

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA
SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE
EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA
APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores: Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez

José Wilbert Mires Gonzales

Asesor : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon

Línea de investigación: Automatización y control industrial

JAÉN – PERÚ

2026

Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez Y José Wilbert Mi...

DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO ...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3537572333

59 páginas

Fecha de entrega

14 abr 2026, 2:30 p.m. GMT-5

8648 palabras

Fecha de descarga

14 abr 2026, 2:36 p.m. GMT-5

46.923 caracteres

Nombre del archivo

INAL_JOSE_MIRES_YOSUER_MONTEZA_-JOSE_WILBERT_MIRES_GONZALES.pdf

Tamaño del archivo

4.9 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera

Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 29 de abril de 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Juan Antonio Labrin Romero.

Secretario: Mg. José Andrés Fernández Mera.

Vocal: Mtro. Marco Luis Pérez Silva.

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(**X**) Informe Final de Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN**, presentado por el egresado **José Wilbert Mires Gonzales** y el bachiller **Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

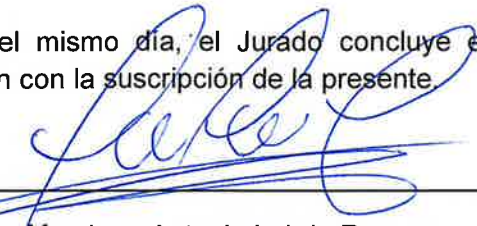
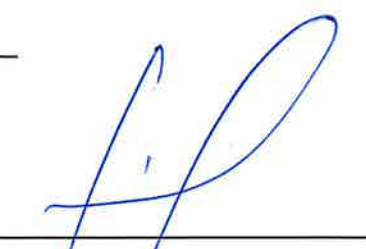
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(**X**) Aprobar () Desaprobar (**X**) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 18:25 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

 Mg. José Andrés Fernández Mera Secretario	 Mg. Juan Antonio Labrin Romero Presidente	 Mtro. Marco Luis Pérez Silva Vocal
---	--	--

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Nosotros, **Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez**, y **José Wilbert Mires Gonzales** egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con **DNI: 74552068 y DNI: 48272999**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN”.

Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon**.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico y Eléctrico.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 13 de julio del 2026.

Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez

José Wilbert Mires Gonzales

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
RESUMEN	5
ABSTRAC	6
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Justificación.....	9
1.2. El objetivo general	11
1.3. Objetivos específicos.....	11
II. MATERIAL Y MÉTODOS	12
2.1. Tipo de investigación	12
2.2. Métodos	12
III. RESULTADOS	14
3.1 Análisis de los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos involucrados en el proceso de empaquetado de café molido	14
3.2 Evaluación de la resistencia estructural de la máquina mediante análisis estático con el software SolidWorks	17
3.3 Diseño y simulación de los circuitos electroneumáticos mediante software FluidSIM	31
3.4 Determinación de la viabilidad económica del proyecto.....	36
IV. DISCUSIÓN	40
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
AGRADECIMIENTO	47
DEDICATORIA	48
ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de operación de la máquina	13
Figura 2 Cilindros para el llenado del café molido	19
Figura 3 Tolva de café	20
Figura 4 Sistema de soporte y guiado de bolsa	21
Figura 5 Soporte de cilindro	22
Figura 6 Compresor de aire	23
Figura 7 Cilindro de doble efecto	24
Figura 8 Válvula de pedal.....	26
Figura 9 Estructura de soporte.....	28
Figura 10 Análisis de tensiones	29
Figura 11 Análisis de desplazamientos	30
Figura 12 Factor de seguridad	31
Figura 13 Interfaz de FluidSIM	32
Figura 14 Conexión neumática.....	33
Figura 15 Circuito neumático	34
Figura 16 Simulación del circuito neumático.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Registro Técnico de Parámetros Operativos y Comerciales del Proceso de Empaquetado de Café Molido	14
Tabla 2	Componentes actuales identificados en el proceso de empaquetado manual de café molido.....	15
Tabla 3	Diámetro interno y externo del cilindro en función de la altura útil	18
Tabla 4	Lista de equipos para la implementación de la máquina	36

RESUMEN

El empaquetado manual de café molido en APROCASSI evidenció baja productividad, variabilidad en el peso de llenado y riesgo de contaminación, alcanzándose una producción real de 20 bolsas/h para presentaciones de 250 g y 500 g, además de una merma mensual aproximada de 2.5 kg (10 bolsas de 250 g y 5 bolsas de 500 g). En este contexto, el proyecto desarrolló el diseño de una máquina electroneumática semiautomatizada para dosificar y sellar café molido, adecuada a un área disponible de 1.5 m de largo y 2.5 m de altura, y compatible con bolsas de $240 \times 150 \times 4 \text{ mm}$ (250 g) y $250 \times 150 \times 5 \text{ mm}$ (500 g). El sistema de dosificación se dimensionó con densidad aparente del café de 0.35 g/ml, definiéndose cilindros dosificadores (espesor 2 mm) para 250 g y 500 g con diámetros internos calculados según altura útil seleccionada. La estructura principal se planteó en acero inoxidable AISI 304 con tubo $40 \times 40 \times 3 \text{ mm}$ y fue verificada mediante análisis estático para una carga total de 214 kg, obteniéndose una tensión máxima de 139.636 MPa, desplazamiento máximo de 7.088 mm y factor de seguridad mínimo de 1.5. El accionamiento neumático se configuró con cilindro de doble efecto Ø20 mm y carrera 200 mm, determinándose una presión mínima de operación cercana a 6.1 bar y recomendándose 7 bar. Finalmente, el costo total de implementación se estimó en S/. 9 990 y se estableció la evaluación económica mediante VAN y TIR aceptables.

Palabras clave: Empaquetado de café molido, máquina electroneumática, dosificación por cilindros, análisis estático

ABSTRAC

Manual packaging of ground coffee at APROCASSI showed low productivity, variability in filling weight, and risk of contamination, achieving an actual production of 20 bags/hour for 250 g and 500 g packages, in addition to an approximate monthly loss of 2.5 kg (10 bags of 250 g and 5 bags of 500 g). In this context, the project developed the design of a semi-automated electro-pneumatic machine for dosing and sealing ground coffee, suitable for an available area of 1.5 m long and 2.5 m high, and compatible with bags measuring 240×150×4 mm (250 g) and 250×150×5 mm (500 g). The dosing system was dimensioned with an apparent density of coffee of 0.35 g/ml, defining dosing cylinders (thickness 2 mm) for 250 g and 500 g with internal diameters calculated according to the selected working height. The main structure was designed in AISI 304 stainless steel with 40×40×3 mm tubing and was verified by static analysis for a total load of 214 kg, obtaining a maximum stress of 139.636 MPa, maximum displacement of 7.088 mm, and minimum safety factor of 1.5. The pneumatic drive was configured with a double-acting cylinder Ø20 mm and stroke 200 mm, determining a minimum operating pressure of approximately 6.1 bar and recommending 7 bar. Finally, the total implementation cost was estimated at S/. 9,990, and the economic evaluation was established using acceptable NPV and IRR.

Keywords: Packaging of ground coffee, electro-pneumatic machine, cylinder dosing, static analysis

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el café sigue teniendo una expansión en la demanda, el mercado mundial se estimó en US\$ 269,3 mil millones en 2024 con proyección de US\$ 369,5 mil millones para el 2030, donde con el café molido lideró por tipo de producto con un 37,6% de participación en 2024 (Mordor Intelligence, 2024). Asimismo, más del 60% de los pequeños productores y cooperativas en países en desarrollo no cuentan con tecnologías adecuadas para la transformación y empaquetado (Organización Internacional del Café [ICO], 2023)

En Perú, la producción se restaura y para 2025/26 se prevé 4,2 millones de sacos de 60 kg, con crecimiento cercano al 8%, promovido por mejores precios, mayor uso de insumos y clima favorable en 2024/25. El área de cultivo ronda 335 mil hectáreas, principalmente en Cajamarca, San Martín, Junín y Amazonas. Las exportaciones con EE. UU. como principal destino y los precios de exportación en aumento, y Perú mantiene su posicionamiento en cafés orgánicos y de calidad (Mackey, 2025).

Cajamarca, como primer productor, contribuye un 22% de la producción nacional, por las condiciones de altura y manejo, en fincas bien gestionadas, existen rendimientos de hasta 45 sacos por hectárea. La región destaca por certificaciones orgánicas y de comercio equitativo y por su popularidad en cafés especiales. Enfrenta retos como la roya, broca, limitaciones de infraestructura, acceso a financiamiento y tecnologías adecuadas para la producción eficiente (Mackey, 2025).

En el ámbito local, la provincia de Jaén ya demuestra volumen exportador considerado, 71 000 quintales de café verde colocados en Europa y Norteamérica, donde el 95% de sus cafés son exportados a Alemania, Francia, Bélgica, Suecia, Australia, Estados Unidos y Canadá (MIDAGRI, 2021). Esto revela una oportunidad inmediata para una máquina electroneumática que reduzca tiempos, mermas y variabilidad del paquete en cooperativas como Aprocassi y fortalezca su competitividad. La industria alimentaria del café está en crecimiento lo que obliga a los productores y cooperativas a profesionalizar y responder a producción más exigentes, para competir en precios y calidad del producto.

Luego, se planteó la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar una máquina electroneumática semiautomatizada para el proceso de empaquetado de café molido en la cooperativa Aprocassi en la provincia de Jaén?

Según Martínez y García (2017) en el trabajo de tesis, prototipo de máquina empacadora de productos hortofrutícolas. Difundido como investigación aplicada; los resultados reportan una empacadora automatizada que cumple normas técnicas como NTC 1248-2, integra módulos mecánicos y electrónicos con controladores microprogramados y comunicación industrial (CAN). la selección de actuadores neumáticos, electroválvulas, sensores (peso/presencia/temperatura), controladores y materiales en contacto con alimentos; sugiere una arquitectura de control (PLC o microcontrolador con lazos PID, interlocks y trazabilidad).

De igual manera, Landeta Monje y Pillajo Gómez (2018), en la tesis denominada; desarrollo de un prototipo de una máquina empacadora de snacks de multi gramaje para fábrica productos Suin. Presenta una investigación aplicada con enfoque experimental. Los autores logran mejoras de productividad del 10%, aumento de la eficiencia semanal del 3%, mayor precisión de pesado, y viabilidad financiera con VAN de 1,043.97 dólares (15%), TIR de 33.36% y recuperación entre 6 y 12 meses. También refieren lineamientos para el control de dosificación y tiempos de ciclo con sensores y PLC, estandarización mediante HMI, y una ruta de evaluación económica mediante VAN y TIR, para justificar capacidad, productividad y viabilidad

Por otro lado, Alfaro y Moran (2011) en el trabajo de investigación denominado; diseño de modelo de máquina empacadora de bolsas prefabricadas tipo Doypack, es una investigación aplicada de diseño y desarrollo tecnológico. Sus resultados muestran la evaluación de alternativas para el llenado, sellado y despacho; la elección de una indexadora rotativa por su precisión, eficiencia y costo; un modelo CAD mejorado con materiales aptos para contacto alimenticio; y una selección que garantiza precisión, costo y mantenibilidad cumpliendo requisitos técnicos y económicos. Los autores ultiman que han elegido mecanismos y actuadores neumáticos con control eléctrico usando matrices multicriterio, y los parámetros de diseño como tiempos de ciclo, par/carrera de actuadores

y tolerancias de posicionamiento se pueden validar mediante pruebas de bancada y optimización de la BOM. Asimismo, mencionan que el diseño logrado trabajar a una temperatura de operación de 0-45°C, aire comprimido de 80 psi máximo, con un voltaje de 115-220 VAC monofásico a 60 Hz.

Segun Alejandro y Miranda (2023), en el trabajo de titulación: Desarrollo, modelado y simulación de un sistema automatizado para el llenado y envasado de agua; el trabajo se enmarca en investigación aplicada con diseño de campo y validación por simulación no experimental. Los principales resultados alcanzado por los autores son: Diseño estructural en acero inoxidable AISI 316 con esfuerzos dentro de límites aceptables; combinación de sensores capacitivos y cilindros de doble efecto para controlar las etapas de llenado, posicionamiento y tapado, el control mediante PLC S7-1200, E/S y lógica de interbloqueos; validación secuencial del ciclo en simulación; y lineamientos sobre tiempos de ciclo. Por tanto, los autores culminan mencionado que el prototipo integra componentes eléctricos y neumáticos, modelado CAD, simulaciones (SolidWorks, Factory I/O) y programación en PLC (TIA Portal/S7-1200)

Según Joaquín Apaza (2018) en la tesis titulada; diseño del sistema mecánico de una empaquetadora de pañales, enmarcada como investigación aplicada con enfoque de diseño de ingeniería. El autor reporta resultados del diseño de la empaquetadora areas como la mecánica y eléctrica, donde obtuvo un factor de seguridad estructural >1.8 , mejoras en tiempos de ciclo y un análisis técnico-económico que respalda para posible construcción. Además, implementó 2 actuadores lineales adicionales en el sistema, que felicitó la labor del operario, ya que cuenta con un tiempo de 7 a 12 segundos para posicionar la próxima bolsa en la boqueta.

1.1. Justificación

La justificación se realizó desde el punto de vista: Técnica – científica, social y económica.

Justificación Técnica – Científica

El desarrollo del diseño de la máquina electroneumática semiautomatizada para el proceso de empaquetado de café molido representó un progreso significativo en la

innovación de la cadena productiva de la cooperativa Aprocassi. En ese momento, el envasado se realizaba de forma manual, lo que generaba limitaciones en la uniformidad, la inocuidad y la velocidad del proceso. El proyecto permitió que, al implementarse la máquina, se garantizara la obtención de empaques de mejor calidad. Además, contribuyó a la automatización industrial orientada a lograr mayor productividad con menor consumo energético.

