

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Diseño de una máquina enlatadora para una línea producción de  
cerveza artesanal

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Carlos Israel Jiménez Jiménez

Xavier Andrés García Basurto

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a Dios, por darme la fuerza de voluntad para superarme cada día y ser una persona íntegra con los demás.

A mi madre, Lila Jimenez, y a mi hermano Steven Jimenez, quienes me han brindado su apoyo y cariño en todo momento.

A mi querida abuela Mery Cueva, por ser nuestro sostén en los momentos difíciles.

A la memoria de mi abuelo Carlos Jimenez, quién me formó desde pequeño con valores para ser un buen profesional.

A mis amigos y familiares, que se hicieron presente a lo largo de estos años de formación, estaré eternamente agradecido con cada uno de ellos.

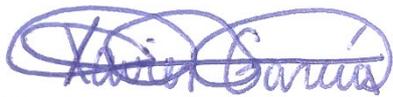
**Carlos Israel Jiménez Jiménez**

Este proyecto se lo dedico principalmente a mis padres que su apoyo fue fundamental durante estos años de formación, a mis amigos y compañeros que fui conociendo durante la carrera que siempre estuvieron dispuestos a brindar su apoyo emocional o académico en el caso de que fueran necesarios, a los buenos profesores que volvieron sus materias interesantes y que te invitaban a ir más allá de lo común y finalmente a Alejandra y Johnny que con su dedicación por los estudios siempre fueron un modelo a seguir y una inspiración además de estar ahí siempre en los malos momentos.

**Xavier Andrés García Basurto**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Carlos Israel Jiménez Jiménez* y *Xavier Andrés García Basurto* 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"



---

Xavier Andrés García Basurto



---

Carlos Israel Jiménez Jiménez

## **EVALUADORES**

**.....**  
**Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

**.....**  
**Carlos Xavier Saldarriaga Mero, Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El crecimiento del mercado de la cerveza en los últimos años ha ido al alza, de esta manera, pequeñas y medianas empresas tienen la necesidad de optimizar sus procesos de producción para cumplir con la demanda. Sin embargo, el proceso de sellado final de la lata se ha convertido en el más complejo de automatizar. Además, que ocasiona costos adicionales para la empresa y disminuye el rango de ganancias del producto.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una máquina enlatadora automatizada con dos rulinas que permiten realizar una operación de doble cierre entre la tapa y el cuerpo de la lata. El diseño se realiza para una empresa de cerveza artesanal ubicada en Loja.

El desarrollo empezó con la selección de componentes para el mecanismo de cierre como: mandril, rulinas y el diseño de un sistema de transmisión de fuerza. Se diseñó un sistema de posicionamiento para colocar la lata llena del producto proveniente de la banda transportadora hacia el sistema de ascenso vertical para realizar la operación de cierre. Se modeló todo en el software Inventor y para el sistema neumático se utilizó un software de simulación de circuitos de control y desplazamiento para los actuadores neumáticos.

La máquina enlatadora automática diseñada permite optimizar tiempos de producción al reducir tiempos de sellado manual y reducir costos de producción y transporte al no requerir de un tercero para realizar la operación.

**Palabras Clave:** Máquina enlatadora, automatización, controlador, cerveza artesanal.

## **ABSTRACT**

*The growth of the beer market in recent years has been on the rise, so small and medium-sized companies have the need to optimize their production processes to meet the demand. However, the final can sealing process has become the most complex to automate. In addition, it causes additional costs for the company and decreases the profit range of the product.*

*The growth of the beer market in recent years has been on the rise, so small and medium-sized companies have the need to optimize their production processes to meet the demand. However, the final can sealing process has become the most complex to automate. In addition, it causes additional costs for the company and decreases the profit range of the product.*

*The development started with the selection of components for the closing mechanism such as: mandrel, rollers and the design of a force transmission system. A positioning system was designed to place the can full of product coming from the conveyor belt to the vertical ascending system to perform the closing operation. Everything was modeled in Inventor software and for the pneumatic system a control and displacement circuit simulation software was used for the pneumatic actuators.*

*The development started with the selection of components for the closing mechanism such as: mandrel, rollers and the design of a force transmission system. A positioning system was designed to place the can full of product coming from the conveyor belt to the vertical ascending system to perform the closing operation. Everything was modeled in Inventor software and for the pneumatic system a control and displacement circuit simulation software was used for the pneumatic actuators.*

