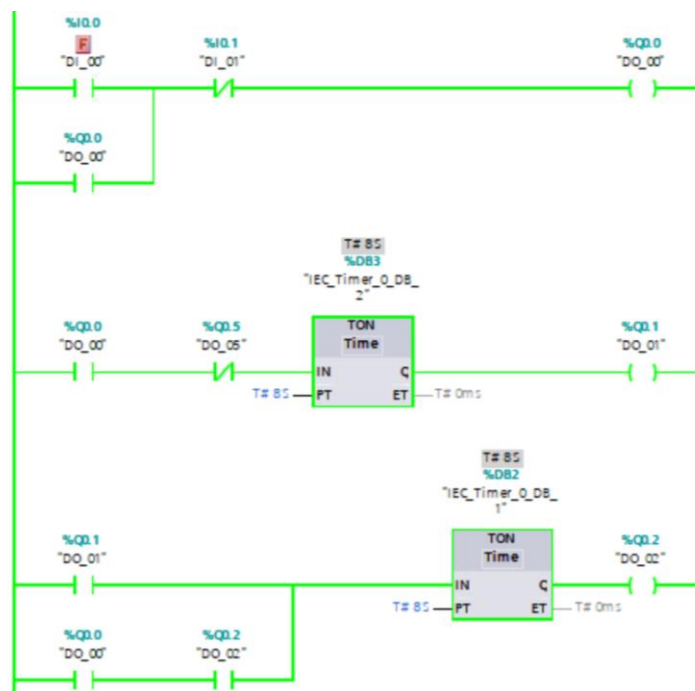


Figura 3.10 Activación de las salidas

Para el estado en el cual el sensor de nivel envía la señal que se ha alcanzado el máximo nivel en el tazón, se utilizó una entrada digital DI_02. La entrada activa la salida DO_05, ubicada en la parte inferior de la Figura 3.11. Al activarse esta salida, el contacto normalmente cerrado con referencia a esta salida cambia su estado. Se desactiva la salida DO_01 representando el corte del flujo de sachets al tazón vibratorio.

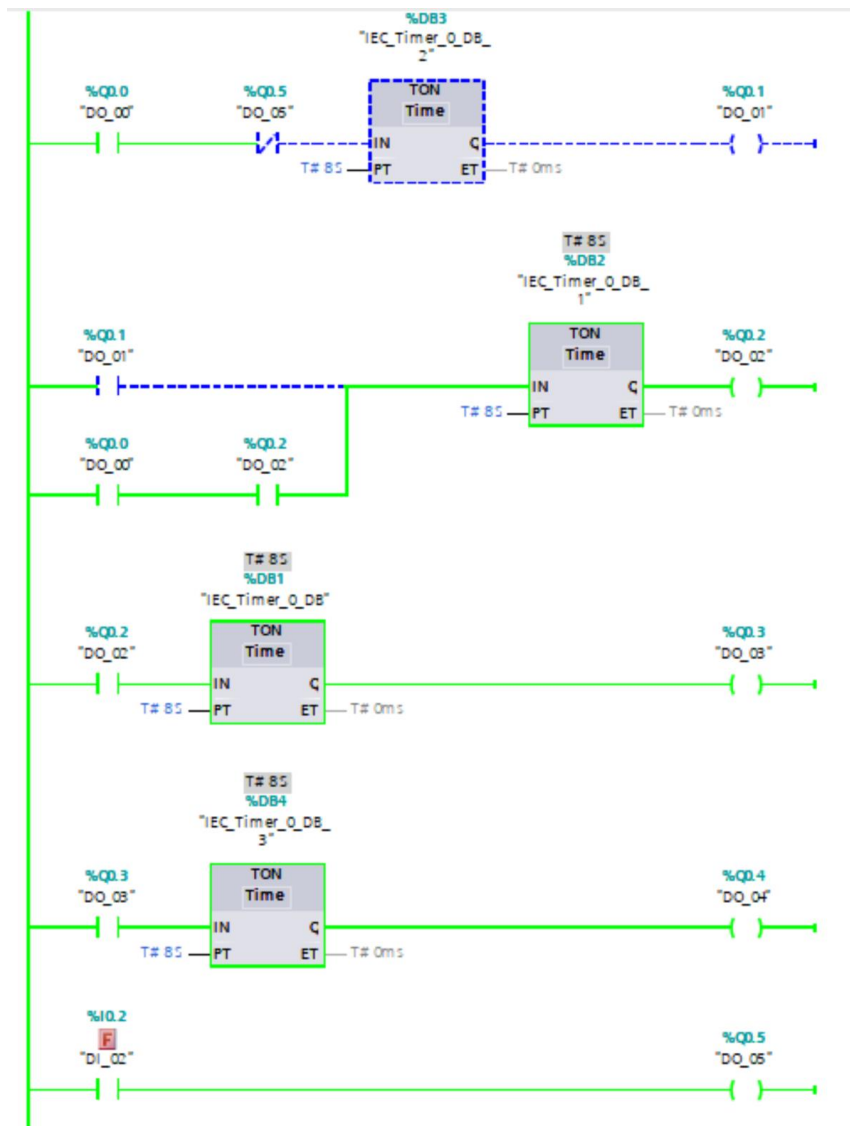


Figura 3.11 Desactivación del alimentador vibratorio

Para realizar una parada de emergencia o parada por falta de sachets en el alimentador, se activa la entrada DI_01. Al realizar esta acción se desactiva todas las salidas, permitiendo desenergizar el sistema mecatrónico. La Figura 3.12 muestra la acción de parada del sistema en la simulación.