Justificación Económica

La máquina electroneumática semiautomatizada permitió a la cooperativa optimizar la eficiencia del empaquetado, disminuir costos operativos y reducir desperdicios de materia prima. Esto permitió incrementar la productividad y la capacidad de procesar volúmenes más altos en menor tiempo, ampliando la rentabilidad de la organización. A valor de mercado, el café molido con empaques de calidad tuvo un mayor valor agregado, lo cual se reflejó en mejores ingresos para los productores. Además, al aumentar la competitividad del café en la provincia de Jaén, se promovió el desarrollo económico local y el avance hacia mercados más exigentes, como Europa y Norteamérica.

Justificación Social

La máquina benefició a los socios productores de la cooperativa Aprocassi al fortalecer la competitividad en mercados nacionales e internacionales. Al mejorar el proceso de empaquetado del café molido, se realzó la calidad del producto, lo que favoreció el posicionamiento y amplió las oportunidades de comercialización con mejores precios. Asimismo, el proyecto aportó a la generación de empleo calificado en la provincia de Jaén, al requerir personal capacitado para la operación y el mantenimiento de la máquina.

1.2. El objetivo general

El objetivo general consistió en: Diseñar una máquina electroneumática semiautomatizada para el proceso de empaquetado de café molido en la cooperativa Aprocassi en la provincia de Jaén.

1.3. Objetivos específicos

Los objetivos específicos se establecieron de la siguiente manera:

- Analizar los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos involucrados en el proceso de empaquetado de café molido
- Evaluar la resistencia estructural de la máquina mediante análisis estático con el software SolidWorks
- Diseñar y simular los circuitos electroneumáticos mediante software FluidSIM
- Determinar la viabilidad económica del proyecto

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo - aplicativo, debido a que se orientó a caracterizar el funcionamiento, componentes y desempeño del prototipo, y a la vez aplicar conocimientos de diseño mecánico, neumática y validación técnica para la implementación de la máquina empacadora. La investigación descriptiva se emplea cuando se requiere detallar las propiedades, características y comportamiento de un fenómeno o sistema sin manipular deliberadamente variables. (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018; Bernal, 2010).

2.2. Métodos

Método descriptivo

Se aplicó el método descriptivo para registrar y explicar, de manera ordenada y técnica, las características constructivas del prototipo, la configuración de sus subsistemas (estructura, dosificado, sellado y neumática) y los resultados obtenidos en pruebas de funcionamiento. Este método permitió sistematizar la información observada y presentarla en forma de especificaciones, tablas, esquemas y resultados. (Bernal, 2010; Tamayo y Tamayo, 2003).

Técnica - Observación

Se empleó la observación como técnica principal para identificar el comportamiento del prototipo y verificar el cumplimiento de las funciones esperadas, registrando condiciones de operación, secuencia de movimiento, respuesta del actuador neumático, análisis de la estructura. La observación se ejecutó de forma directa y sistemática, apoyada en instrumentos de registro. (Niño Rojas, 2011).

Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante:

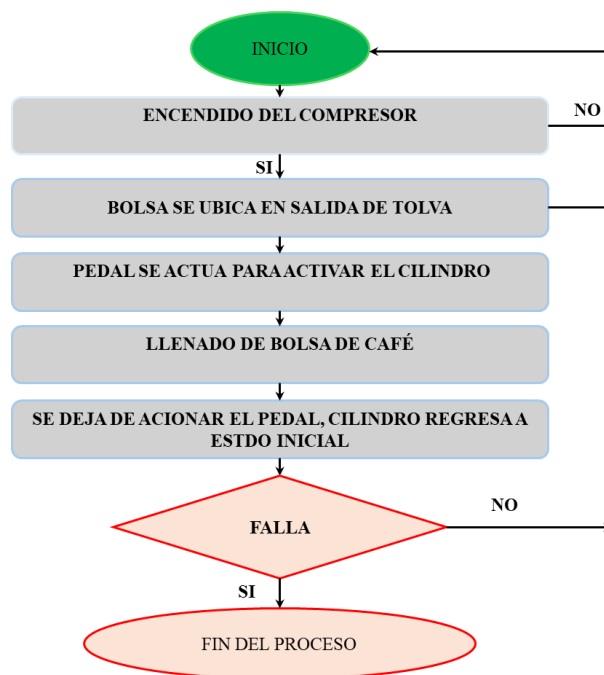
1. Recolección de información en la empresa APROCASSI
2. Cálculos de diseño preliminar y modelado CAD
3. Registro del funcionamiento del circuito neumático durante avance/retroceso del cilindro y verificación de presión de trabajo
4. Ejecución del análisis estático del prototipo para confirmar la funcionalidad de la maquina en un entorno real.

Instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la técnica documental, considerando tesis, libros, artículos científicos y normas.

Figura 1

Diagrama de operación de la máquina



III. RESULTADOS

El proyecto se estructuró en cuatro propósitos coherentes con el objetivo principal, los cuales se desarrollaron en los apartados siguientes.

3.1 Análisis de los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos involucrados en el proceso de empaquetado de café molido

- **Identificar las características técnicas, capacidad operativa y grado de integración en un sistema semiautomatizado**

Se realizó visita a la empresa para obtener información técnica, la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Registro Técnico de Parámetros Operativos y Comerciales del Proceso de Empaquetado de Café Molido

REGISTRO DE VALORES DE PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Presentación: 250g		
Llenado de Bolsas por hora (promedio real)	bolsas/h	20
Café desperdiciado por día/mes	kg/mes	2.5
Tipo de bolsa	Unidad	Bolsa trilaminada
Dimensiones de la bolsa alto/ancho/espesor	mm	240*150*4
Área para instalar máquina (L×A×H)	m2	L:1.5m
		A:.1m
		H:2.5m
Nº operarios	Unidad	1
Pago por mes	S/.	s/.1500
Precio por bolsa	S/.	20
Ventas mensuales	bolsas/mes	300
Presentación: 500g		
Llenado de Bolsas por hora (promedio real)	bolsas/h	20
Café desperdiciado por día/mes	kg/día o kg/mes	2.5

Tipo de bolsa	Unidad	Bolsa transparente plástica
Dimensiones de la bolsa alto/ancho/espesor	mm	250*150*5
Área para instalar máquina (L×A×H)	m2	L:1.5m A:.1m H:2.5m
N° operarios	Unidad	1
Pago por mes	S/.	s/.1500
Precio por bolsa	S/	25
Ventas mensuales	Bolsas/mes	200

Se identificaron los siguientes componentes actuales:

Tabla 2

Componentes actuales identificados en el proceso de empaquetado manual de café molido

Componente actual identificado	Función en el proceso actual	Tipo / condición	Observación técnica (limitación principal)
Balanza digital para pesado manual	Dosificar el café por peso	Equipo manual	Depende del criterio del operario; variabilidad en el llenado.
Selladora térmica manual	Sellar el empaque	Equipo manual	Tiempo de sellado no uniforme; riesgo de sellos inconsistentes.
Mesa de trabajo sin sistema de guiado	Superficie para operación de llenado y sellado	Infraestructura básica	No garantiza alineación/posicionamiento repetible de bolsas.
Manipulación directa por operario	Alimentación, llenado, posicionamiento y sellado	Operación manual	Mayor riesgo de contaminación; limita la velocidad y uniformidad del proceso.

- **Identificación de la capacidad operativa actual**

Producción real registrada fue:

20 bolsas/h (250 g)

20 bolsas/h (500 g)

La capacidad horaria se expresa como (Groover, 2016):

$$Q_h = \frac{N}{t} \times 3600 \quad (1)$$

Donde Q_h representó la producción en bolsas por hora, N el número de bolsas producidas y t el tiempo de observación en segundos, luego se tiene:

$$Q_h = 20 \text{ bolsas/h}$$

- **Determinación del tiempo de ciclo actual**

El tiempo promedio por bolsa se calculó mediante:

$$T_c = \frac{3600}{20} = 180 \text{ s/bolsa} \quad (2)$$

Este valor evidenció un proceso manual con baja eficiencia operativa.

- **Evaluación de merma del proceso**

Se registró una merma mensual de 2.5 kg de café molido. El porcentaje de pérdida se evaluó mediante:

$$\%Merma = \frac{m_{entrada} - m_{salida}}{m_{entrada}} \times 100 \quad (3)$$

La merma equivalió a: 10 bolsas de 250 g , 5 bolsas de 500 g

En términos económicos, se estimó una pérdida aproximada de S/.157 mensuales, considerando el valor promedio por kilogramo vendido.

Desde el punto de vista de integración, se determinó que el sistema no presentaba automatización ni sincronización entre etapas de llenado y sellado, lo cual generó variabilidad en peso y pérdida de producto, situación coherente con lo descrito en procesos de empaque manual (Peñafigli et al., 2021).

3.2 Evaluación de la resistencia estructural de la máquina mediante análisis estático con el software SolidWorks

- **Diseñar la máquina electroneumática**

- **Diseño 3D**

Se elaboró el modelo tridimensional de la máquina en entorno CAD, mediante SolidWorks, considerando el espacio disponible ($1.5\text{ m} \times 1.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$). El diseño se realizó siguiendo criterios de rigidez estructural y estabilidad geométrica, de acuerdo con fundamentos de diseño mecánico (Hibbeler, 2018). El diseño incluyó los siguientes sistemas:

Sistema mecánico

- Cilindro de llenado de café: 250g y 500g

La densidad aparente del producto (g/ml), para el café molido típico suele estar aprox. 0.35 - 0.45 g/ml. Considerando el espesor de 2mm. Se realizó el siguiente uso de fórmulas:

Volumen interno requerido:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4)$$

Luego se obtuvo, para una densidad del café de $\rho = 0.35\text{ g/ml}$:

- Para 250 g: $V \approx 714.29\text{ml}$
 - Para 500 g: $V \approx 1428.57\text{ml}$

Diámetro interno:

$$D_{int} = \sqrt{\frac{4V}{\pi H}} \quad (5)$$

Con espesor de $t = 2mm$, el diámetro externo es:

$$D_{ext} = D_{int} + 2t = D_{int} + 4mm \quad (6)$$

En la tabla siguiente se muestra los resultados.

Tabla 3

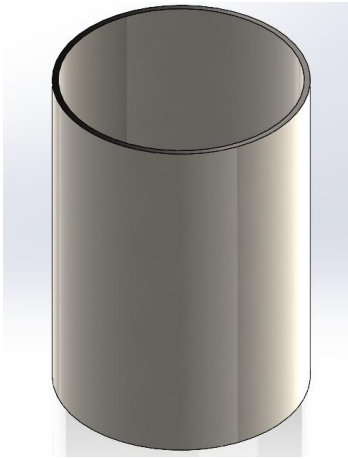
Diámetro interno y externo del cilindro en función de la altura útil

Altura útil H (mm)	D_{int} 250 g (mm)	D_{ext} 250 g (mm)	D_{int} 500 g (mm)	D_{ext} 500 g (mm)
80	99.7	103.7	141	145
100	89.2	93.2	126.2	130.2
120	81.4	85.4	115.2	119.2
150	72.8	76.8	103	107

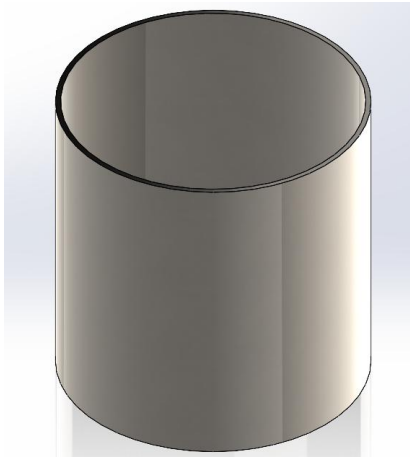
Se eligió $H = 120 mm$ porque permitió un cilindro compacto, estable y fabricable, manteniendo una buena condición de flujo del café molido y cumpliendo las capacidades de 250 g y 500 g con $\rho = 0.35 g/ml$ y $t = 2mm$.

Figura 2

Cilindros para el llenado del café molido



a) Cilindro de 250g



b) Cilindro 500g

▪ Tolva del café

Para 15 kg de café molido a 75% de llenado, primero se definió el volumen total del embudo que se necesita, asumiendo densidad típica para café molido es $\rho = 0.35 \text{ kg/L}$.

$$V_{75\%} = \frac{m}{\rho} \quad (7)$$

$$V_{75\%} = \frac{15}{0.35} = 42.86L$$

$$V_{total} = \frac{V_{75\%}}{0.75} \quad (8)$$

$$V_{total} = \frac{42.86}{0.75}$$

$$V_{total} = 57.14 \text{ L} \approx 0.05714m^3$$

Luego se realizó el ajuste de los diámetros internos, considerando el espesor de la tolva de 3mm. El volumen interno se calculó con:

$$D_{int} = D_{ext} - 2t \quad (9)$$

Luego se tiene:

$$D_{1,int} = 600 - 2(3) = 594 \text{ mm} = 0.594m$$

$$D_{2,int} = 119.2 - 2(3) = 113.2 \text{ mm} = 0.1132m$$

La tolva se diseñó para una geometría tronco de cono. La fórmula del volumen del tronco de cono, con D_1 y D_2 , es:

$$V = \frac{\pi h}{12} (D_1^2 + D_1 \times D_2 + D_2^2) \quad (10)$$

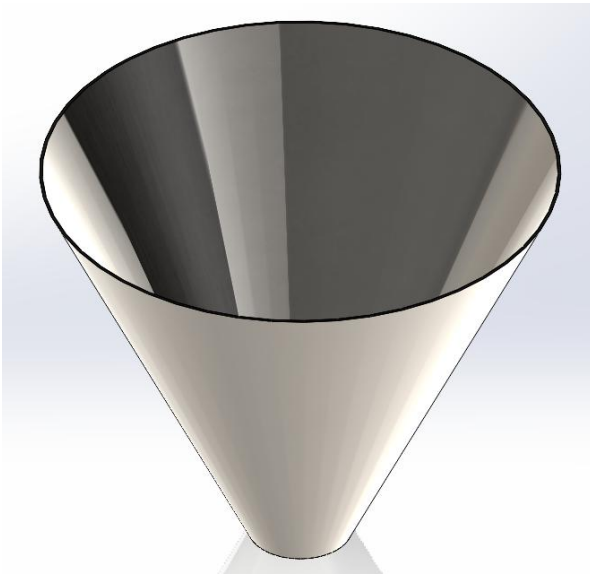
Luego despejando h (altura):

$$h = \frac{12V}{\pi(D_1^2 + D_1 \times D_2 + D_2^2)}$$

Reemplazando con medidas de los diámetros: $D_1 = 0.60m$ y $D_2 = 0.192m$, la altura de la tolva fue $h = 0.5042m \approx 504mm$