**Keywords:** *Canning machine, automatization, controller, Craft Beer*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1	
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
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 Cerveza artesanal .....	6
1.4.2 Envasado de la cerveza .....	6
1.4.3 Partes de las latas .....	7
1.4.4 Sellado de latas.....	7
1.4.5 Estado del arte .....	9
CAPÍTULO 2	
2. Metodología .....	12
2.1 Selección de alternativa de solución .....	12
2.2 Proceso de diseño.....	17

2.3	Requerimientos de diseño .....	18
2.4	Limitaciones de diseño .....	19
2.5	Diseño conceptual .....	20
2.6	Parámetros de diseño mecánico .....	21
2.6.1	Especificaciones iniciales .....	22
2.6.2	Materiales .....	31
2.6.3	Estimación de torque y velocidad angular para motor.....	32
2.6.4	Selección de motores .....	33
2.6.5	Selección de rulas .....	35
2.6.6	Selección de mandril .....	36
2.6.7	Sistema de transmisión .....	38
2.6.8	Selección de compresor .....	39
2.6.9	Selección de actuador de ascenso.....	40
2.6.10	Selección de actuador para sistema posicionador por cruz. ....	41
2.6.11	Sistema de transmisión para rulas .....	42
2.6.12	Diseño del dispensador de tapas .....	43
2.6.13	Selección de banda transportadora.....	46
2.7	Parámetros de monitoreo y control.....	46
2.7.1	Selección de mecanismo para seguridad de operación .....	46
2.7.2	Selección de controlador .....	47
2.7.3	Diseño de sistema de monitoreo .....	48
 CAPÍTULO 3		
3.	Resultados y análisis .....	50
3.1	Diseño mecánico .....	50
3.1.1	Análisis estructural .....	51
3.1.2	Circuito neumático.....	53

3.2	Costos de consumo de aire.....	54
3.3	Especificaciones de la máquina selladora de latas .....	55
3.4	Plan de mantenimiento preventivo .....	55
3.5	Planos eléctricos .....	56
3.6	Análisis de costos.....	59
CAPÍTULO 4		
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	65
4.1	Conclusiones.....	65
4.2	Recomendaciones.....	67
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASOCERV	Asociación de Cervecerías Artesanales del Ecuador
IVA	Impuesto al Valor Agregado
CFIA	Canadian Food Inspection Agency
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
MPMA	The Metal Packaging Manufactures Association
RFID	Identificación por radiofrecuencia

## SIMBOLOGÍA

oz	Onzas
L	Litros
min	Minutos
mm	Milímetros
atm	Atmósfera de presión
s	Segundos
gr	Gramos
N	Newton
MPa	Megapascales
lb	Libras
kN	Kilonewton
um	Micrómetro
GPa	Gigapascal
rpm	Revoluciones por minuto
Hz	Hercio
hp	Caballo de fuerza
lb-ft	Fuerza pie-libra
HB	Dureza Brinell
kW	Kilovatio
psi	Libra por pulgada cuadrada
hr	Hora
ft	Pie
W	Vatio
mA	Miliamperios
tnf	Toneladas fuerza
lbf	Libras fuerza
in	Pulgadas

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes de lata: a) cuerpo y b) tapa .....	7
Figura 1.2. Rizo y reborde forman una doble costura.....	8
Figura 1.3 Partes básicas de una selladora .....	8
Figura 1.4 Microcanner MC202 .....	10
Figura 1.5 SAMS V2 – Sistema semiautomatizado de envasado.....	11
Figura 1.6 <i>Microblock – 661 EPV Cans</i> .....	11
Figura 2.1 Selladora de tapas (sistemas de rodillos) .....	13
Figura 2.2 Válvula electroneumática de sellado de latas .....	13
Figura 2.3 Sistema inyección de gas y sellado de latas .....	14
Figura 2.4 Línea automatizada (dosificador y sellador) para producción de cerveza enlatada .....	14
Figura 2.5 Metodología del diseño .....	18
Figura 2.6 Diseño conceptual .....	20
Figura 2.7 Componentes del sistema de sellado .....	22
Figura 2.8 Funcionamiento de operación de doble sellado .....	23
Figura 2.9 Distancia mínima de plato con mandril para sellado. ....	24
Figura 2.10 Distancia máxima de plato con mandril para sellado.....	25
Figura 2.11 Fuerza de empuje en lata.....	26
Figura 2.12 Tres etapas del proceso de engrapado convencional .....	28
Figura 2.13 Perfil de rodillos de primera (a) y segunda operación (b) .....	29
Figura 2.14 Fuerzas de reacción en rulina de primera operación para obtener el sellado final .....	30
Figura 2.15 Fuerzas de reacción en rulina de segunda operación para obtener sellado final .....	31
Figura 2.16 Diagrama cuerpo libre sobre mandril en vista superior .....	33
Figura 2.17 Perfil de mandril .....	37
Figura 2.18 Dispensador de tapas: (a) sostén tapa, (b) almacenaje de tapas, (c) base en forma de L, (d) embudo de tapas, (e) platina dispensadora .....	44
Figura 2.19 Medidas relevantes del sistema dispensador de tapas. ....	45