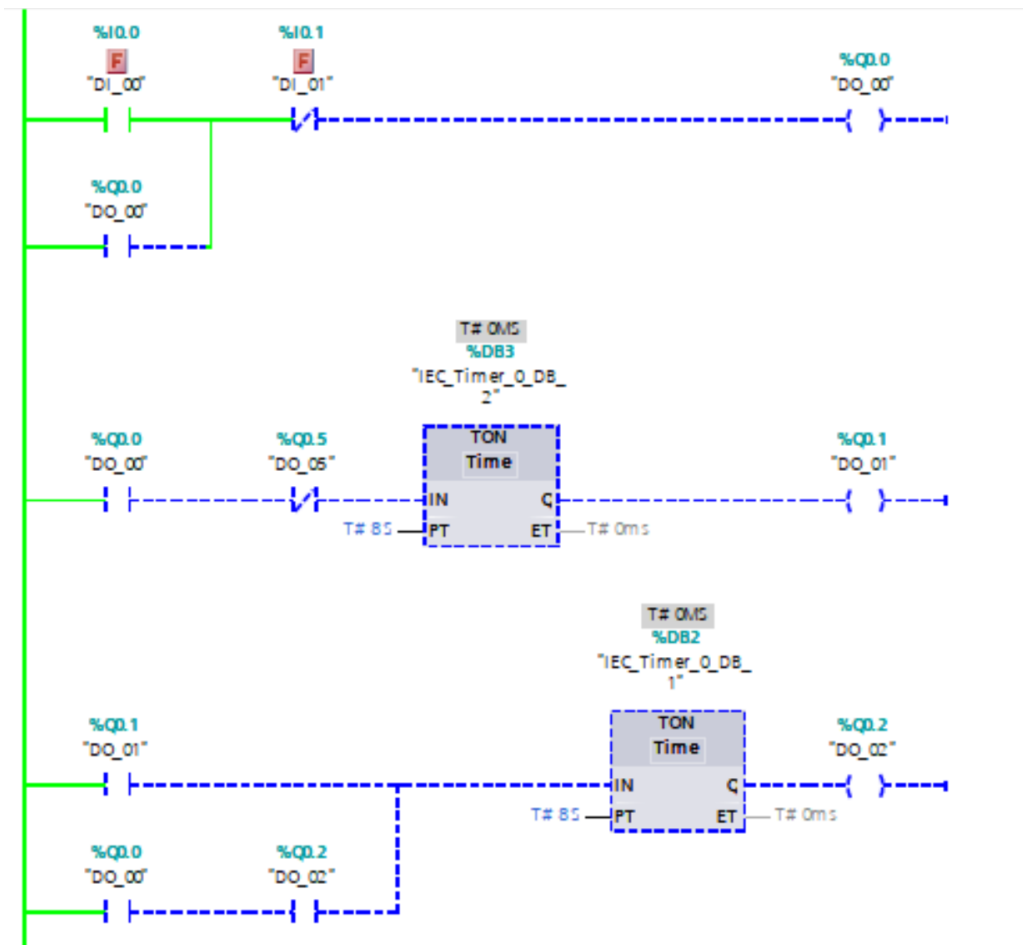


Figura 3.12 Acción de parada del sistema

3.6 Análisis de costos

Para el análisis se realizó la Tabla 3.5, en la cual se incluyó precios referenciales tanto para la parte mecánica, eléctrica y control. Para la parte mecánica se detalla el costo de fabricar el alimentador, el tazón y el transportador lineal en acero inoxidable 304, esta cotización se la realizo en conjunto con talleres Pacific ubicados en la ciudad de Manta. Con respecto a la parte eléctrica y de control se detallaron los costos de los equipos utilizados. Adicionalmente se consideró el costo de la mano de obra para instalación y puesta en marcha del sistema. Se considera la cantidad de 4 en la tabla, debido a que son 4 máquinas envasadoras por lo que se necesitaría 4 sistemas mecatrónicos.

Tabla 3.5 Estructura de costos

Tipo	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio total
Mecánico	Fabricación y mecanizado de alimentador	4	u	\$15,000.00
	Fabricación y mecanizado de tazón	4	u	\$20,000.00
	Fabricación y mecanizado de transportador lineal	4	u	\$10,000.00
	Elementos de sujeción (pernos, tuercas)	4	u	\$50.00
	Vibrador electromagnético para alimentador	4	u	\$1,008.00
	Unidad de accionamiento para el tazón	4	u	\$3,204.00
	Vibrador electromagnético para el transportador lineal	4	u	\$620.00
	Banda transportadora	4	u	\$13,344.00
Monitoreo y control	PLC Siemens S7-200	4	u	\$3,350.60
	Botón de paro	4	u	\$22.00
	Pulsador de marcha	4	u	\$18.00
	Sensor ultrasónico	4	u	\$22.60
	Caja de control para el alimentador	4	u	\$182.88
	Caja de control para el tazón	4	u	\$182.88
	Caja de control para el transportador lineal	4	u	\$182.88

Eléctrico	Fuente conmutada 24 V	4	u	\$1,124.00
	Breakers	4	u	\$217.48
	Relé térmico	4	u	\$193.96
	Driver para motor DC de la banda	4	u	\$63.12
Otros gastos	Mano de obra	1	GLB	\$2,000.00
	Instalación y puesta en marcha	1	GLB	\$1,000.00
	Viáticos	1	GLB	\$500.00
TOTAL				\$72,101.96

Se debe considerar que en el mercado existe una variedad de fabricantes de sistemas de alimentación y orientación vibratorio. El costo total aproximado de comprar cuatro sistemas de alimentación vibratorios prefabricados y la banda transportadora incluyendo impuestos es de aproximadamente 40,312 USD. La ventaja que ofrece es que los proveedores cuentan con softwares de diseño para sistemas vibratorios y personal con conocimientos en el tema que permitirán seleccionar la mejor opción. Seleccionar o fabricar un tazón con las especificaciones que no son las adecuadas para la pieza, provocan atascamientos o que la pieza no se mueva de su lugar.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se diseñó un sistema capaz de dosificar y orientar los sachets de salsa en la posición deseada basado en los requerimientos del cliente. Este sistema cumple con el objetivo de transportar del sachet de salsa al riel de pegado cada segundo.

El mantenimiento de los sistemas vibratorios resulta sencillo y de bajo costo, ya que no son mecanismos complejos y son de baja emisión de ruidos. Este dato es mencionado por proveedores como VIBROMAQ en su catálogo de vibradores electromagnéticos. Con esto se mantiene la prioridad principal la cual es no reducir trabajo al operador o técnicos en planta.

Se concluye que el dimensionamiento de los sachets, la velocidad de transporte para la entrega y la frecuencia de vibración son de gran importancia en el diseño. Los mecanismos de alimentación vibratorio van de la mano de dichos requerimientos para un buen funcionamiento y puesta en marcha.