Figura 3

Tolva de café

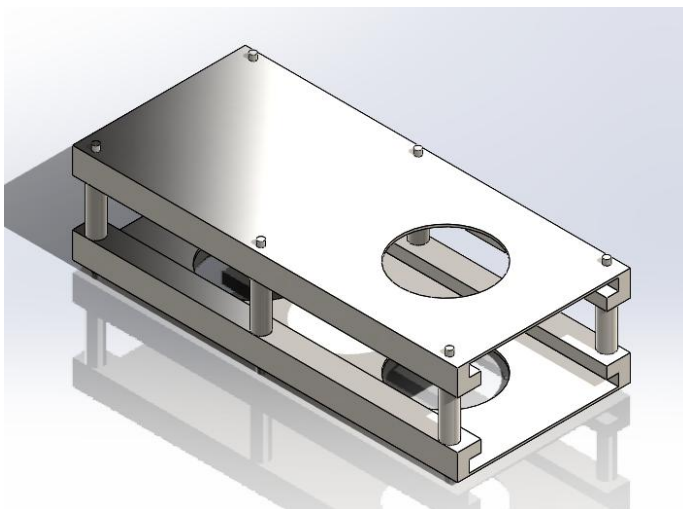


- Sistema de soporte y guiado de bolsa

Sistema de soporte de guiado de bolsa, correspondió al conjunto estructural encargado de recibir, posicionar y mantener alineada la zona de descarga, asegurando su centrado y estabilidad respecto al embudo durante la etapa de llenado; dicho componente en acero inoxidable AISI 304, debido a su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y adecuadas condiciones higiénicas para operación en ambientes asociados al manejo de productos alimentarios, garantizando además durabilidad y rigidez en servicio.

Figura 4

Sistema de soporte y guiado de bolsa



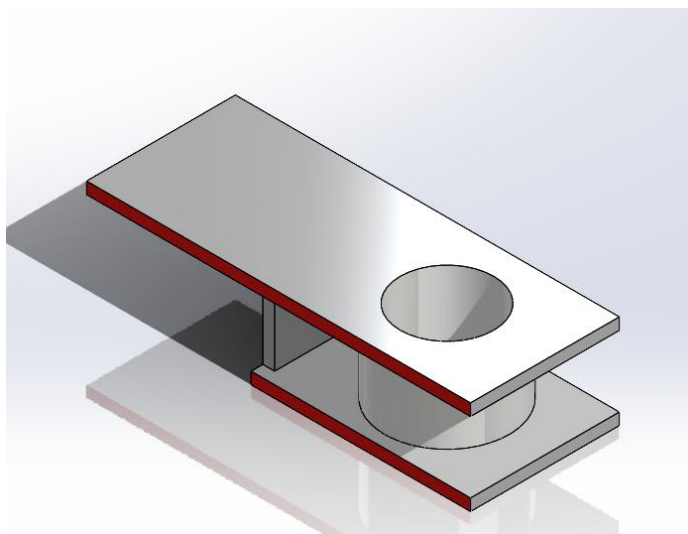
- Soporte de cilindro

Este componente correspondió al soporte estructural de integración y montaje destinado a alojar y asegurar los cilindros dosificadores mostrados en la Figura 2 (250 g y 500 g), permitiendo su posicionamiento rígido y alineado dentro del conjunto para garantizar la capacidad exacta de dosificación de café molido en cada ciclo de llenado según la presentación requerida; esta pieza fue fabricada en acero inoxidable AISI 304, debido a su

adecuada resistencia mecánica y a la corrosión, además de facilitar la limpieza y asegurar la durabilidad del ensamble en operación.

Figura 5

Soporte de cilindro



▪ Sellador de banda continua

Correspondió a la máquina selladora de banda continua, y se definió que se utilizará una selladora tipo FR900 (VEVOR) debido a que el cerrado del empaque de café molido exige un sellado térmico (por calor) para lograr una unión estable y hermética en bolsas laminadas, reduciendo pérdidas de producto y mejorando la conservación; en ese sentido, este proceso requiere generación y control de temperatura, así como tiempo de residencia y presión de contacto constantes, lo cual implica un mayor consumo energético y un mayor costo operativo respecto a alternativas sin calentamiento, por lo que se seleccionó una selladora de banda continua con control de temperatura y velocidad ajustable para asegurar la calidad del sello (uniformidad y repetibilidad) y mantener una productividad acorde al flujo de envasado.

Sistema Neumático

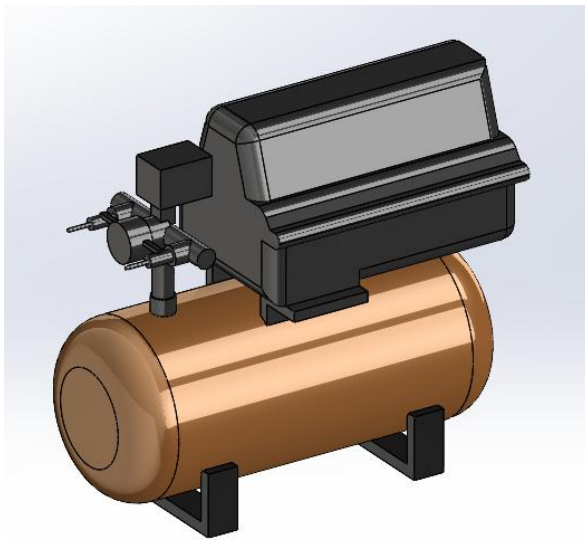
- Compresor

Es la unidad encargada de la producción y suministro de aire comprimido. El compresor aspira el aire de la atmosfera, a través de un sistema mecánico, lo comprime y lo almacena en un tanque metálico para su posterior uso. (Vásquez Cortés, 2016)

Se definió que se utilizará el compresor Einhell TH-AC 240/50/10 OF con tanque de 50 L (Anexo 2), potencia de 1500 W y presión máxima de 10 bar, debido a que esta capacidad de presión permite alimentar y regular de forma estable el sistema neumático de la máquina dentro del rango de operación requerido, asegurando un suministro adecuado para el accionamiento del cilindro y compensando pérdidas de presión en la unidad FRL, mangueras y válvulas durante los ciclos de dosificación.

Figura 6

Compresor de aire



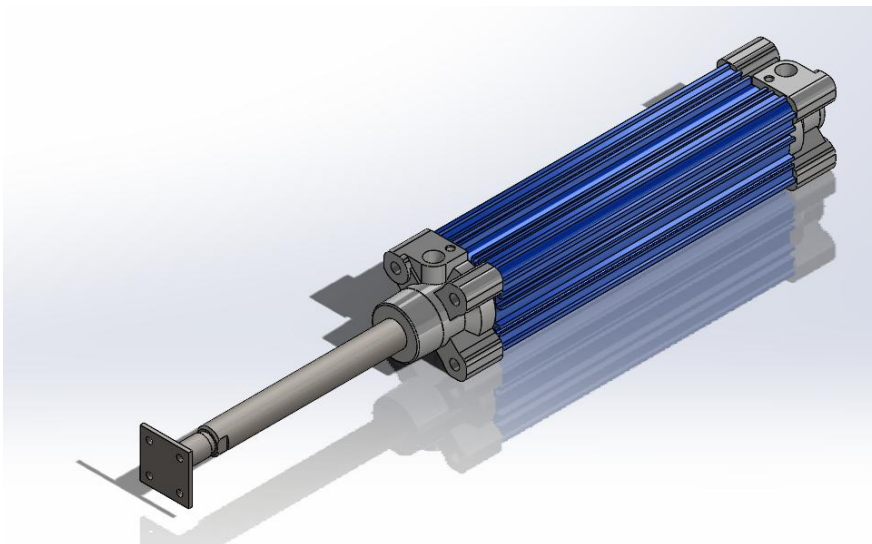
- Cilindro de doble efecto para apertura/cierre de compuerta

“Los Cilindros neumáticos tienen por misión transformar la energía neumática en trabajo mecánico, estos son llamados cilindros lineales y su accionamiento es por aire comprimido” (Vásquez Cortés, 2016, p. 159)

Se estableció que se utilizará un cilindro electroneumático de doble efecto de 20 mm de diámetro y 200 mm de carrera, correspondiente al modelo del Anexo 1: Cilindro normalizado DSNU-20-200-PPV-A, debido a que la carrera máxima requerida para el desplazamiento del mecanismo desde la salida de la tolva hasta la posición de llenado de la bolsa fue de 180 mm; por ello, se seleccionó una carrera nominal de 200 mm para disponer de un margen de seguridad que compensara tolerancias de montaje, holguras y ajustes de alineación, garantizando además un control activo tanto en la apertura como en el cierre del paso del café molido y asegurando repetibilidad en cada ciclo de dosificación.

Figura 7

Cilindro de doble efecto



A continuación, se determinó el cálculo de verificación de cumplimiento de selección del cilindro. Los supuestos y datos fueron los siguientes:

- Masa a desplazar: $m = 15 \text{ kg}$
- Gravedad: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Diámetro del cilindro: $D = 20 \text{ mm} = 0.02 \text{ m}$
- Área del pistón: $A = \pi D^2 / 4$
- Coeficiente de fricción cinética (AISI 304 en deslizamiento seco, valor típico):
 $\mu \approx 0.30$
- Presión disponible del sistema: Regulable; compresor seleccionado con hasta 10 bar (y típico de operación 6 - 8 bar).
- Área del pistón ($\varnothing 20 \text{ mm}$)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (11)$$

$$A = \frac{\pi(0.02)^2}{4} = 3.1416 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Fuerza resistente con fricción

Para un movimiento donde la carga genera normal sobre guías/superficies:

$$\begin{aligned} F_{rep} &= mg(1 + \mu) \\ F_{rep} &= 15 \times 9.81(1 + 0.30) \\ F_{rep} &= 191.3 \text{ N} \end{aligned} \quad (12)$$

- Fuerza disponible del cilindro

$$F = P \cdot A \quad (13)$$

- A 6 bar ($P = 600\,000 \text{ Pa}$)

$$F_6 = (600\,000)(3.1416 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 188.5$$

- A 10 bar ($P = 1\,000\,000 \text{ Pa}$)

$$F_{10} = (1\,000\,000)(3.1416 \times 10^{-4} m^2) = 314.2$$

- Presión mínima requerida para mover 15 kg con $\mu = 0.3$

$$P_{min} = \frac{F_{rep}}{A} \quad (14)$$

$$P_{min} = \frac{191.3N}{3.1416 \times 10^{-4}} = 609\,000\,Pa \approx 6.09\,bar$$

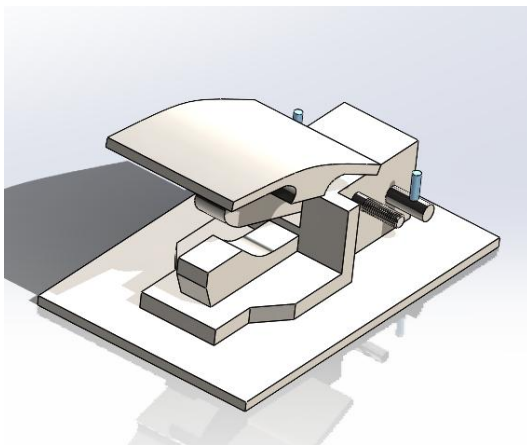
Con $\mu \approx 0.30$, el sistema requiere aproximadamente 6.1 bar para desplazar la masa equivalente de 15 kg; por tanto, operando el circuito a ≥ 6.1 bar (recomendable 7 bar para margen por pérdidas en FRL, mangueras y válvulas), el cilindro Ø20 mm entrega fuerza suficiente y, a 10 bar, presenta un margen amplio ($314\,N > 191\,N$) para desplazar el soporte de cilindro y completar el ciclo de dosificación.

- Válvula solenoide 5/2

“Tienen una posición estable para el aire, activada por el resorte interno, está puede ser Normal Abierta (NA) y Normal Cerrada (NC), para cambiar de posición se requiere energizar su solenoide” (Y) (Vásquez Cortés, 2016).

Figura 8

Válvula de pedal



- **Selección del material adecuado para la estructura**

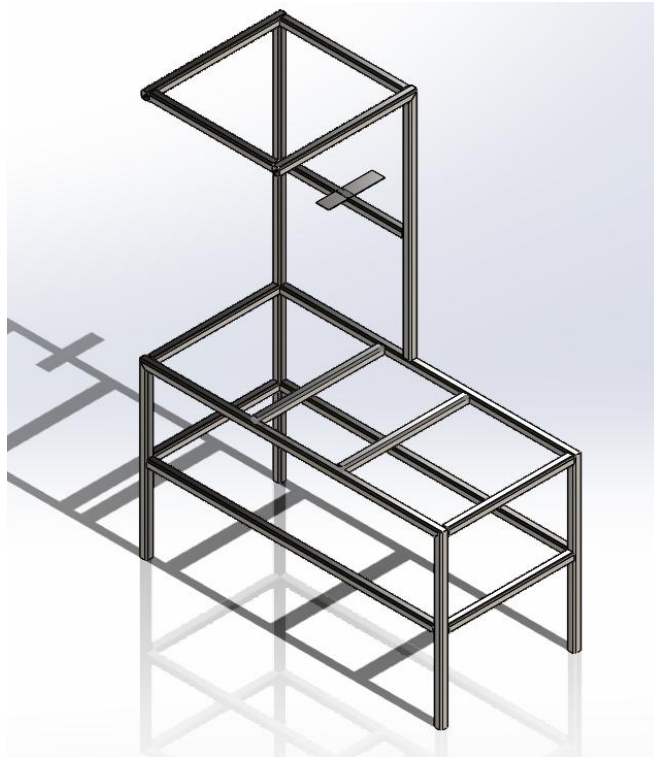
Se seleccionó acero inoxidable AISI 304, siguiendo a (Hibbeler, 2018), debido a:

- Límite elástico aproximado de 215 MPa
- Resistencia a corrosión
- Compatibilidad con industria alimentaria
- Facilidad de fabricación

Correspondió al bastidor principal de soporte de la máquina, conformado por tubo cuadrado de 40×40 mm y 3 mm de espesor, el cual integró una base rectangular destinada a sostener y rigidizar los componentes de trabajo y una columna vertical para el montaje de los subconjuntos superiores. La estructura se definió con una altura total aproximada de 2000 mm, una longitud de base de 1500 mm, un ancho de 700 mm y una plataforma/mesa de trabajo a 1150 mm de altura, garantizando estabilidad, correcta distribución de cargas y alineamiento general del ensamble durante la operación, y el material de acero inoxidable AISI 304 por su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y durabilidad en el ambiente de trabajo.