Figura 2.20 (a) diseño de sistema de colocación, (b) sistema de colocación de MCFlex. .....	46
Figura 3.1 Diseño 3D de la máquina selladora de latas: (1) Sistema de dispensado de tapas, (2) Banda transportadora, (3) Sistema de sellado y (4) Posicionador por cruz...	51
Figura 3.2 Aplicación de fuerza de primera operación en mandril.....	52
Figura 3.3 Factor de seguridad para la aplicación de fuerza de primera operación en mandril.....	52
Figura 3.4 Aplicación de fuerza de segunda operación en mandril. ....	52
Figura 3.5 Factor de seguridad para la aplicación de fuerza de segunda operación en mandril.....	53
Figura 3.6 Circuito neumático de la máquina selladora.....	54
Figura 3.7 Consumo de aire de los actuadores neumáticos de la máquina selladora...	55
Figura 3.8 Conexiones eléctricas del controlador.....	57
Figura 3.9 Conexiones de sistema de control con componentes neumáticos .....	58
Figura 3.10 Comparativa de precios entre el diseño propuesto y modelos comerciales. .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Criterios de selección .....	16
Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución .....	17
Tabla 2.3 Requerimientos del sistema .....	19
Tabla 2.4 Limitaciones del sistema.....	20
Tabla 2.5 Geometría y capacidad de lata sellada.....	21
Tabla 2.6 Requerimiento actuador de empuje de lata .....	27
Tabla 2.7 Especificaciones geométricas de lata sellada .....	27
Tabla 2.8 Criterios mínimos a cumplir para la CFIA .....	28
Tabla 2.9 Propiedades del acero AISI 316 .....	31
Tabla 2.10 Propiedades de aluminio 3003 .....	32
Tabla 2.11 Características del motorreductor.....	34
Tabla 2.12. Factor de servicio de motor eléctrico .....	35
Tabla 2.13 Características de rulas .....	36
Tabla 2.14 Características de mandril.....	38
Tabla 2.15 Características de acople de eje.....	39
Tabla 2.16 Características de actuador ascenso.....	41
Tabla 2.17 Características de actuador giratorio .....	42
Tabla 2.18 Separación entre mandril y rulas .....	43
Tabla 2.19 Interruptor de seguridad .....	47
Tabla 2.20 Características del PLC.....	48
Tabla 2.21 Componentes usados para el sistema de monitoreo y control .....	49
Tabla 3.1 Especificaciones de trabajo de la máquina selladora .....	55
Tabla 3.2 Plan de mantenimiento preventivo para máquina selladora .....	56
Tabla 3.3 Cotización de rubros del sistema mecánico .....	60
Tabla 3.4 Cotización de rubros del sistema neumático .....	61
Tabla 3.5 Cotización de rubros del sistema de control y eléctrico .....	62
Tabla 3.6 Cotización de rubros adicionales.....	63
Tabla 3.7 Costos de producción de maquinaria de sellado.....	63
Tabla 3.8 Comparativa de máquina similares.....	63

## ÍNDICE DE PLANOS

Planos Mecánicos .....	153
------------------------	-----

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Estudios realizados en 2019 sobre el crecimiento del mercado cervecero en América del Sur, indican que se presentará un aumento de 3.2% por año durante el período 2022-2025. Al mismo tiempo, se identifican dos tendencias en este mercado: preferencia creciente por bebidas con un bajo volumen de alcohol (ABV) y aumento de la demanda de cerveza en las regiones en desarrollo [1].