La correcta sincronización entre el sensor de nivel en el tazón y la vibración en el alimentador permite regular la dosificación de sachets de salsa. Es de gran relevancia controlar el flujo de salida del alimentador para garantizar un buen funcionamiento del tazón al orientar los sachets.

El costo generado por mecanizar las piezas es mayor a los precios comerciales ya establecidos en el mercado. Con esto se concluye que es más rentable comprar a través empresas dedicadas a la fabricación de sistemas vibratorios.

4.2 Recomendaciones

Si bien el sistema propuesto funciona con vibración, no se descarta otros mecanismos que podría cumplir con el objetivo de transporte tal como el alimentador centrífugo. Se debe validar la efectividad del mecanismo propuesto en la implementación.

Para la frecuencia de vibración de los vibradores electromagnéticos se debe utilizar las cajas de control ya que permiten regular la velocidad del flujo según la necesidad.

Para este proyecto solo se consideró el uso de un sensor ultrasónico para controlar el nivel en el tazón. Sin embargo, en el alimentador también se utilizan sensores de nivel para optimizar el monitoreo de las piezas a dosificar.

En los tazones vibratorios se puede utilizar sistemas de inspección mediante cámaras. Las partes que no cumplan con las especificaciones programadas en el PLC son removidas del tazón. Un sensor de proximidad detecta las piezas mal orientadas y se las compara con la imagen programada.

Para la salida del tazón se puede utilizar un sistema diferente al transportador lineal. El sistema se basa en un tubo que almacena en grupos de diez los sachets y los libera uno a uno en la banda transportadora.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Alvarado, «Los ‘snacks’ son los líderes en el mercado de los productos orgánicos en el país,» *Diario El Universo*, 27 Febrero 2022.
- [2] INSER ROBOTICA, «Las 5 ventajas para automatizar los procesos industriales,» Inser Robótica S.A., Mungia, 2022.
- [3] El Mercurio, «Cerca del 30 % de emprendimiento en Ecuador surgen de la necesidad,» *El Mercurio*, 16 Marzo 2021.
- [4] G. Coba, «Gaseosas y snacks lideran la lista de compras en las tiendas,» *Primicias*, 17 Noviembre 2021.
- [5] Oasys Automatizacion y control, «Claves de la automatización en la industria alimentaria,» Oasys, Madrid, 2022.
- [6] TOMRA, «Automatización de procesos en la industria alimentaria,» Asker, 2020.
- [7] CIC Consulting Informatico, «Beneficios de la automatización en la industria alimentaria,» Santander, 2021.
- [8] INDEXING & TRANSFER, «Direct Industry,» Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/cds-cam-driven-systems/product-26477-347830.html>. [Último acceso: 9 Septiembre 2022].
- [9] Intel, «Brazos robóticos industriales: cómo cambiar la manera de hacer las cosas,» Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.intel.es/content/www/es/es/robotics/robotic-arm.html>. [Último acceso: 12 Agosto 2022].
- [10] Grabcad, «Vibratory Feeder Bowl,» 20 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/vibratory-feeder-bowl-1>. [Último acceso: 18 Agosto 2022].
- [11] MP ELETTRONICA, «How do electromagnetic vibratory feeder works,» Roma, 2021.
- [12] A. Kadam y M. Pisotre, «Modal Analysis of Vibratory Bowl Feeder Machine,» IJRMEE, Wagholi, 2017.

- [13] Norelem, «Norelem,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.norelem.com/ar/es/Productos/Vista-general-de-producto/Tecnolog%C3%ADa-de-transporte-y-movimiento/95000-Tecnolog%C3%ADa-de-transporte-y-movimiento/Cintas-transportadoras-peque%C3%B1as/95300-Cintas-transportadoras-peque%C3%B1as-con-accionamiento>. [Último acceso: 11 Agosto 2022].
- [14] Vibrotech, «Vibrotech,» 2020. [En línea]. Available: <https://vibrotech.com.ar/m/3/3/7/productos/transporte-y-alimentacion/alimentadores-vibratorios>. [Último acceso: 10 Agosto 2022].
- [15] Automation Devices, «How to Choose the Right Vibratory Bowl Feeder Components,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.autodev.com/how-to-choose-the-right-vibratory-bowl-feeder-components>. [Último acceso: 22 Septiembre 2022].
- [16] Automation Devices, Inc. , «Basic Tooling Methods for Product Orientation,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.autodev.com/vibratory-feeder-bowl-orienting-part-shapes>. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- [17] G. Boothroyd, Assembly Automation and Product Design, United States: Taylor & Francis Group, 2005.
- [18] Tarnos, «Tarnos,» 2020. [En línea]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf/tarnos/alimentadores-vibrantes-electromagneticos-pequenas-capacidades/57662-751243.html>. [Último acceso: 17 Agosto 2022].
- [19] A. Rubio, «KIDPF,» 2020. [En línea]. Available: https://kipdf.com/tema-6-magnetismo-y-electromagnetismo_5ab06d551723dd419ce49db5.html. [Último acceso: 10 Septiembre 2022].
- [20] RNA AUTOMATION, «RNA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.rnaautomation.com/products/feeding-and-handling/bowl-feeders/>. [Último acceso: 17 Agosto 2022].
- [21] Maxon, «Motor DC EC-i30,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/maxon/product-7173-2030962.html>. [Último acceso: 22 Septiembre 2022].