Figura 9

Estructura de soporte



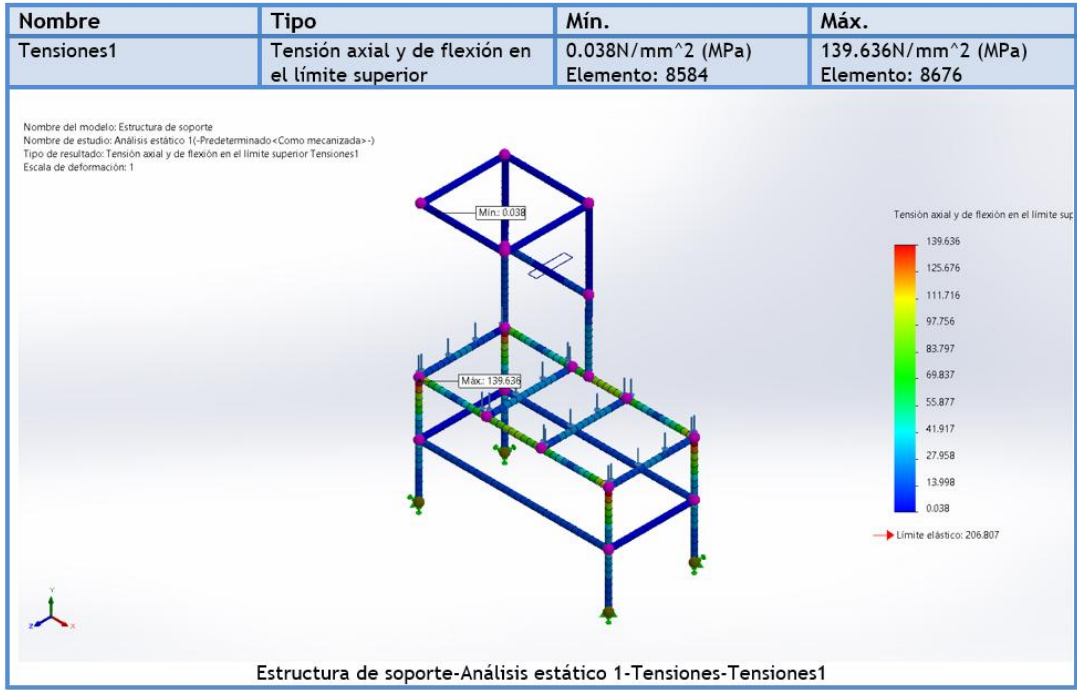
- **Analizar de forma estática la estructura de máquina**

En el anexo 3, se muestra la masa total que debe soportar la estructura de soporte, que fue de 214 kg (2009 N). Luego se realizó el análisis mediante tensión, desplazamiento y factor de seguridad.

Se realizó un análisis estático lineal de la Estructura de soporte, construida con tubo cuadrado de 40×40×3 mm, considerando la geometría definida en el plano de estructura (base aproximada 2000×700 mm y altura de 2000 mm).

Bajo una carga estática equivalente de 2009 N, el estudio estático en vigas reportó como resultado crítico la tensión axial y de flexión en el límite superior, obteniéndose una tensión máxima de 139.636 MPa y una tensión mínima de 0.038 MPa, concentrándose la condición más exigente en los miembros superiores de la mesa debido al efecto dominante de flexión por la carga vertical aplicada; al compararse con el límite elástico del material configurado (AISI 304, $\sigma_y = 206.8\text{MPa}$), se verificó que el estado tensional permaneció dentro del régimen elástico para el caso evaluado.

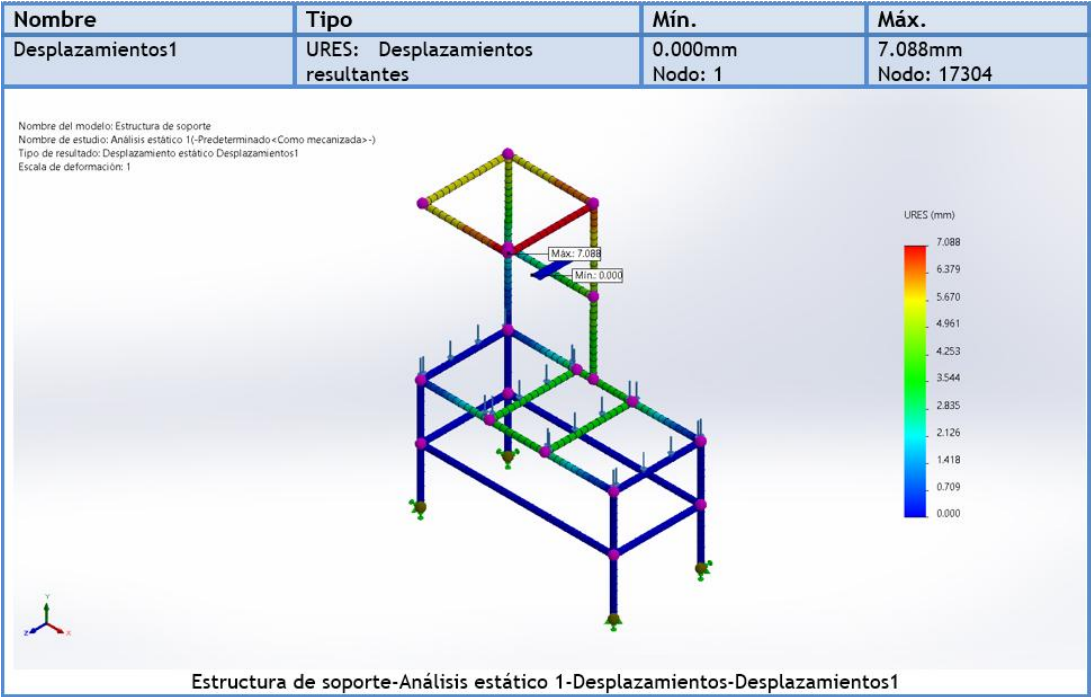
Figura 10
Análisis de tensiones



El trazado de desplazamiento resultante mostró un mínimo de 0.000 mm en el nodo restringido, asociado a la condición de geometría fija, y un máximo de 7.088 mm, localizado en la zona superior más flexible del bastidor; dado que la escala de deformación se consideró en valor real, este resultado evidencia una deformación global compatible con un bastidor

apoyado en patas, donde la mayor deflexión ocurre lejos de las sujeciones y en los elementos superiores sometidos a flexión.

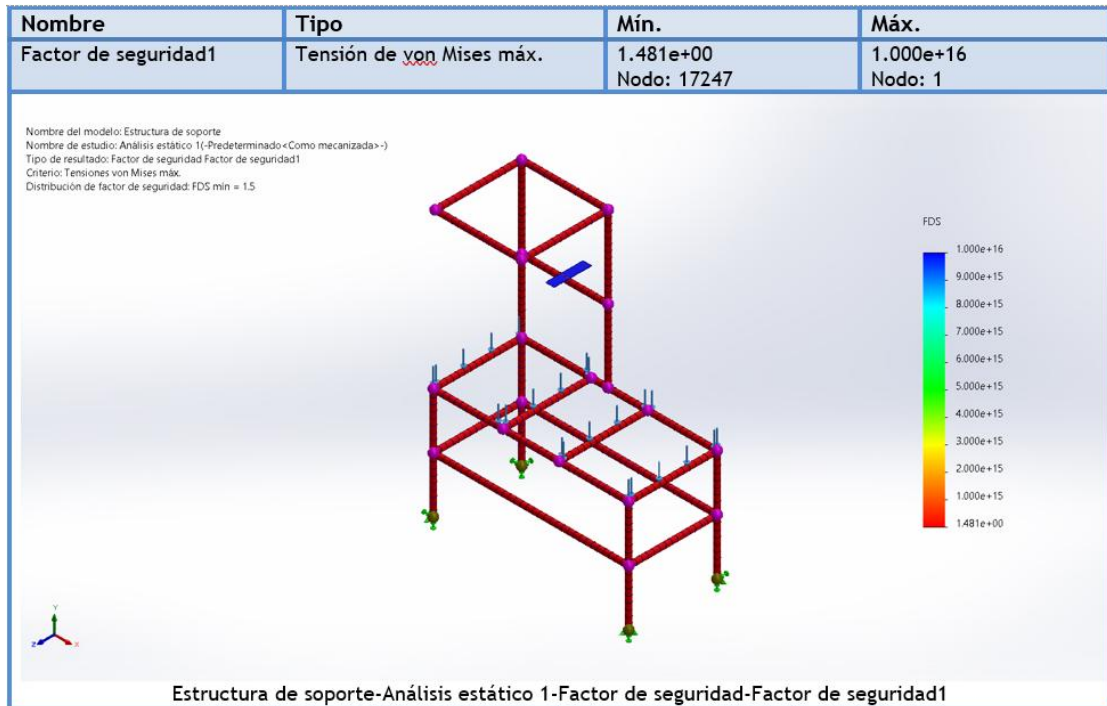
Figura 11
Análisis de desplazamientos



El factor de seguridad calculado con base en el criterio de tensiones presentó un valor crítico mínimo de 1.5, indicando un margen moderado frente a fluencia bajo la carga aplicada; corresponde a la zona de restricción con desplazamiento nulo y demanda tensional no representativa del estado crítico, por lo que no se considera determinante para el diseño.

Figura 12

Factor de seguridad



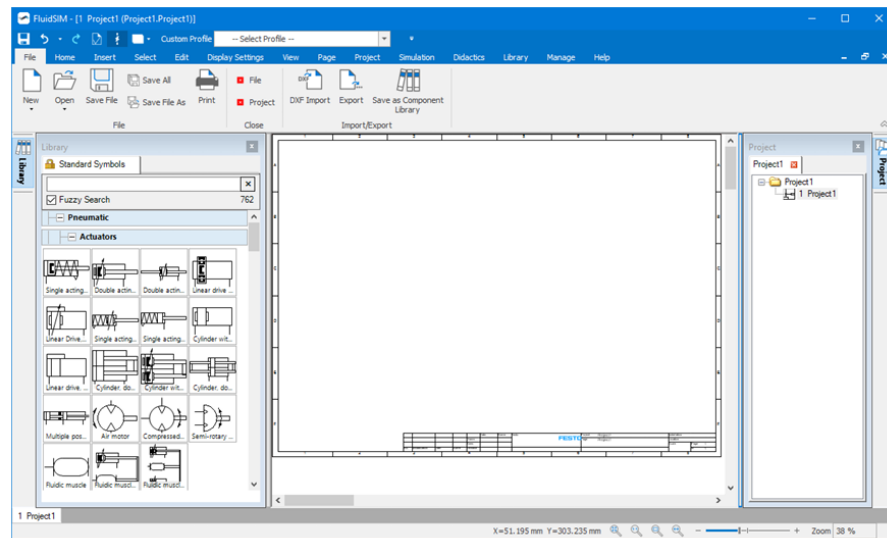
3.3 Diseño y simulación de los circuitos electroneumáticos mediante software FluidSIM

- **Elaborar el diagrama preliminar del circuito electroneumático**
FluidSIM

Se trata del software para la simulación y el diseño de esquemas de circuitos en neumática, hidráulica e ingeniería eléctrica. (FESTO, 2025)

Figura 13

Interfaz de FluidSIM

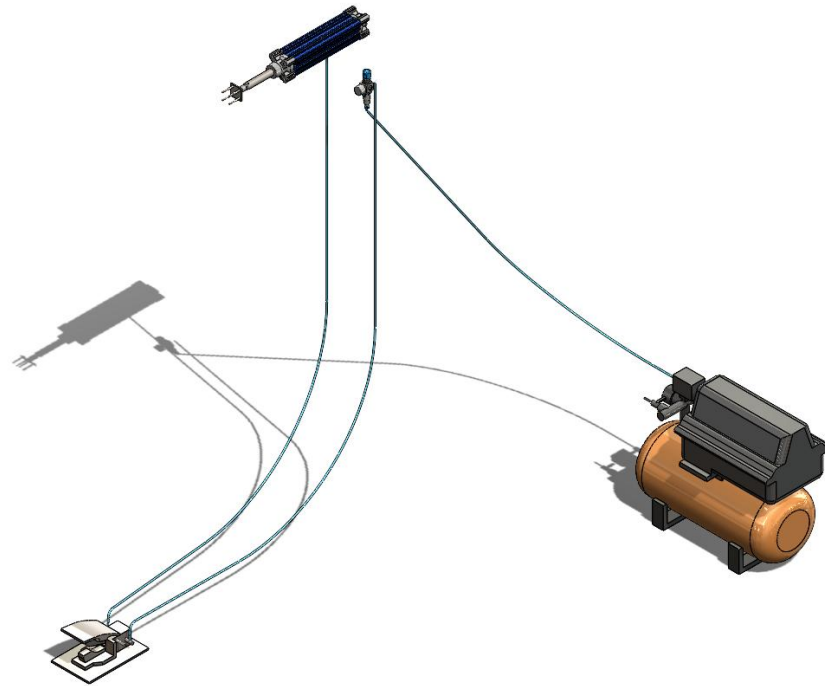


Fuente. Tomado de FESTO (2025)

La imagen 14, muestra de forma general, la instalación neumática para accionar un cilindro de doble efecto mediante una línea de aire comprimido. El suministro proviene de una compresora, cuya salida se acondiciona y estabiliza con un filtro - regulador para entregar aire limpio y a presión controlada. Posteriormente, el caudal se dirige hacia una válvula direccional 5/2, encargada de conmutar el flujo entre los dos puertos de trabajo del cilindro, permitiendo su avance y retroceso.