Los factores relacionados a la preferencia por bebidas con bajo volumen de alcohol se debe al interés de llevar una vida más saludable, así también a la introducción de una mayor variedad de sabores e ingredientes a elegir con precios más económicos respecto a otras marcas de cerveza importadas. Esta tendencia de consumo se atribuye al incremento de la población joven y a su mayor poder adquisitivo.

La industria de cervecería artesanal en Ecuador a pesar de tratarse de un nicho de mercado pequeño, los últimos años ha crecido su potencial en producción, comercialización y venta dentro del país. Según cifras de la Asociación de Cervecerías Artesanales del Ecuador (Asocerv), la industria ha experimentado un crecimiento del 21% en 2022 con relación a 2021. La producción se ha disparado hasta alcanzar 35.000 hectolitros al año de cerca de 250 marcas registradas oficialmente dentro de la asociación [2].

Estas cifras apuntan a un amplio crecimiento de cerveza artesanal dentro del mercado, cada vez se crean nuevos emprendimientos, se innovan en sabores y en uso de materia prima local, para posicionar a la cerveza como producto único y con un factor diferencial respecto a otras marcas [3].

Se debe tomar en cuenta que el sector de la cerveza artesanal ha experimentado incentivos por parte del Estado con la ley de crecimiento económico, sumado a la

inversión extranjera debido al potencial de mercado dentro del país. Por esto, la demanda y rentabilidad de la cerveza se ha ido desarrollando año tras año ocasionando que las pequeñas fábricas necesiten actualizar y automatizar sus líneas de producción. Una parte importante de esta línea de producción es el proceso de enlatado que garantiza frescura y almacenaje del producto. Sin embargo, una máquina enlatadora requiere una inversión de USD 10 000 [4].

El cliente actualmente utiliza una máquina semiautomatizada (KL 10757) para el proceso de enlatado que requiere la intervención de un operador con un tiempo aproximado de 5 minutos por lata. Sin embargo, este proceso no cumple con las normativas de sanidad y genera desperdicio, por lo que la fábrica subcontrata una empresa externa para enlatar a un costo adicional de \$1 por lata y transporte. Debido al aumento en el consumo y la exportación de cerveza artesanal, no se ha logrado alcanzar la productividad deseada con el proceso actual. Por lo tanto, se está buscando diseñar una máquina automatizada para mejorar la producción y cumplir con las normativas de sanidad vigentes en Ecuador como la NTE INEN 2262 [5] y verificando la calidad del cierre del producto final usando las normas establecidas por MPMA (*The Metal Packaging Manufacturers Association*) [6]. De esta manera, se espera lograr una producción a gran escala a un costo menor y con garantías de calidad. Esta máquina automatizada permitirá enlatar la cerveza artesanal en un tamaño estándar de 16 oz, y su diseño se realizará siguiendo las normativas vigentes para la elección de materiales y la evaluación final de la lata.

## **1.1 Descripción del problema**

Es una tendencia de consumo preferir alimentos o bebidas más saludables, que no posean ningún aditivo y que sean productos naturales. Por eso, el consumo de cerveza artesanal sigue esta tendencia en países de Latinoamérica como Chile, México, Argentina, Colombia y Ecuador [7].

A pesar del crecimiento del mercado, las empresas pequeñas de fabricación de cerveza artesanal se enfrentan a desafíos mayores al no poder enfrentarse en

volumen de producción y en precios competitivos con respecto a grandes corporaciones.

Las empresas locales realizan la fabricación de la cerveza artesanal por etapas al no contar con una línea de producción completa para la elaboración de su producto final. De esta forma, para cumplir con grandes volúmenes de producción requeridos por el cliente deben recurrir a servicios de terceros ocasionando menor rentabilidad en la empresa. Esto implica que no todos sus procesos se encuentran automatizados, siendo uno de ellos el enlatado final del producto.