- [22] Baumer Passion for Sensors, «Baumer,» Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.baumer.com/ch/en/solutions/sensor-solutions-in-feeder-technology/a/parts-feeder-systems>. [Último acceso: 25 Agosto 2022].
- [23] PEPPERL+FUCHS, «Datasheet PDF,» 2014. [En línea]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1309000/Pepperl+Fuchs/UC250-F77-IU-IO-V31/1>. [Último acceso: 14 Septiembre 2022].
- [24] F. Moreno, «Vibraciones y Ondas,» Escritos científicos, Jaén, 2010.
- [25] R. Villamil y C. Rodriguez, «Diseño de una máquina alimentadora de botellas para el módulo de envasado de un laboratorio de automatización,» Fundacion Universidad De America, Bogota, 2019.
- [26] V. Chavan, A. R. y S. S.B., «Analysis Of Anti Vibration Mounts For Vibration Isolation In,» IJERA, Pune, 2013.
- [27] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 9na Edición, Mexico: McGrawHill, 2008.
- [28] E. Mucchi, R. Di Gregorio y G. Dalpiaz, Mechanism and Machine Theory, ELSEVIER, 2013.
- [29] Automation Devices, «Automation Devices,» 14 Julio 2014. [En línea]. Available: https://www.autodev.com/uploads/resources/694820_6000.2-edit.pdf. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [30] Automation Devices, «Automation Devices,» 12 Octubre 2012. [En línea]. Available: https://www.autodev.com/uploads/resources/696869_6000.1d-edit.pdf. [Último acceso: 16 Septiembre 2022].
- [31] JET-ARCO , «JET-ARCO SOLDADURA ELÉCTRICA,» 2022. [En línea]. Available: <https://jet-arco.com/producto/electrodo-aceros-inoxidable-e312-16/>. [Último acceso: 18 Octubre 2022].

APÉNDICES

APÉNDICE A

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN EL ALIMENTADOR

Los movimientos que realizan los sachets en el alimentador son periódicos. A este tipo de movimiento se los denomina vibratorios y son movimientos bastante rápidos. La mayor distancia que un cuerpo se desplaza se denomina amplitud, representado por la letra A . El tiempo que tarda el cuerpo en realizar dicho desplazamiento se lo representa con la ecuación A.1. La frecuencia angular y la frecuencia de la onda son también magnitudes a considerar en este tipo de movimientos, representadas en las ecuaciones A.2 y A.3 respectivamente. En donde:

T = Periodo de tiempo de cada evento repetitivo

π = Constante que representa la relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro

ω = Frecuencia angular

f = Frecuencia del movimiento

$$t = \frac{T}{4} \text{ [s]} \quad (\text{A.1})$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ [Hz]} \quad (\text{A.2})$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (\text{A.3})$$

En un movimiento vibratorio al cual es sometido el sachet de salsa causa un movimiento armónico simple. Obteniendo las siguientes ecuaciones. En donde:

$x(t)$ = Función sinusoidal de la elongación

φ'_0 = Fase inicial. Angulo inicial de vibración en $t=0$

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi'_0) [m] \quad (A.4)$$

Determinando la primera y segunda derivada de la ecuación de posición, se obtiene las siguientes funciones de velocidad y aceleración.

$$v(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi'_0) \left[\frac{m}{s} \right] \quad (A.5)$$

$$a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi'_0) \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (A.6)$$

En cuanto a la dinámica del sachet en un movimiento armónico simple. Se considera el principio de la segunda ley de Newton. La cual el valor de la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración. Sin embargo, hay que tener en cuenta la aceleración del movimiento armónico simple, representado en la ecuación A.7.

$$F = m \cdot (-\omega^2 \cdot x) [N] \quad (A.7)$$

El valor de la masa y la pulsación son constantes por lo que se las puede asumir con una sola constante k . Permitiendo obtener la relación entre la pulsación, periodo y la masa de una partícula que vibra, partiendo desde la ecuación A.8. [24]

$$k = m \cdot \omega^2 \quad (\text{A.8})$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{A.9})$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{A.10})$$

Al determinar la frecuencia ω en 60 Hertz, se obtienen los siguientes resultados.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.104 \text{ [s]}$$