Figura 14

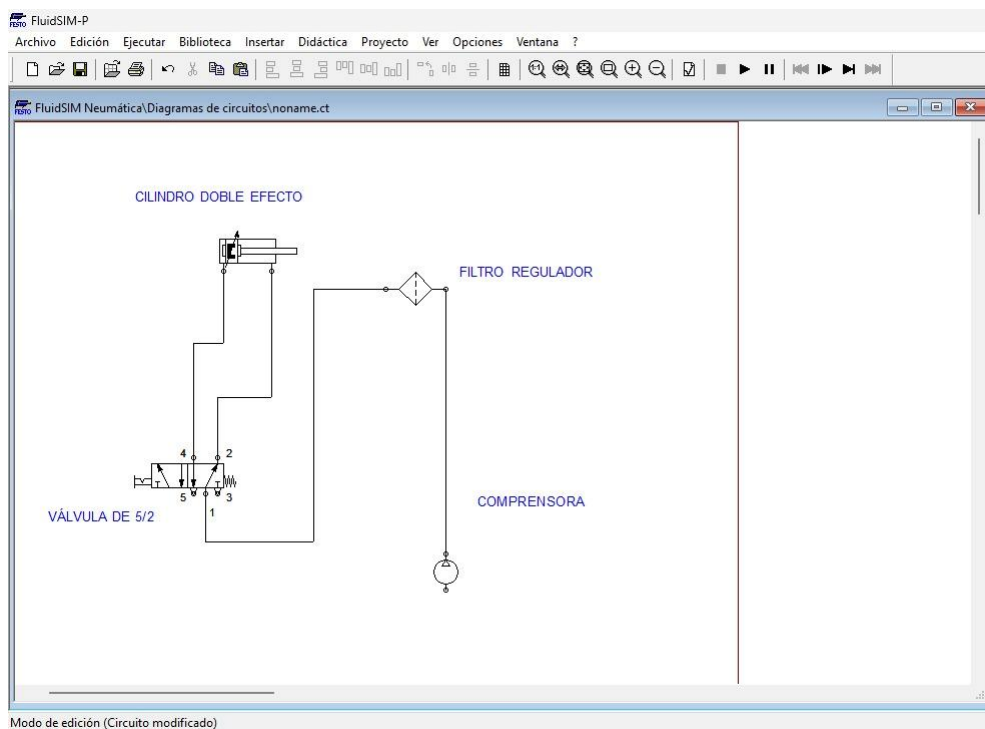
Conexión neumática



El circuito neumático (Figura 15) operó con una presión de trabajo regulada a 6 bar mediante el filtro - regulador, el cual acondicionó el aire proveniente de la compresora antes de ingresar a la válvula direccional 5/2, correspondiente a una válvula neumática de pedal de pie de 5 vías y 2 posiciones. Al accionar el pedal, la válvula conmutó a la posición de avance, dirigiendo el aire comprimido desde el puerto 1 (alimentación) hacia uno de los puertos de trabajo (2 y 4) conectado a la cámara posterior del cilindro de doble efecto; simultáneamente, el aire de la cámara opuesta se descargó a la atmósfera a través del puerto de escape correspondiente (3 o 5). Esta diferencia de presiones generó la fuerza neumática sobre el pistón, produciendo el desplazamiento lineal del vástago.

Figura 15

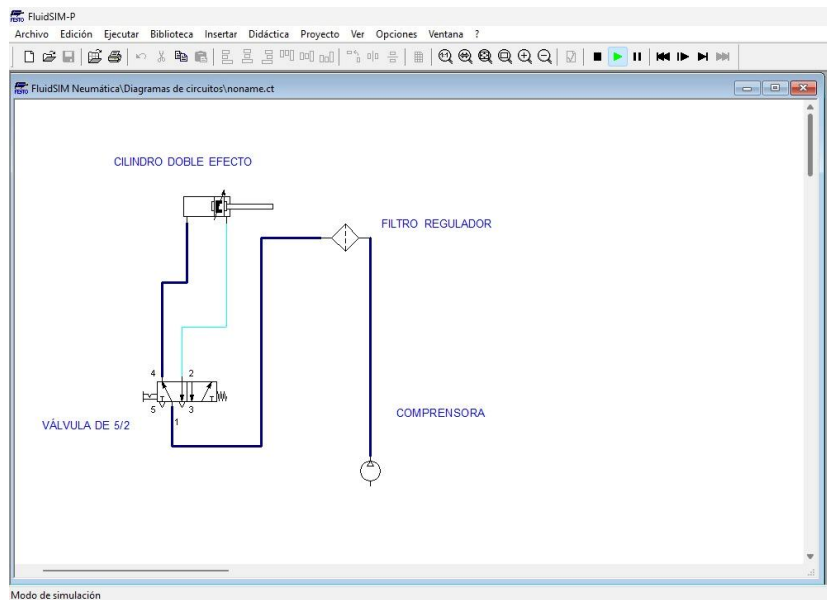
Circuito neumático



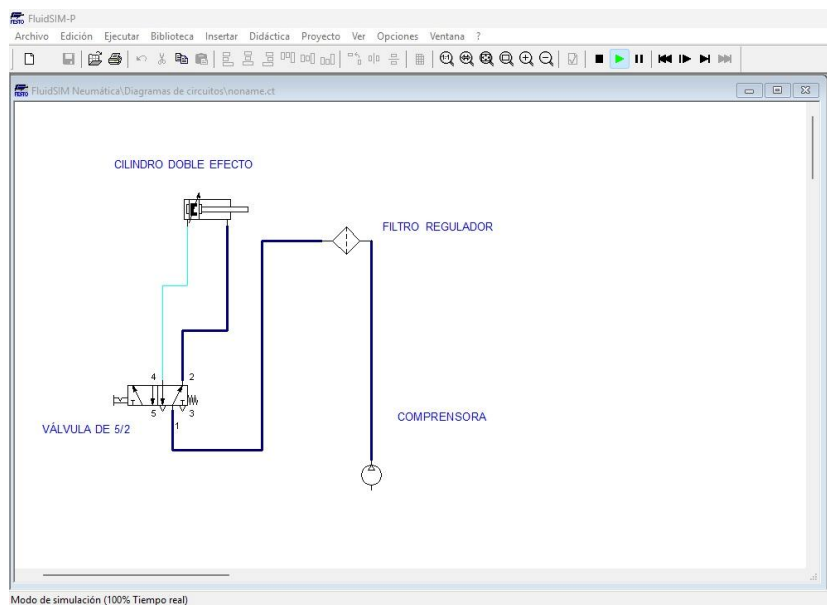
En la simulación del circuito neumático en FluidSIM, de la figura 16, el aire comprimido generado por la compresora y regulado a 6 bar mediante el filtro - regulador alimentó una válvula direccional 5/2 accionada por pedal (5 vías, 2 posiciones), la cual conmutó el flujo hacia las cámaras del cilindro de doble efecto: En la etapa de avance (a), la válvula dirigió el aire desde el puerto de alimentación hacia la cámara posterior del cilindro y evacuó la cámara opuesta por el escape, provocando la salida del vástago; mientras que, en la etapa de retroceso (b), la válvula invirtió las conexiones, presurizando la cámara contraria y descargando la anterior, lo que generó el retorno del vástago a su posición inicial, evidenciándose en el diagrama por el cambio de trayectoria del flujo en las líneas activas.

Figura 16

Simulación del circuito neumático



a) Avance del bastago del cilindro neumático



b) Retroceso a estado inicial del bastago del cilindro neumático

3.4 Determinación de la viabilidad económica del proyecto

Tabla 4

Lista de equipos para la implementación de la máquina

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [s/.]	Costo total [s/.]
Materiales mecánicos				
Tubo Cuadrado Rectangular de acero inoxidable AISI 304 40X40X3mm	UND	5	80	400
Hoja de acero inoxidable 201 de espesor 3mm, 1500x3000mm	UND	1	1500	1500
Materiales neumáticos				
compresor Einhell TH-AC 240/50/10 OF con tanque de 50	UND	1	1630	1630
Unidad neumática FRL, regulador y lubricador de filtro de aire AC5010-06, tipo drenaje Manual de	UND	1	500	500
Válvula neumática del pedal del pie 5 vías 2 posición direccional válvula de control ST402A G1/4 roscada antideslizante	UND	1	550	550
Cilindro de doble efecto: Cilindro normalizado DSNU-20-200-PPV-A	UND	3	170	510
Sellador de banda continua VEVOR FR-900	UND	1	1200	1200
Silenciador para compresor de aire, silenciador para secador de aire	UND	1	150	150

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario [s/.]	Costo total [s/.]
Manguera de componente de aire de tubo 6mm	UND	1	70	70
OD tubo PM accesorios de aire neumáticos rectos unión de mamparo	UND	5	20	100
Eléctrico y de control				
Toma aérea IP44 2P+Tierra 32A 250V	UND	1	50	50
Interruptor termomagnético 2x32A	UND	2	35	70
Contactador Electromagnético Blitz 3P, 25A, AC-3, Bob. 220V, 60Hz	UND	2	45	90
Cable vulcanizado Ttrf-70 2x12 Awg Gris - Venta por metro lineal Celsa	UND	5	15	75
Instrumentos de medición				
Multímetro Digital Ut33a+ Uni-t	UND	1	130	130
Pinza amperimétrica True RMS, amperímetro, UT207B, UT208B	UND	1	200	200
Maquinas mecánicas – eléctricas				
Amoladora Angular 4-1/2" 750W	UND	1	200	200
Taladro Percutor Inalámbrico	UND	1	250	250
ANDELI-máquina de soldadura MIG	UND	1	2200	2200
Herramientas mecánicas/accesorios				
Set de herramientas	UND	1	90	90
Disco de corte Inox. 9"-230x2.5mm Stanley	UND	5	5	25
Gastos totales				9990

La Tabla 4 consolidó el presupuesto de equipos, materiales y herramientas requeridos para la implementación de la máquina, detallando un costo promedio total de s/. 9 990.

- Datos de partida que se realizó para determinar el VAN y TIR

$$C_{inv} = \text{s/. } 9,990 \text{ (Inversión inicial)}$$

$$k = 0.12 \text{ (Tasa de descuento anual)}$$

$$k = 5 \text{ años (Horizonte de evaluación)}$$

- Cálculo del flujo neto anual F(S/ año):

Se partió del flujo operativo anual y se descontó el impuesto.

Flujo operativo anual:

$$F_{op} = 12 \times U_{op,mes} \quad (15)$$

Donde:

$$U_{op,mes} = M_{mes} - CF_{mes} \quad (16)$$

Luego el margen mensual fue:

$$M_{mes} = N_{250}MU_{250} + N_{500}MU_{500} \quad (17)$$

Con los datos de:

$$N_{250} = 900 \text{bolsas/mes}, MU_{250} = 9 \text{ s/bolsa}$$

$$N_{500} = 600 \text{bolsas/mes}, MU_{500} = 19.5 \text{ s/bolsa}$$

Luego reemplazando los valores, se obtuvo:

$$M_{mes} = 900(9) + 600(19.5) = 19,800 \text{ s/mes}$$

Los costos fijos mensuales fueron:

$$CF_{mes} = C_{operativo} + C_{otros} = 1500 + 1500 = 3,000 \text{ s/mes} \quad (18)$$

Seguidamente la utilidad operativa mensual, de la ecuación 16, fue:

$$U_{op,mes} = 19,800 - 3,000 = 16,800 \text{ s/mes}$$

Luego el Flujo operativo anual, reemplazando valores en la ecuación 15.

$$F_{op} = 12 \times 16,800 = 201,600 \text{ s/año}$$

El flujo anual con impuesto de 29.5%

$$F = F_{op}(1 - 0.295) = 142,128 \text{ s/año}$$

- Factor de valor presente de anualidad (FVP):

$$FVP = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+k)^t} = \frac{1 - (1+k)^{-T}}{k} \quad (19)$$

$$FVP = \frac{1 - (1.12)^{-5}}{0.12} = 3.6047$$

- Valor Actual Neto (VAN):

$$VAN = -C_{inv} + F \times FVP \quad (20)$$

$$VAN = -9990 + 142.128 \times 3.6047 = \text{s/. } 502,349$$

- Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$0 = -C_{inv} + \sum_{t=1}^T \frac{F}{(1+k)^t} \rightarrow r = 14.227(1,422.7\%) \quad (21)$$