Alrededor de 1300 litros mensuales de cerveza se producían antes del tope de demanda post pandemia [8]. Hoy en día con la reactivación económica, impulsada por el turismo y la apertura de nuevos bares y restaurantes especializados en cerveza artesanal, han derivado en la llegada de más demanda para la producción y comercialización de cerveza artesanal. Por esta razón, la empresa aumentó su producción mensual en 25% (equivalente a 1625 litros al mes) y se vio en la necesidad de contar con los servicios de una empresa fuera de la ciudad, la cual se encarga de transportar los barriles de cerveza y entregarle el producto enlatado y sellado para su comercialización. No obstante, a pesar de las modificaciones realizadas, la empresa tiene un 5% de ganancia menor en cada lata debido a los costos de transporte para el enlatado final del producto. Así mismo, las latas entregadas por la empresa de Quito, cerca del 10% llegan con abolladuras o defectos por lo que representa pérdidas para la empresa. Además, es importante mencionar que los tiempos de entrega se elevan cerca de 5 días al mes y conlleva a quedarse sin stock de cerveza ocasionando perjuicios para sus clientes.

Este proyecto se enfoca en la incorporación de una etapa de enlatado para la mejora de la rentabilidad de la producción final de cerveza artesanal, para lo cual se va a diseñar una etapa de dispensado de tapas y enlatado de las mismas.

## 1.2 Justificación del problema

La empresa cervecera producía una cantidad de 1218 L de cerveza artesanal al mes en el año 2020, y debido al incremento de la demanda por parte de sus clientes luego de la pandemia se ha visto en la necesidad de aumentar su producción mensual en un 33% equivalente a 1625 L al mes. Para adaptarse al volumen de producción requerido la empresa se ha visto en la obligación de contratar nuevo personal, uno para aumentar la producción de la materia prima y otro encargado de realizar el sellado manual con la maquinaria, esto debido a que no cuentan con una línea de producción completa sino con equipos automatizados para la elaboración de la cerveza.

Sin embargo, aún con el aumento en la producción de cerveza la etapa final de enlatado es la operación que mayor tiempo conlleva. Para esto la empresa adquirió una enlatadora manual, pero con dicha máquina no ha sido posible alcanzar el volumen de latas requeridas que son 20 latas promedio al día y se generan desperdicios de cerveza de aproximadamente 50 ml al día por lo que es un proceso con limitaciones. En virtud de ello, la empresa subcontrata servicios de enlatado en una compañía ubicada en Quito para cumplir con la demanda, a pesar de ello se presentan algunos problemas. Entre estos figuran que se deben completar un lote de 400 L de cerveza para que la empresa de Quito realice el proceso de enlatado y transporte de vuelta de aproximadamente 720 latas. Así también, se tiene el aumento en costos de producción cada lata implica un costo adicional de \$1.00 (0.20 ctvs. por transporte y 0.8 ctvs. para enlatado) y problemas con demoras en tiempo de distribución al cliente a causa de que se debe completar un lote mínimo de 400 L para comenzar el proceso de enlatado, ocasionando demoras de 3 a 5 días al mes. Por estas razones, la etapa de enlatado disminuye la rentabilidad de la empresa (\$2 de ganancia menor por lata), debido a lo antes mencionado, que corresponde a los costos adicionales y la dependencia de los tiempos de entrega de la empresa subcontratada para distribuir el producto final.

En consecuencia, el presente proyecto propone mejorar la rentabilidad de la empresa en aproximadamente un 2% y reducir costos de operación en la etapa de

enlatado de la cerveza artesanal en un 50% a largo plazo, cumpliendo con estándares de calidad y asepsia del proceso de la norma vigente NTE INEN 2262; mediante el diseño de una máquina automatizada que permita enlatar el producto en la medida estándar de 16 oz.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina enlatadora automatizada para la línea de producción de cerveza artesanal que permita reducir tiempos de producción, transporte e incremente la rentabilidad de la empresa; utilizando técnicas de diseño concurrente para garantizar la integración de los componentes mecánicos, eléctricos y de control, que permite el monitoreo del sistema.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar la estructura y seleccionar los componentes mecánicos, neumáticos y actuadores eléctricos para lograr un enlatado automático capaz de producir una cantidad designada de cervezas enlatadas.
2. Implementar sistemas CAD-CAE para diseño, simulación y validación de funcionalidad y seguridad de prototipo de la máquina de enlatado.
3. Diseñar un sistema de control y monitoreo del proceso de enlatado con una interfaz amigable para el usuario.
4. Determinar la viabilidad de la propuesta desarrollada para su implementación mediante un análisis de costos de producción.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Cerveza artesanal**