$$t = \frac{T}{4} = 0.026 \text{ [s]}$$

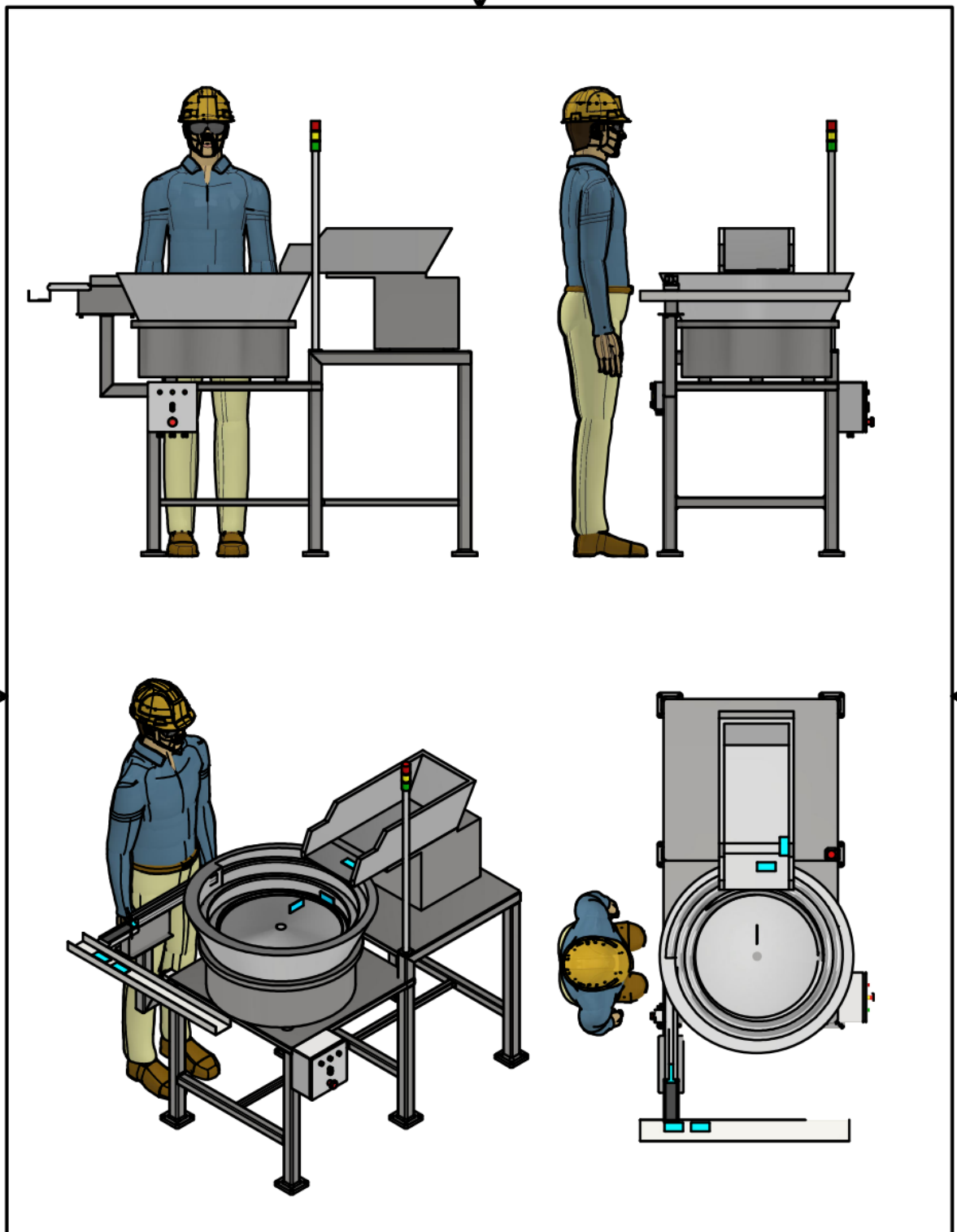
$$f = \frac{1}{T} = 9.61 \text{ [Hz]}$$

Los sachets deben avanzar en promedio su longitud, pues avanzan varios sachets en un instante. Se define una velocidad de avance de los sachets en $0.05 \left[\frac{m}{s} \right]$.

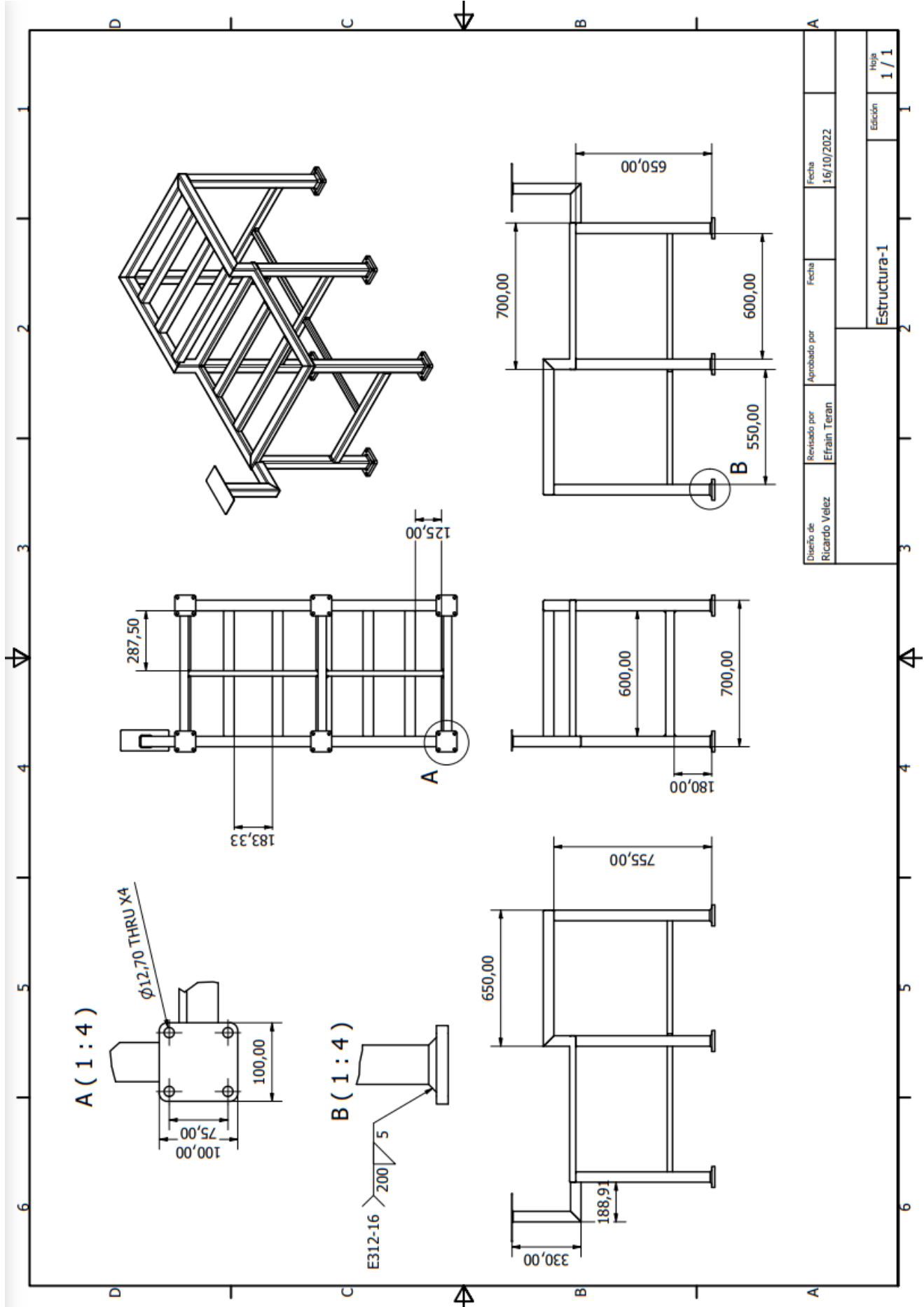
$$V_{\text{maxsachets}} = A\omega \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$A = \frac{V_{\text{maxsachet}}}{\omega} = \frac{V_{\text{maxsachet}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.05}{2 \cdot \pi \cdot 60} = 1.32 \times 10^{-4} \text{ [m]}$$