Luego para $VAN > 0$ y $TIR > k$, proyecto es económicamente viable

IV. DISCUSIÓN

- El diagnóstico del proceso evidenció una operación manual con capacidad real de 20 bolsas/h para las presentaciones de 250 g y 500 g, además de una merma mensual de 2.5 kg, equivalente a 10 bolsas de 250 g y 5 bolsas de 500 g, con una pérdida económica aproximada de S/ 157 mensuales. Estos valores confirman que la variabilidad del llenado, el mayor riesgo de contaminación y la falta de sincronización entre llenado - sellado son limitantes críticas del método manual, por lo que la transición a un esquema semiautomatizado resulta coherente para reducir dispersión de dosificado, estandarizar tiempos y disminuir pérdidas por manipulación.
- El análisis estático del bastidor (tubo 40×40×3 mm) consideró una carga equivalente de 214 kg (2009 N) y reportó una tensión máxima de 139.636 MPa, valor que se mantuvo dentro del régimen elástico al contrastarse con el límite elástico aproximado del AISI 304 (215 MPa). Asimismo, el desplazamiento máximo fue 7.088 mm y el factor de seguridad mínimo fue 1.5, indicando un margen moderado frente a fluencia bajo el caso de carga evaluado. En términos de diseño, estos resultados sustentan que la estructura definida es funcional para operación estática.
- La simulación implementó un circuito con presión regulada a 6 bar mediante FRL y una válvula direccional 5/2 accionada por pedal para comandar el avance/retorno de un cilindro de doble efecto, describiéndose claramente la conmutación de puertos y escapes durante ambas etapas del ciclo. Adicionalmente, la verificación de selección del cilindro estableció una presión mínima requerida 6.1 bar para desplazar una masa equivalente de 15 kg, recomendándose operar a 7 bar para compensar pérdidas en FRL, mangueras y válvulas.
- La evaluación económica partió de un presupuesto consolidado de implementación con gasto total S/ 9,990, que incluye materiales mecánicos, neumáticos, eléctricos/herramientas y el sellador de banda continua. Se definieron además los insumos del análisis financiero (inversión inicial, tasa de descuento anual y horizonte) y se estructuró el cálculo del flujo neto anual considerando impuesto 29.5%, y la formulación para VAN y TIR. En discusión técnica, la conclusión de viabilidad depende críticamente de que el flujo neto anual se sustente en métricas operativas verificables

(producción real, reducción efectiva de merma, costos fijos/variables y demanda), de modo que el VAN/TIR reflejen escenarios conservadores y no solo un caso nominal.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluyó que el proceso manual presentó una capacidad real de 20 bolsas/h (250 g y 500 g) y una merma de 2.5 kg/mes, equivalente a pérdidas aproximadas de S/ 157/mes, asociadas a variabilidad de dosificado, ausencia de guiado repetible y alta dependencia del operario.
- Se concluyó que la estructura analizada soportó una carga estática de 2009 N (214 kg) con una tensión máxima de 139.636 MPa (inferior al límite elástico aproximado del AISI 304 (215 MPa), un desplazamiento máximo de 7.088 mm y un factor de seguridad mínimo de 1.5, validando su suficiencia estructural bajo el caso estático evaluado.
- Se concluyó que el circuito electroneumático diseñado y simulado operó correctamente con válvula 5/2 y cilindro de doble efecto, con presión regulada a 6 bar; no obstante, la verificación de fuerza determinó una presión mínima requerida de 6.1 bar, recomendándose operar con margen (7 bar) para garantizar repetibilidad del ciclo ante pérdidas del sistema.
- Se concluyó que el proyecto contó con un presupuesto de implementación consolidado de S/ 9,990 y una metodología financiera definida (flujo neto anual con impuesto 29.5%, VAN y TIR), quedando la viabilidad supeditada a la consistencia de los flujos anuales reales estimados a partir de la operación y comercialización.

5.2. Recomendaciones

- Se recomendó estandarizar la etapa de dosificado y posicionamiento mediante el sistema de guiado y dosificación diseñado, priorizando la reducción de la merma registrada (2.5 kg/mes) y la variabilidad por intervención directa del operario, con registros de producción por hora para verificar mejoras sobre la línea base de 20 bolsas/h.

- Se recomendó complementar el análisis estático con verificación de uniones (soldaduras/pernos), y una evaluación de rigidez bajo condiciones de operación (cargas excéntricas, vibración y fatiga), dado que el diseño reportó 7.088 mm de deflexión máxima y FS mínimo 1.5, valores que sugieren margen moderado y susceptibles a optimización por rigidización local si se requiere mayor precisión de alineamiento.
- Se recomendó ajustar la presión de trabajo del sistema a ≥ 7 bar (manteniendo regulación estable con FRL) para asegurar superar la presión mínima requerida (6.1 bar) y garantizar repetitividad; además, implementar un plan de mantenimiento preventivo (control de fugas, drenaje del filtro, inspección de mangueras) para evitar caídas de presión que afecten el ciclo.
- Se recomendó recalcular el flujo neto anual bajo escenarios (conservador) usando el CAPEX total S/ 9,990, incorporando explícitamente costos fijos/variables, ahorro por reducción de merma y productividad esperada, de modo que el VAN/TIR resulten trazables y auditables para la toma de decisión de implementación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agost, J., Pedro, C., Manuel, C. y Camba, J. (2021). Formación CAD para la calidad digital: un enfoque formativo con recursos informáticos adaptables para la autoevaluación. *Revista internacional de tecnología y educación en diseño*, 32, 1393–1411. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09651-5>
- Alejandro Evangelista, C. L., & Miranda Torres, B. I. (2023). *Desarrollo, modelado y simulación de un sistema automatizado para el llenado y envasado de agua*. [Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25789>
- Alfavo Avilés, R. E., & Moran Catellanos, J. M. (2011). *Diseño de modelo de máquina empacadora de bolsas prefabricadas tipo doypack* [Tesis de Pregrado, Universidad Centroamericana Jose Simeon Cañas]. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=DISEÑO+DE+MODELO+DE+MÁQUINA+EMPACADORA+DE++BOLSAS+PREFABRICADAS+TIPO+DOYPACK&btnG=
- FESTO. (2025). Simulación virtual y modelado. FluidSIM para su aplicación de simulación. Festo Automation S.A.U. https://www.festo.com/es/es/e/educacion/aprendizaje-digital/simulacion-virtual-y-modelado/fluidsim-id_1663056/
- Joaquín Apaza, J. D. (2018). *Diseño del Sistema Mecánico de una Empaquetadora de Pañales*. [Trabajo de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. In *Universidad Tecnológica del Perú*. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/1550?mode=full>
- Landeta Monje, G. E., & Pillajo Gómez, E. Y. (2018). *Desarrollo de un prototipo de una máquina empacadora de snacks de multi gramaje para fábrica productos Suin*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. In *Tesis*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Mackey, A. (2025). Report Name : Coffee Annual. *USDA and GAIN, Mayo 2025*, 1–25. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee+Annual_Lima_Peru_PE2025-0018.pdf&utm_source=chatgpt.com

- Martinez, A., & Garcia, D. (2017). *Prototipo de máquina empacadora de productos hortofrutícolas*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de occidente]. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/922cbda2-7223-4330-8bc0-2db749f9edd2/content>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021, 1 de julio). *MIDAGRI: Productores de Jaén exportaron 71 000 quintales de café verde a Europa y Norteamérica* [Nota de prensa]. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/503791-midagri-productores-de-jaen-exportaron-71-mil-quintales-de-cafe-verde-a-europa-y-norteamerica>
- Mordor Intelligence. (2024). *Coffee market – Growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2024–2030)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/coffee-market>
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación* (Ediciones). https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w24204w/Re/Metodologia_investigacion_diseno_y_ejecucion.pdf
- Organización Internacional del Café (ICO). (2023). *Coffe year 2023/24*. *Archives*. <https://doi.org/10.3828/archives.2017.7>
- Organización Internacional del Café. (2023). *Coffee report and outlook* (Informe y Perspectivas del Café). <https://www.ico.org/>
- Peñafiel, J., Arteaga, Á., & Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8 Edicion especial diciembre), 43–57. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0050>
- Vásquez Cortés, J. C. (2016). *Automatización electroneumática* (Ediciones). <https://www.perlego.com/es/book/1621445/automatizacin-electroneumtica-pdf>
- Festo. (2026). *Cilindro redondo (CRHD)*. Recuperado el 28 de febrero de 2026, de https://www.festo.com/pe/es/p/cilindro-redondo-id_CRHD/?tab=SUPPORT_PORTAL&documentTypeGroup=SOFTWARE&supportPortalTab=4

- Pérez-Campos, R. (2023). *Permittivity measurements for roasted ground coffee versus temperature, bulk density, and moisture content* (PDF). Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).
- Prost, J. (2005). *Evolution of coffee roasting* (PDF). AIChE Proceedings.
- European Patent Office. (2012). *EP2416665B1 – Ground roast coffee tablet* (patent).
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3.^a ed.). Pearson.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación: Diseño y ejecución* (2.^a ed.). Ediciones de la U.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (4.^a ed.). Limusa.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2019). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
- Gitman, L. J., & Zutter, C. J. (2015). *Principles of managerial finance* (14th ed.). Pearson.
- Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., & Lavelle, J. P. (2014). *Engineering economic analysis* (12th ed.). Oxford University Press.
- Park, C. S. (2016). *Contemporary engineering economics* (6th ed.). Pearson.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2019). *Corporate finance* (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2014). *Engineering economy* (16th ed.). Pearson.

AGRADECIMIENTO

Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez

Agradezco a mi familia por apoyarme en todo momento para poder terminar la carrera y cumplir esta meta profesional. Gracias por su esfuerzo, paciencia y motivación constante, especialmente en los momentos más difíciles, porque su respaldo fue fundamental para no rendirme y seguir adelante hasta culminar esta etapa.

José Wilbert Mires Gonzales

Agradezco a mi familia por acompañarme y brindarme su apoyo incondicional durante toda mi formación académica, permitiéndome llegar hasta el final de la carrera y alcanzar este objetivo. Gracias por su comprensión, confianza y palabras de aliento, ya que su apoyo fue esencial para mantenerme firme y concluir este logro.

Asesor

Manifestamos nuestro profundo agradecimiento al Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, asesor de la presente investigación, por su orientación académica, apoyo constante y valiosos aportes brindados a lo largo del desarrollo del informe final de tesis. Sus observaciones, recomendaciones y experiencia contribuyeron de manera significativa al fortalecimiento del estudio, guiando de forma adecuada cada una de las fases de la investigación.

DEDICATORIA

Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez

Dedico el presente informe final a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de mi formación profesional. Su esfuerzo y confianza fueron fundamentales para alcanzar esta meta y culminar esta etapa académica.

José Wilbert Mires Gonzales

Dedico este informe final a mi familia, por acompañarme y brindarme fortaleza en cada etapa de mi carrera. Gracias por su paciencia, apoyo y aliento permanente, que hicieron posible lograr este objetivo y seguir avanzando en mi desarrollo profesional.

ANEXOS

Anexo 1. Cilindro de doble efecto: Cilindro normalizado DSNU-20-200-PPV-A

 General operating condition

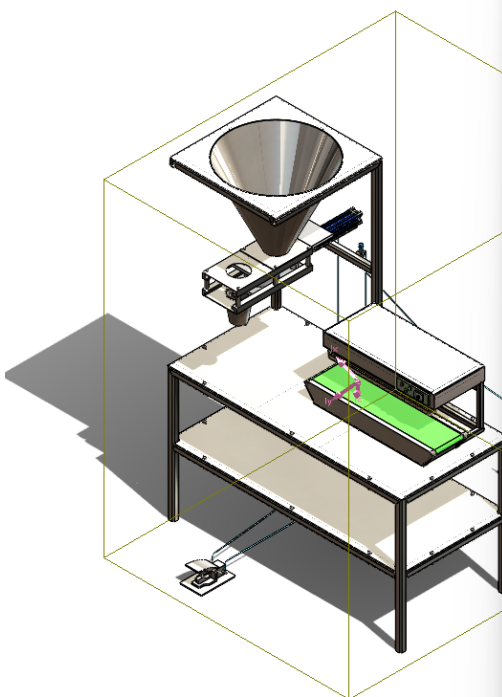
Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	200 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Rosca del vástago	M8
Amortiguación	Amortiguación neumática, regulable en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991235
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.1 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento	1 bar ... 10 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Idoneidad de la sala limpia, medida según ISO 14644-14	Clase 6 según ISO 14644-1
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.2 J
Longitud de amortiguación	15 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	158.3 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	188.5 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	44 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	4 g
Peso básico con carrera de 0 mm	186.8 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	7.2 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Aleación de forja de aluminio Anodizado incoloro

Anexo 2. Compresora

Ficha técnica			
Garantía	2 Años	Capacidad del tanque de combustible	50 l
Altura Del Producto	87 cm	Peso Del Producto	22.4 kg
Ancho Del Producto	36 cm	Nivel de ruido	97 dB
Profundidad Del Producto	40 cm	Ruedas	2
Color principal	Rojo	Tipo de Motor	Monofásico
Color	Rojo	Material del tanque	Metal
Modelo	TH-AC 240/50/10 OF	Alimentación/Combustible	Red Eléctrica
Tipo de Producto	Compresora	Consumo de aire	240 l/min
Sub Tipo de Producto	Aire	Flujo de aire	173
Material	Metal	Potencia HP	2 HP
Número de piezas	1	Presión de trabajo	10 Bar
Portátil	Sí	Tipo de uso	Semi-Profesional
Marca	Einhell	Uso	Para pintado de estructuras
Mantenimiento	Mensual	Voltaje	220 V
Potencia	1500 W		
Incluye Sonorito y 2 ruedas			

Anexo 3. Masa total del sistema



Propiedades físicas

Máquina empacadora de café molido.SLDASM

Opciones...

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

☒ Incluir sólidos/componentes ocultos

☐ Crear operación de centro de masa

☐ Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Máquina empacadora de café molido

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 214455.69 gramos

Volumen = 58252652.04 milímetros cúbicos

Área de superficie = 16530242.79 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = -179.06

Y = -173.08

Z = 1851.39

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milimet

Medido desde el centro de masa.