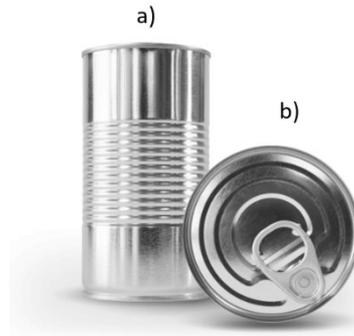
Es una cerveza elaborada en base a una receta propia y de una producción limitada, ya que se busca cuidar la calidad del proceso en el que se brinda especial atención a texturas y sabores que los diferencian de las marcas industriales. No contiene elementos artificiales y ningún tipo de fermentado natural cumpliendo con un proceso más orgánico de una calidad y diversidad notables a diferencia de las cervezas comerciales [9].

### **1.4.2 Envasado de la cerveza**

Las cervezas se pueden envasar de distintas maneras, tanto en botellas de vidrio como en latas y hasta en barriles. Para respetar tradiciones de envasado artesanal este se suele realizar en botellas de vidrio que a su vez dan una imagen más natural y agradable. El problema de este tipo de envasado es el costo del vidrio, su peso y la dificultad para maniobrar el mismo. Hay varios factores que pueden incidir en la calidad de la cerveza artesanal entre ellos el calor, la temperatura y la luz, para este último se recomendaría utilizar botellas oscuras, pero una solución aún más eficiente es el uso de latas que al ser metálicas bloquean el paso de los rayos ultravioletas, además son de un precio menor y una mayor durabilidad [10].

### 1.4.3 Partes de las latas

Una lata de bebida típica consta de dos partes: el cuerpo y la tapa.



**Figura 1.1 Partes de lata: a) cuerpo y b) tapa**

- Cuerpo: suele estar hecho de una sola pieza de aluminio o acero que se da su forma usando una matriz y se realiza la operación de conformado por estiramiento mediante por un punzón.
- Tapa: su material suele ser aluminio en la mayoría de las aplicaciones y a menudo se presan a partir de una aleación de aluminio ligeramente más dura y gruesa que el cuerpo de la lata.

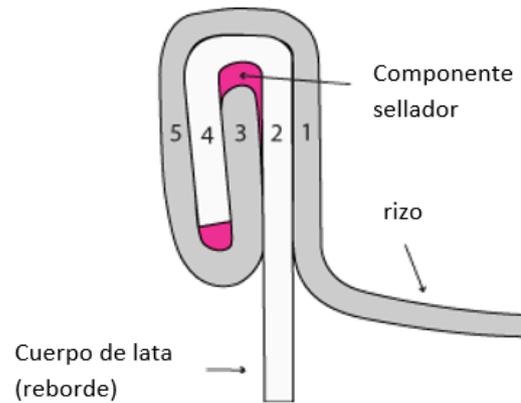
### 1.4.4 Sellado de latas

Las selladoras de latas cierran herméticamente las latas. El proceso de unir el extremo de la lata (tapa) al cuerpo de la lata se denomina doble cierre.

#### **Doble cierre o sellado**

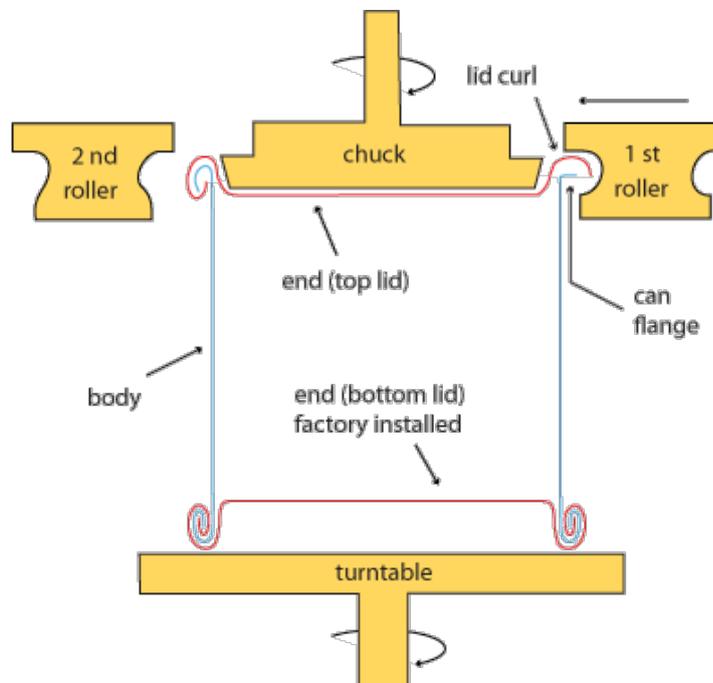
El doble sellado se forma al unir el cuerpo de la lata con la tapa, que se suele denominar como cubierta o extremo. El reborde del cuerpo y el rizo de la tapa se entrelazan y forman una fuerte unión mecánica. Sin embargo, esta unión, aunque fuerte, no es hermética y no puede considerarse un cierre formado herméticamente. El rizo de la tapa lleva un compuesto de sellado. Al comprimir juntos la tapa y el cuerpo de la lata, el compuesto sellador blando fluye y rellena cualquier pequeño espacio que pudiera haber en una doble costura, y la combinación de una doble costura y el