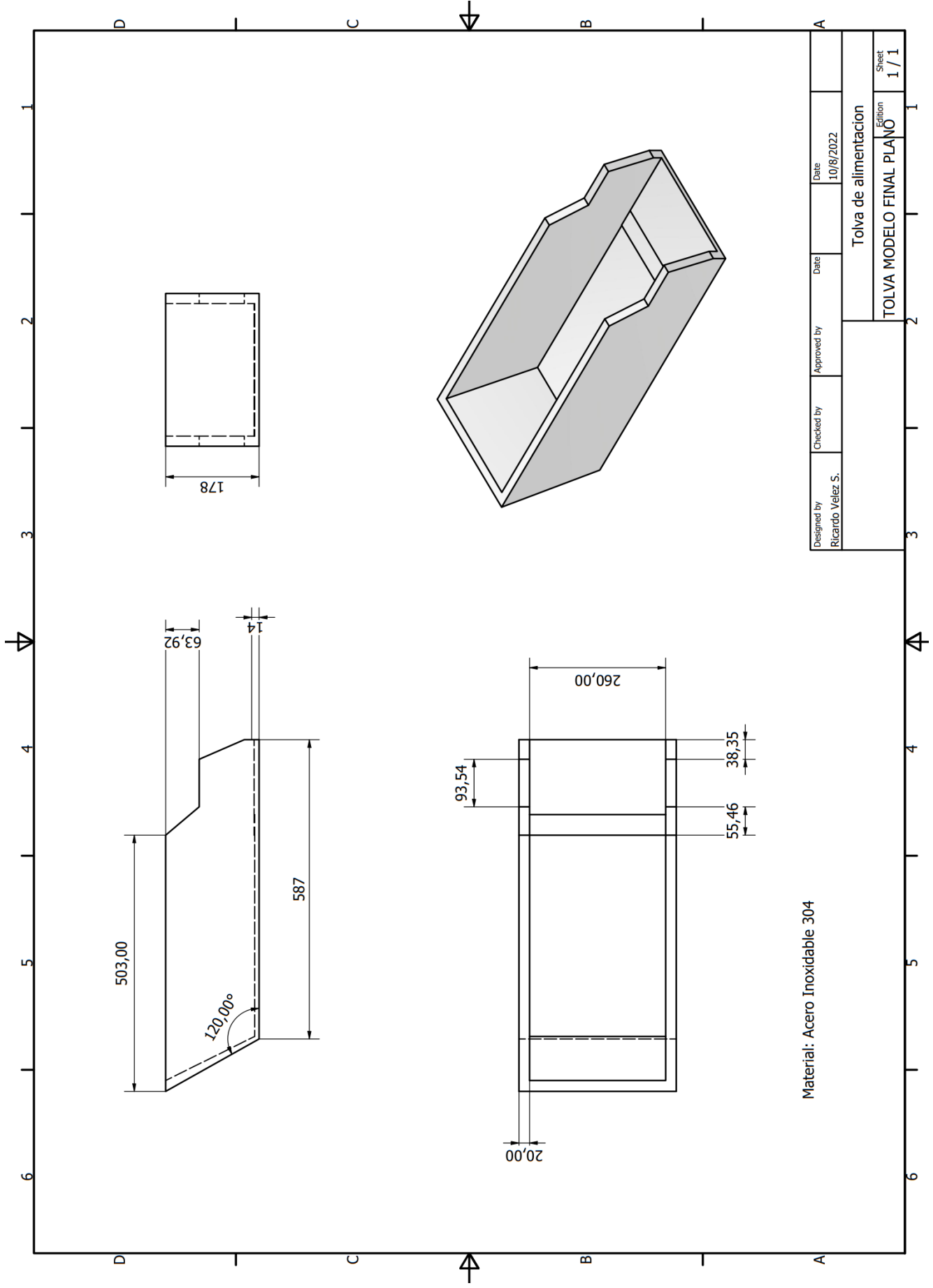
APÉNDICE B
PLANOS MECÁNICOS



Diseño de Ricardo Velez	Revisado por Efrain Teran	Aprobado por	Fecha	Fecha 16/10/2022	
			ensamble competo-1		Edición
					Hoja 2 / 2

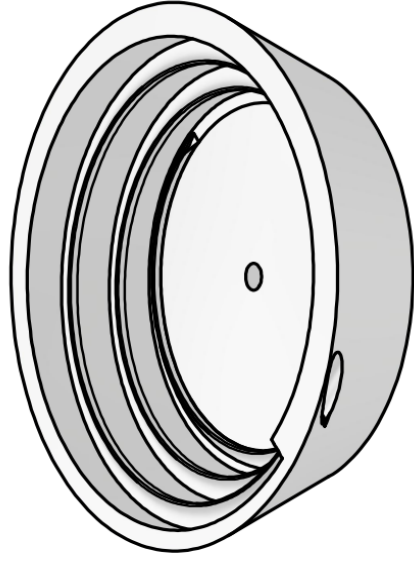
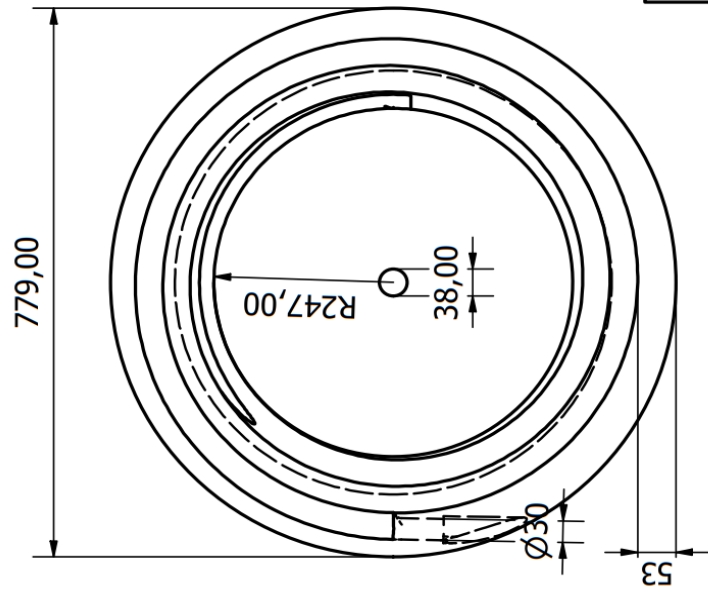
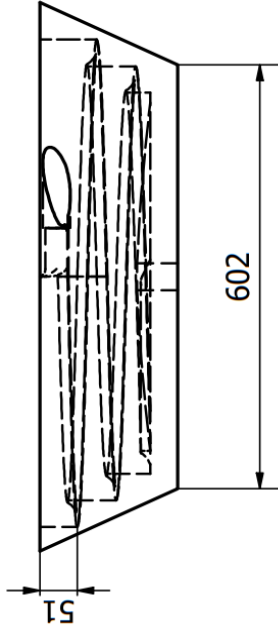
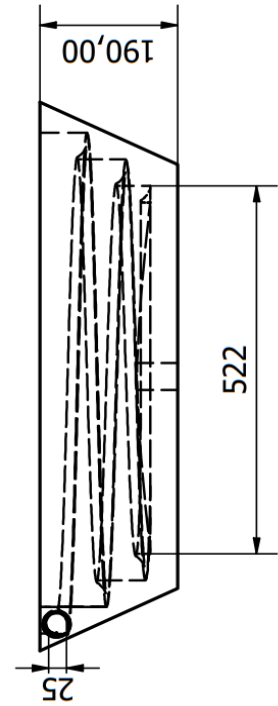