Ix = (-0.54, 0.76, 0.36) Px = 57736185286.76

Iy = (-0.53, -0.64, 0.55) Py = 120984224958.79

Iz = (0.65, 0.11, 0.75) Pz = 130071262954.98

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de r

Lxx = 106349840548.47 Lxy = -26586755210.86 Lxz = -16870314.4

Lyx = -26586755210.86 Lyy = 84682144901.82 Lyz = 166966883

Lzx = -16870314317.28 Lzy = 16696688332.53 Lzz = 117759687

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial

lxx = 847850455584.78 lxy = -19940664798.19 lxz = -879636878

lyx = -19940664798.19 lyy = 826634578825.58 lyz = -520211861

lzx = -87963687832.53 lzy = -52021186112.00 lzz = 121759687

Anexo 4. Selladora de banda continua



Especificaciones

- Modelo: FR900 Vertical
- Potencia: 700W
- Voltaje: 110V / 60Hz
- Ancho de sello: 0,24-0,59 in / 6-15 mm
- Velocidad de sellado: 0-24 m/min
- Grosor de sellado: 0,0008-0,3 in / 0,02-0,8 mm
- Rango de temperatura: 0°C - 300 °C / 32 °F - 572 °F
- Carga en la cinta transportadora: máximo 11 lbs / 5,0 kg
- Peso del artículo: 52 lbs / 23 kg
- Dimensiones del artículo: 32,6 × 14,3 × 20,4 in / 82,8 × 36,3 × 51,8 cm



Contenido del paquete

- 1 x Máquina de Sellado Vertical FR900
- 1 x Kit de Accesorios Necesarios

Anexo 5. Bolsa trilaminada que usa la empresa



Anexo 6. Medición del peso del café para 250g y 500 g



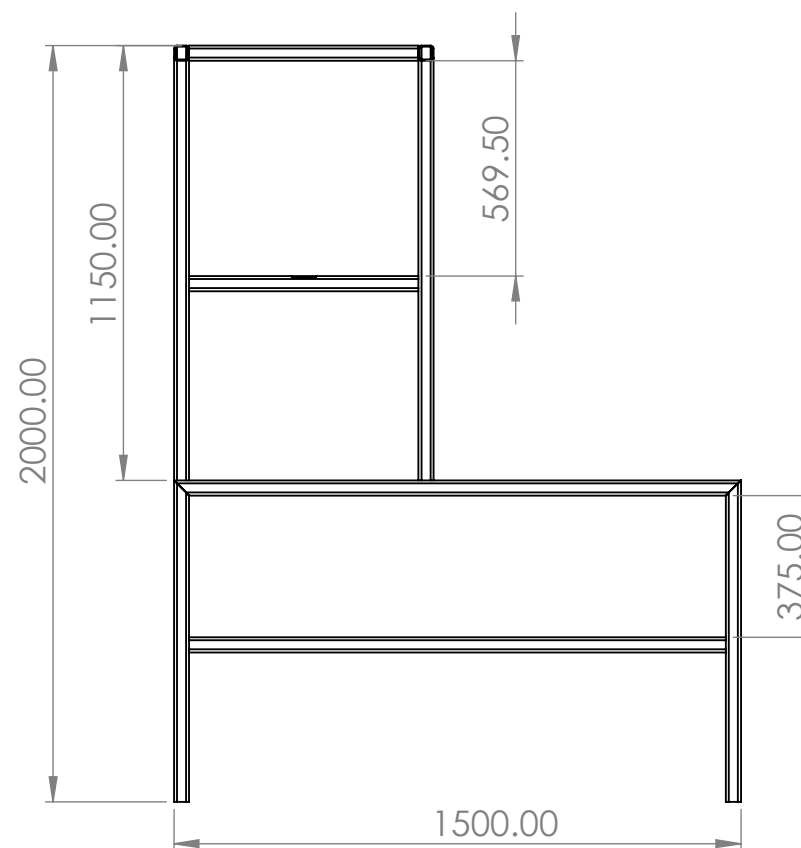
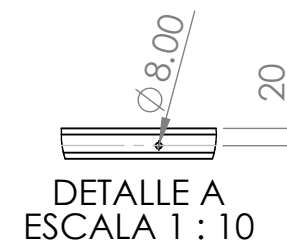
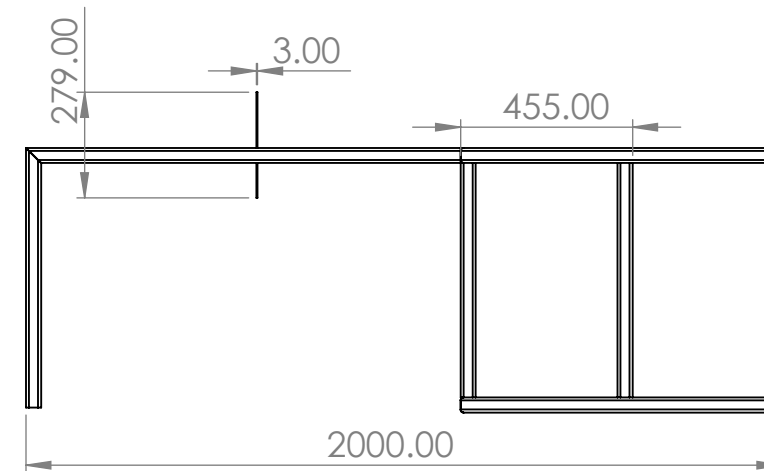
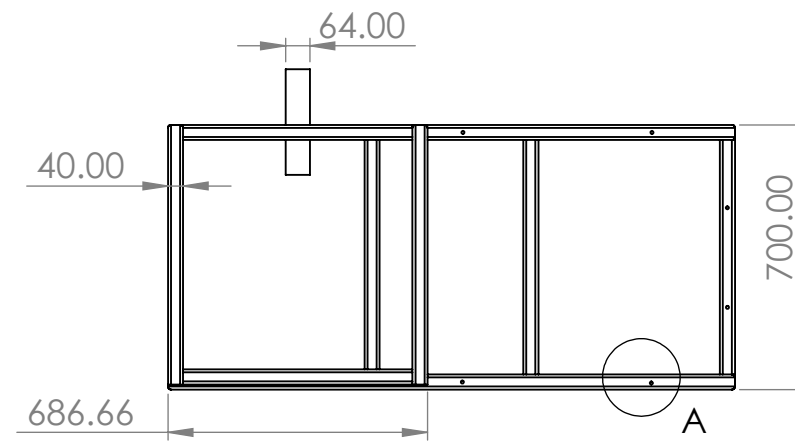
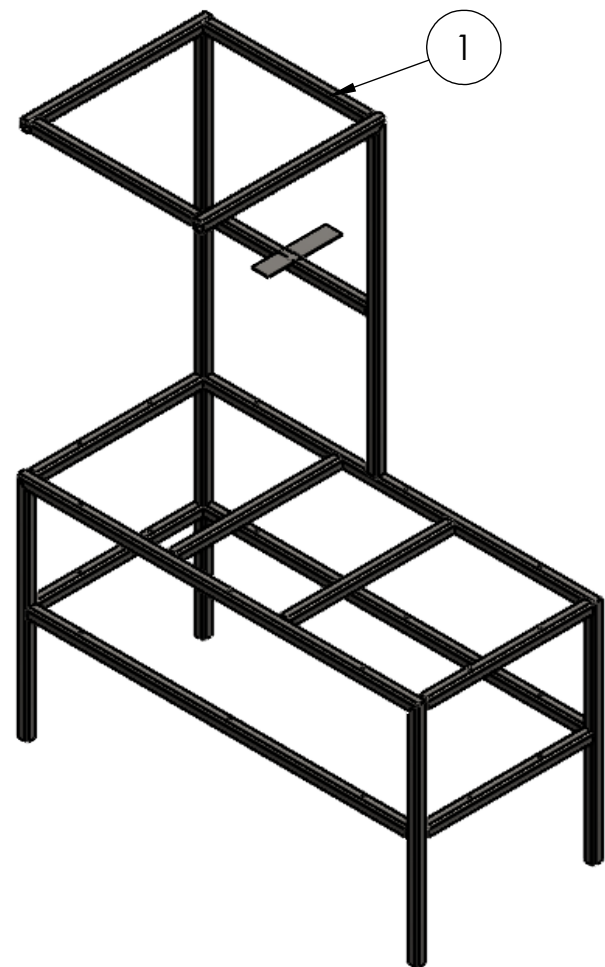
Anexo 7. Espacio de llenado del café molido