compuesto tratante da lugar a un cierre formado herméticamente (hermético) [11].



**Figura 1.2. Rizo y reborde forman una doble costura [10].**

Un cierre doble es una estructura mecánica resistente que contiene cinco capas de metal juntas, tres capas de la tapa y dos capas del cuerpo de la lata.



**Figura 1.3 Partes básicas de una selladora [11].**

Una selladora o "máquina cerradora" tiene un:

- Placa base (plato giratorio) - proporciona soporte para el cuerpo de la lata.
- Mandril de cierre: sujeta la parte superior de la lata (tapa) y actúa como superficie de apoyo para la presión de los rodillos.
- Conjunto de rodillos de operación - el primer rodillo enclava la tapa con el cuerpo de la lata. El segundo rodillo aprieta y plancha la costura.

#### ***Métodos de sellado.***

Existen dos tipos de selladoras:

- Lata giratoria - la lata gira, el mandril está parado.
- Lata inmóvil: el mandril y la lata giran.

La mayoría de selladoras en el mercado usan el tipo de sellado de "lata inmóvil".

#### **1.4.5 Estado del arte**

En la actualidad no hay evidencia de que en el país se utilice una línea de enlatado completamente automatizada en el campo de la cervecería artesanal. Sin embargo, existen maquinarias semiautomatizadas que las empresas usan para enlatar su producto.

Además, se investigó trabajos similares al tema propuesto, encontrando documentación en trabajos de titulación como: "Diseño y construcción de una máquina para envase y sellado de latas" en el cual se realiza un diseño y construcción completa de la línea automatizada para latas de aluminio con tamaños estándar de 12, 16 y 24 oz y tapa estándar 202 (52 mm) [12], así también "Diseño y construcción de una máquina selladora automatizada para latas de tipo redonda" en el que efectúa el diseño y construcción de una

máquina cerradora de latas redonda replicando el proceso de sellado en la industria de conservas [13].

Se recabó evidencia de máquinas de enlatado y líneas completamente automatizadas dedicadas a la cerveza artesanal en lata; se detectaron tres en particular. Una de ellas fabricada por *Microcanner* denominada MC202 (Figura 1.4) con capacidad de producción de 26 latas de 16 oz por minuto, caracterizada por tener una banda de transporte y una llenadora de 6 cabezales para abastecer de líquido a las latas. Además, cuenta con una pre-purga de CO<sub>2</sub> antes del llenado. Luego, se depositan las tapas para que un cilindro sostenga y sella la lata, a su vez dos rodillos verifican el sellado y salida del aire atrapado en el interior y por último se enjuagan las latas de cerveza. Todo el sistema se opera mediante un HMI sencillo de configurar [14].



**Figura 1.4 Microcanner MC202 [14]**

Otra línea de automatizado completo llamada SAMS V2 (Figura 1.5) con capacidad de producción de 15 latas por minuto, posee un sistema dispensador de tapas y además una purga en el mismo momento de CO<sub>2</sub>. También, tiene una estación de llenado de 3 cabezales con sensores de niveles. Para realizar el sellado posee material de titanio de alta resistencia y un sistema de tornillo mejorado con un brazo de accionamiento de husillo [15].