Diseño de Ricardo Velez	Revisado por Efraim Teran	Aprobado por	Fecha 16/10/2022
Estructura-1			Hoja 1 / 1



Material: Acero Inoxidable 304

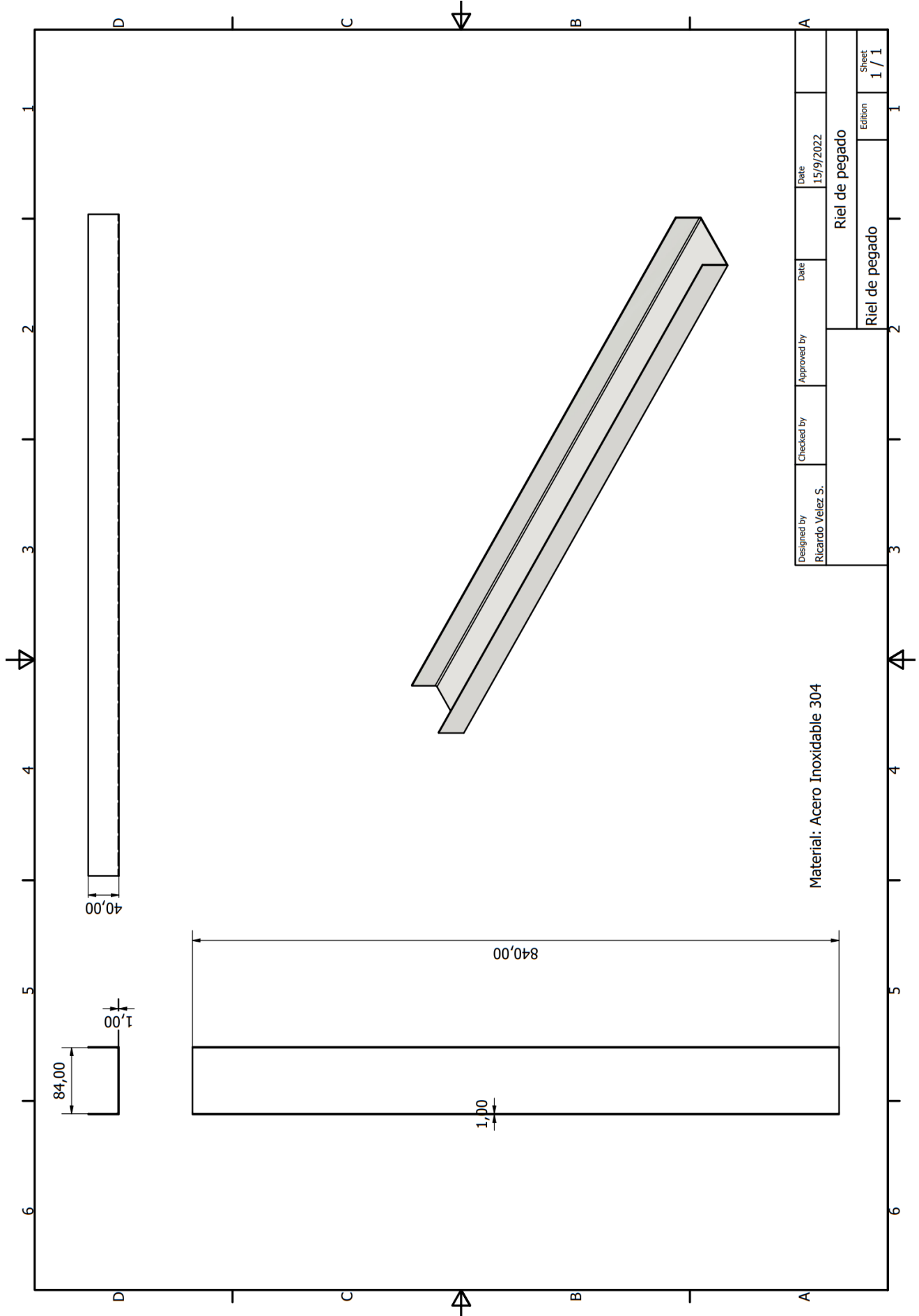
Designed by Ricardo Velez S.	Checked by	Approved by	Date 10/8/2022
Tolva de alimentacion			Edition 1 / 1
TOLVA MODELO FINAL PLANO			