Anexo 8. Proceso de llenado del café molido

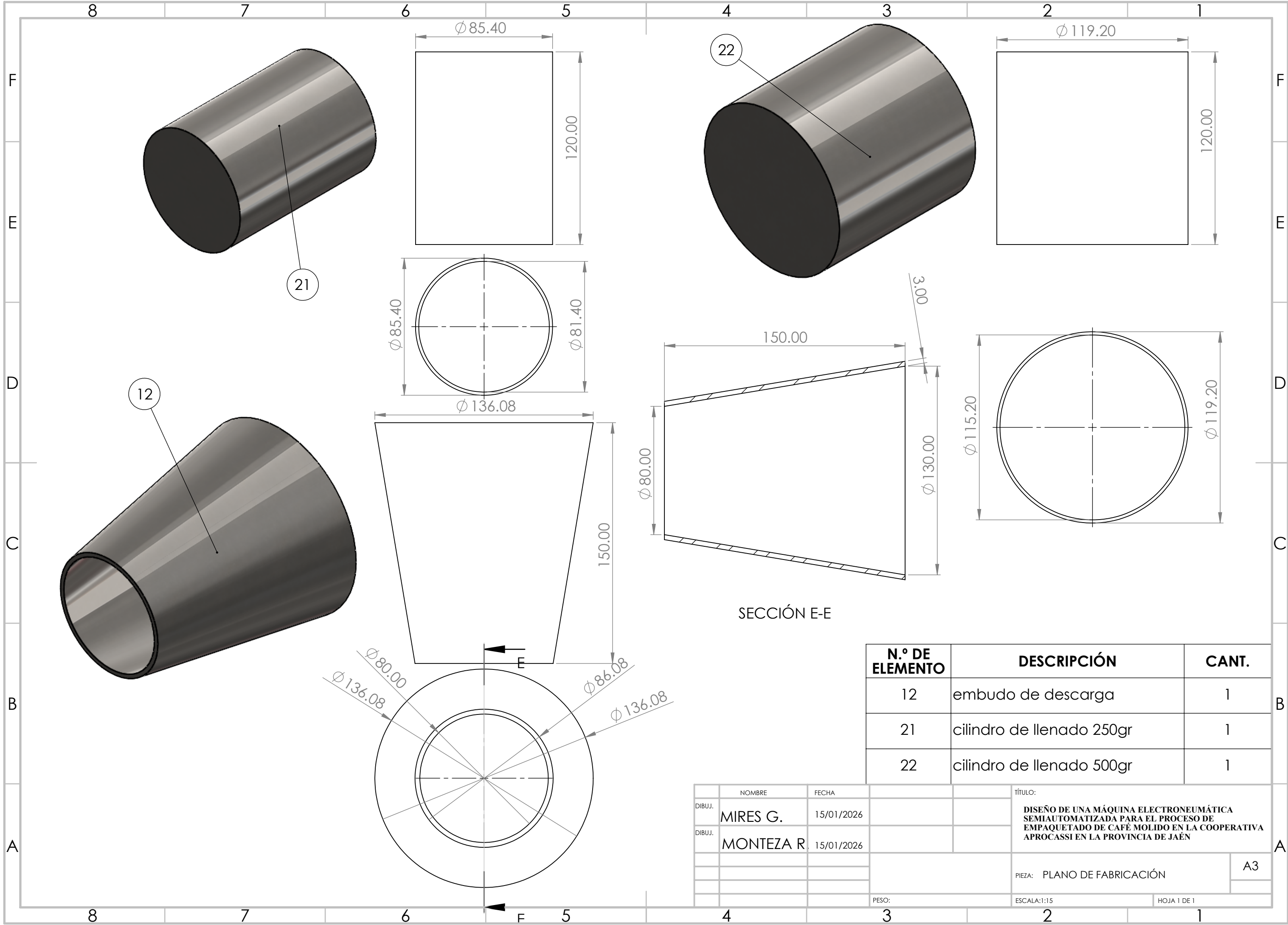


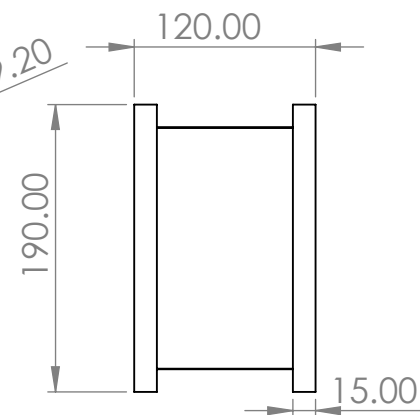
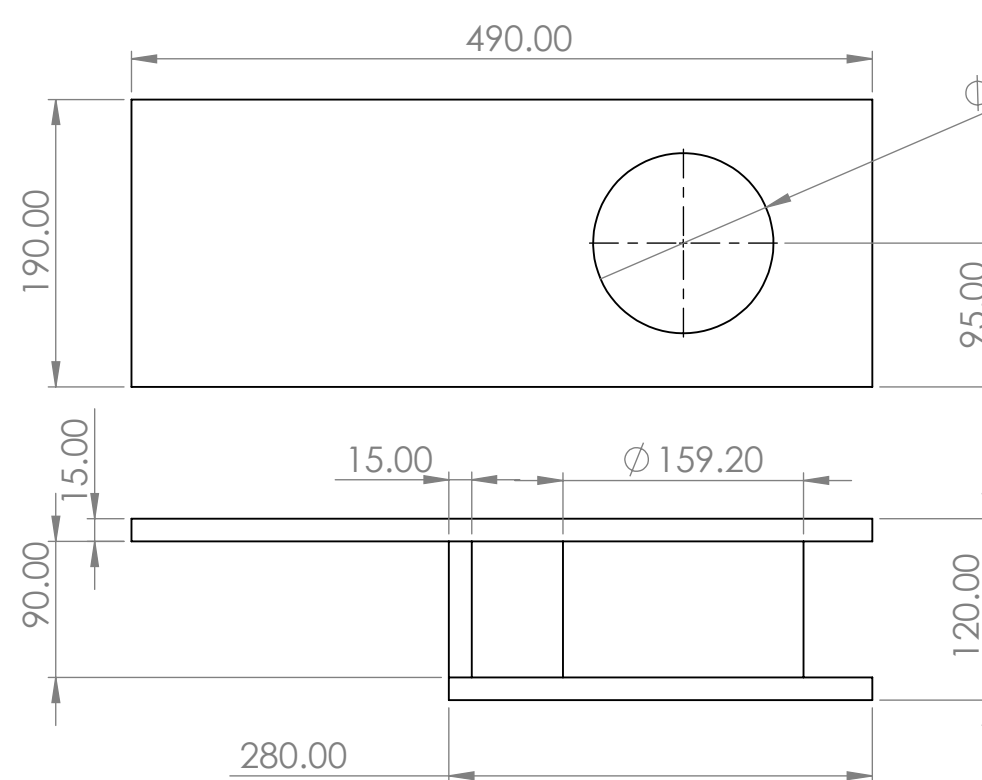
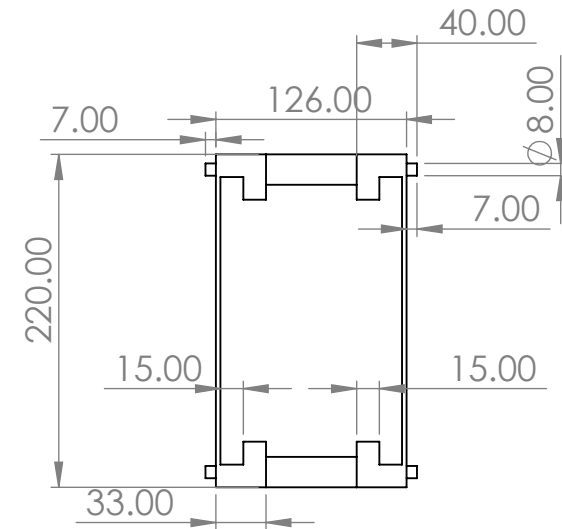
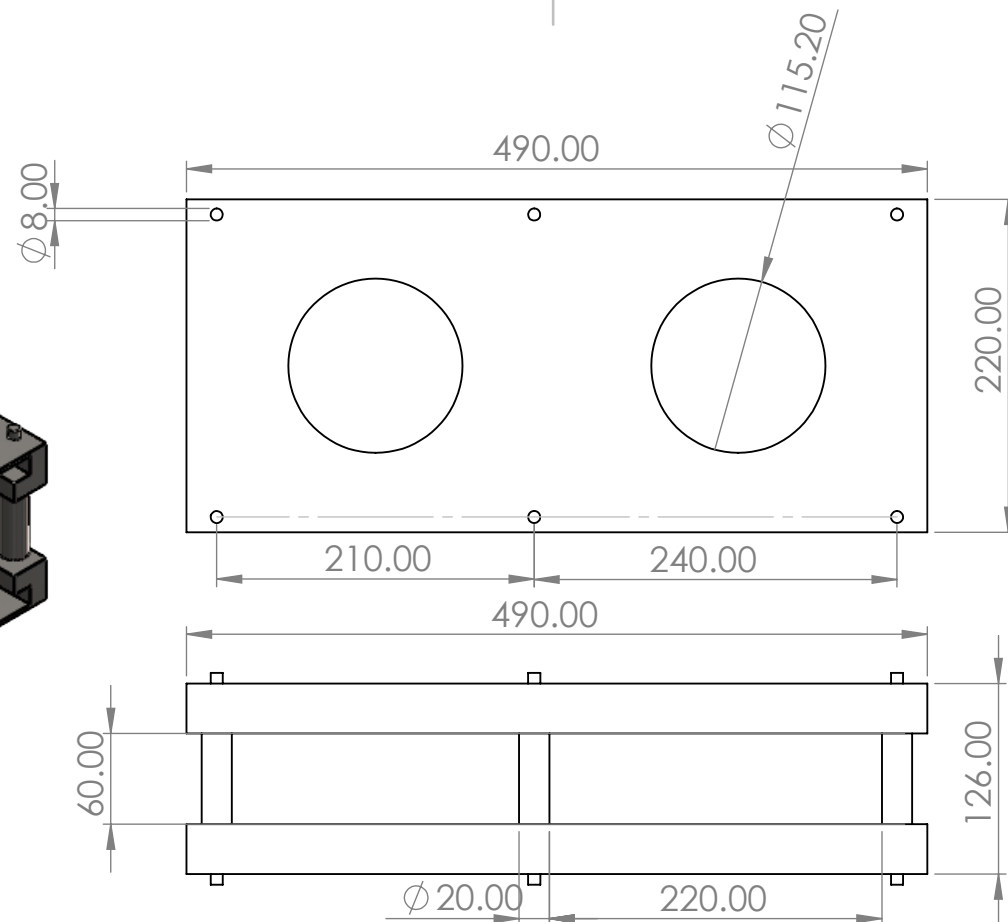
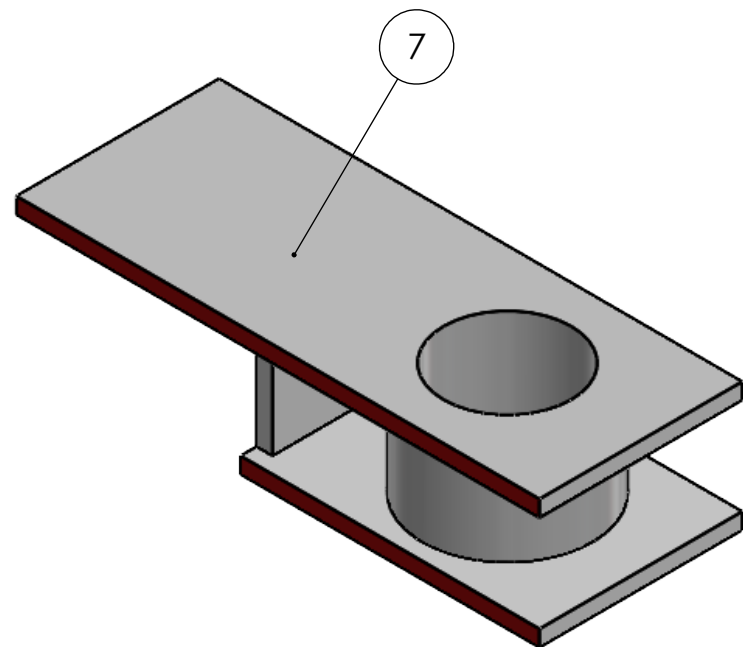
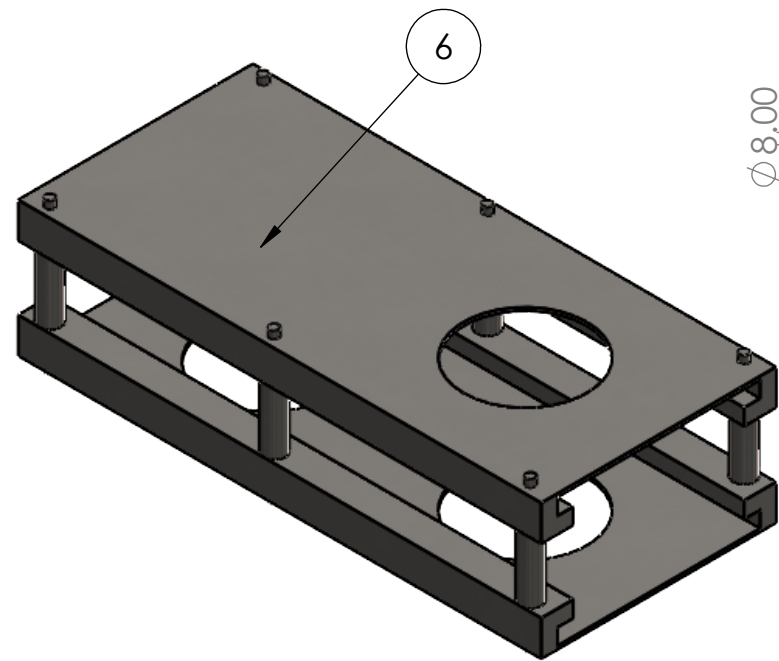
Anexo 9. Planos de ensamble y fabricación



N.º DE ELEMENTO	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura de soporte	TUBE, SQUARE 40.00 X 40.00 X 3.00	1

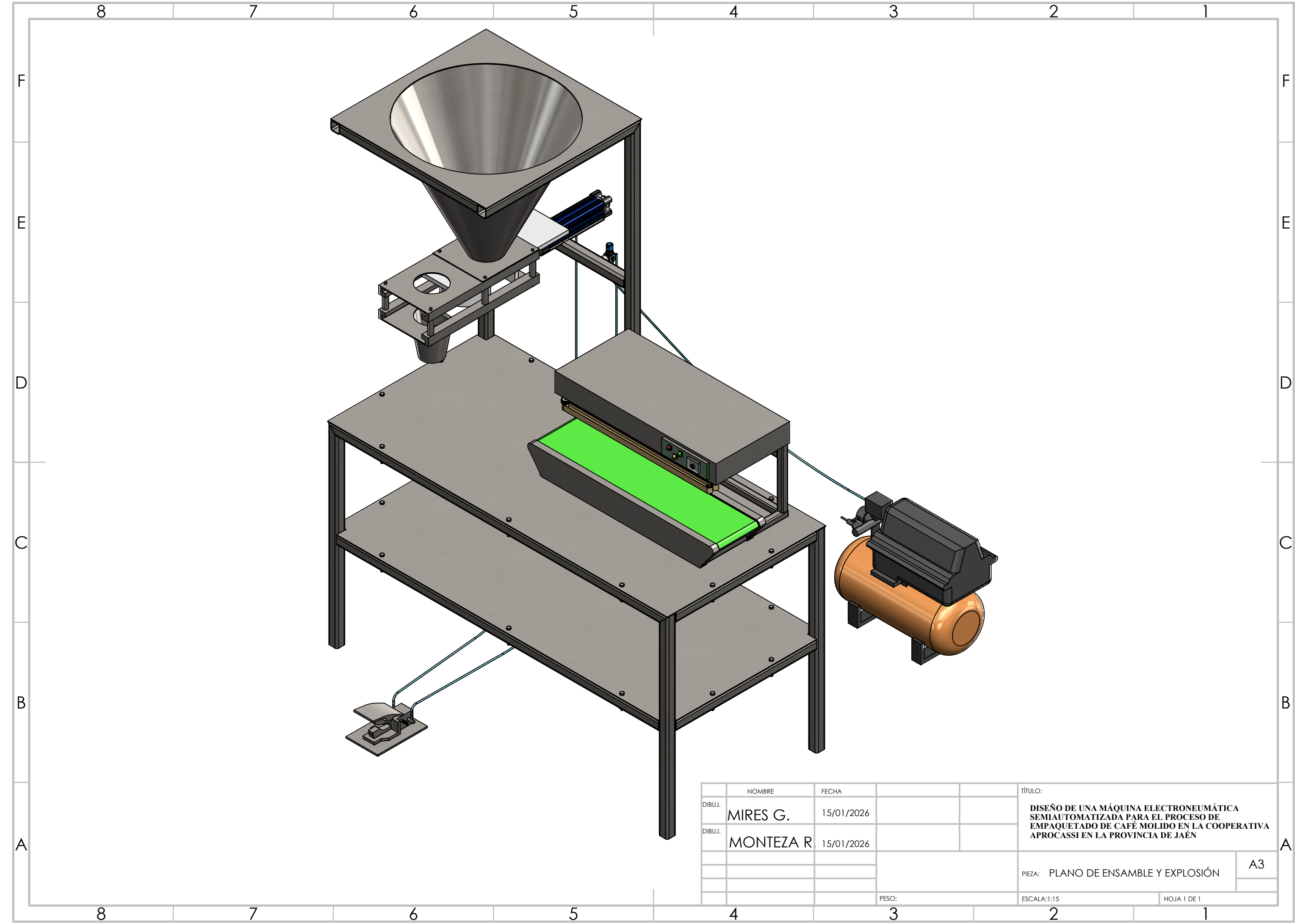
DIBUJ.	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
	MIRES G.	15/01/2026		
DIBUJ.	MONTEZA R.	15/01/2026	DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN	
			PIEZA: PLANO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE	A3
		PESO:	ESCALA:1:15	HOJA 1 DE 1





N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
6	Sistema de guiado de soporte	1
7	Soporte de cilindro	1

DIBUJ.	NOMBRE	FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	MIRES G.	15/01/2026			DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN
	MONTEZA R.	15/01/2026			PIEZA: PLANO DE FABRICACIÓN
					ESCALA:1:2
					HOJA 1 DE 1



NOMBRE		FECHA			TÍTULO:
DIBUJ.	MIRES G.	15/01/2026			DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN
DIBUJ.	MONTEZA R.	15/01/2026			
					PIEZA: PLANO DE ENSAMBLE Y EXPLOSIÓN
					A3
			PESO:		ESCALA:1:15
					HOJA 1 DE 1

DOCUMENTO DE AUTORIZACIÓN

Por medio de la presente, la Cooperativa APROCASSI autoriza a los tesisistas Yosuer Jolsen Monteza Rodríguez y José Wilbert Mires Gonzales, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, a ingresar a las instalaciones de la empresa con la finalidad de realizar el levantamiento de información técnica necesaria para el desarrollo de su trabajo de tesis titulado:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA ELECTRONEUMÁTICA SEMIAUTOMATIZADA PARA EL PROCESO DE EMPAQUETADO DE CAFÉ MOLIDO EN LA COOPERATIVA APROCASSI EN LA PROVINCIA DE JAÉN”.

La autorización comprende el acceso a las áreas de producción y empaquetado, así como la realización de observaciones, mediciones, entrevistas técnicas y registro fotográfico, exclusivamente con fines académicos, para la recopilación de los datos consignados en la tabla (anexo 1) de levantamiento de información del proyecto de tesis. La información obtenida será utilizada únicamente para fines académicos.

Asimismo, los tesisistas se comprometen a respetar las normas internas de seguridad, higiene y confidencialidad establecidas por la cooperativa.

Se extiende la presente autorización para los fines que los interesados estimen convenientes.

Jaén, 06 de febrero de 2026



COOPERATIVA AGRARIA
APROCASSI
DUBERLI CAMPOS CHANTA
DNI: 46012237
GERENTE GENERAL

Cooperativa APROCASSI (Responsable)