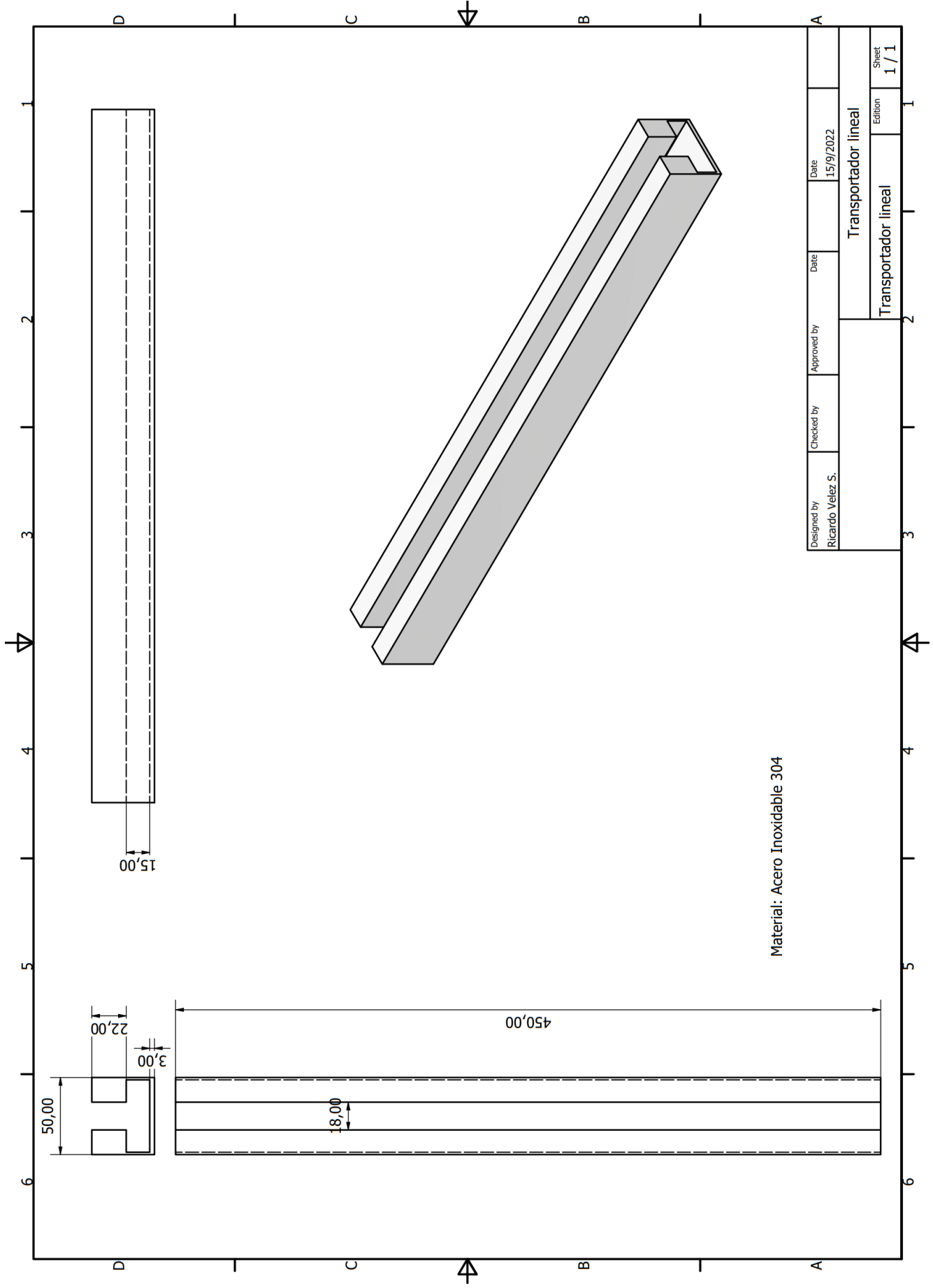
Material: Acero Inoxidable 304

Designed by Ricardo Velez S.	Checked by	Approved by	Date 11/8/2022
Tazon vibratorio			Sheet 1 / 1
TAZON MODELO FINAL PLANO			





Designed by Ricardo Velez S.	Checked by	Approved by	Date 15/9/2022	Date 15/9/2022
Material: Acero Inoxidable 304			Riel de pegado	
Riel de pegado			Edition	Sheet 1 / 1



Material: Acero Inoxidable 304

Designed by Ricardo Velez S.	Checked by	Approved by	Date 15/9/2022	Sheet 1 / 1
Transportador lineal			Transportador lineal	

APÉNDICE C

CÁLCULOS PARA EL MOTOR DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Considerando la velocidad del sachet constante, se utilizó la ecuación C.12. En donde:

v = Velocidad sachet

d = Distancia del borde de la maquina envasadora al riel

t = Tiempo

$$v = \frac{d}{t} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (C.12)$$

$$v = \frac{0.172}{1} = 0.172 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Adicionalmente se calcula el torque instantáneo, producto de la fuerza ejercida de un sachet que avanzaría en la banda. Dando como resultado:

$$T = F \cdot d \text{ [Kg cm]} \quad (C.13)$$

$$T = 0.010 \cdot 17.2 = 0.172 \text{ [Kg cm]}$$

Conociendo que la banda tiene una velocidad máxima de $0.19 \left[\frac{m}{s} \right]$, se puede aceptar el motor con las características mostradas en la Tabla 2.12.

APÉNDICE D

CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ALIMENTADOR

Para la línea de producción se utilizan un máximo de 1500 sachets. Por lo que, para estimar el volumen de sachet que almacenaría el alimentador, se utilizó la ecuación D.14.

$$Volumen_{alimentador} = Volumen_{sachet} \cdot 1500 [m^3] \quad (D.14)$$

$$Volumen_{alimentador} = 1500 \times 8.1 \times 10^{-6} = 0.0012 [m^3]$$

$$Volumen_{alimentador} = 0.0012 \times \frac{1}{0.0001} = 12 [L]$$

Para determinar la capacidad de un alimentador electromagnético, se utilizó la ecuación D.15. En donde:

$Q_{sachets}$ = Capacidad de alimentador vibratorio [TPH]

ρ = Densidad de un sachet de salsa [$\frac{Ton}{m^3}$]

A = Área de la sección transversal [m^2]

V_{sachet} = Velocidad del sachet [$\frac{m}{s}$]

IF = Factor de inclinación dependiendo el ángulo para este caso el valor es de 1.3 ya que el ángulo es de 7 grados

$$Q_{sachets} = \rho \cdot A \cdot V_{sachet} \cdot 3600 \cdot IF [TPH] \quad (D.15)$$

$$Q_{sachets} = 1.36 \cdot 0.15 \cdot 0.05 \cdot 3600 \cdot 1.3 = 47.73 [TPH]$$

En cuanto al cálculo estimado de la altura del alimentador, se utilizó la ecuación D.16. Esta ecuación fue determinada por el proveedor Vibrotech. En donde:

h = Capacidad de alimentador vibratorio [cm]

$Q_{sachets}$ = Capacidad de alimentador vibratorio [TPH]

ρ = Densidad de un sachet de salsa [$\frac{Kg}{dm^3}$]

b = Ancho del alimentador [m]

V_{sachet} = Velocidad del sachet [$\frac{m}{h}$]

$$h = \frac{Q_{sachets} \cdot 10000}{[b - 10] \cdot V_{sachet} \cdot \rho} \quad (D.16)$$

$$h = \frac{47.73 \cdot 10000}{[30 - 10] \cdot 180 \cdot 1.23} = 107.8 [cm]$$