**Figura 1.5 SAMS V2 – Sistema semiautomatizado de envasado [15]**

Por último, se tiene la línea completamente automatizada *Microblock – 661 EPV* (Figura 1.6) cuya capacidad de producción es de 1500 latas por hora, tiene un lavado de CO<sub>2</sub> de la lata antes del llenado para eliminar el oxígeno y prolongar la vida útil del producto. Así también, posee un sistema de torre de llenado y un sistema de carrusel para posicionar la lata y realizar la operación de sellado [16].



**Figura 1.6 Microblock – 661 EPV Cans [16]**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Este capítulo describe el proceso de diseño utilizado para ejecutar y desarrollar el objetivo del proyecto enfocado en la producción de cervezas enlatadas automáticamente. Se explican las etapas del proceso de diseño, desde la selección de soluciones factibles para la problemática de la empresa, la identificación de requerimientos y alcances para el proyecto, hasta la selección de componentes mecánicos, neumáticos y actuadores eléctricos para un sistema enlatado automático.

### 2.1 Selección de alternativa de solución

En función de la información recabada y la problemática planteada en el capítulo anterior, se establecieron tres alternativas de solución para el sistema de enlatado de cervezas artesanal, que se las detalla a continuación:

- Alternativa 1:

Diseño de una máquina enlatadora de cerveza compuesta por un dispensador de tapas y un mandril giratorio con adición de dos rodillos de cierre que permiten ajustar la tapa y liberar aire atrapado en el interior del envase.



**Figura 2.1 Selladora de tapas (sistemas de rodillos) [16]**

- Alternativa 2:

Diseño de una máquina enlatadora de cerveza constituida por un dispensador de tapas y un actuador electroneumático para sellado hermético de latas.



**Figura 2.2 Válvula electroneumática de sellado de latas [17]**

- Alternativa 3:

Diseño de una máquina enlatadora de cerveza con un sistema de inyección de gas, constituida por un dispensador de tapas, un cabezal de prensado y cuatro rodillos de cierre. Se sella la lata con el cabezal de prensado y por un proceso de gasificación, además los rodillos rizan los bordes y presionan la tapa para garantizar el cierre hermético.



**Figura 2.3 Sistema inyección de gas y sellado de latas [18]**

- Alternativa 4:

Implementación de una línea semiautomatizada completa, que cuente con estación de llenado de 3 cabezales, dispensador de tapa, sellado mediante tornillo y pantalla HMI.



**Figura 2.4 Línea automatizada (dosificador y sellador) para producción de cerveza enlatada [18]**

Se efectuó la selección de la solución factible para el desarrollo de un proyecto. Se eligieron criterios fundamentales que respondan a las necesidades del cliente y se realizó un análisis de cada alternativa de solución utilizando los criterios de selección con pesos determinados Tabla 2.1. Se describen brevemente los criterios utilizados en la selección.

- **Viabilidad:** Posibilidad de construir mecanismo con recursos disponibles a nivel local, considerando el presupuesto dado por el cliente.
- **Capacidad:** Cantidad de latas que son selladas por hora.
- **Tiempo de operación:** Lapso de operación continuo de la maquinaria especificado de acuerdo a la cantidad de cerveza que se requiera enlatar.
- **Autonomía:** Capacidad de funcionar automáticamente sin la necesidad de supervisión de la maquinaria de enlatado, tratando de usar la menor cantidad de operadores.
- **Costo de producción:** Precio por enlatado final para mantener la ganancia del cliente.
- **Rentabilidad:** Tiempo de retorno de inversión para obtener ganancias sobre la maquinaria de enlatado.
- **Facilidad de uso y limpieza:** Facilidad para movilización y desmontaje del mecanismo para recibir mantenimiento y/o mantenimiento.
- **Uso de materiales:** Utilizar materiales locales que cumplan con la norma INEN EN 1672-2.
- **Integración:** Diseño modular de la máquina de enlatado para garantizar incorporación con otras líneas/procesos dentro de la fábrica.

**Tabla 2.1 Criterios de selección**

<b>CRITERIOS DE SELECCIÓN</b>			
<b>Peso</b>	<b>Criterio</b>	<b>Rango de Importancia</b>	<b>% de Decisión</b>
8.5	Viabilidad	1	19.32
8	Rentabilidad	2	18.18
6	Capacidad	3	13.64
5.5	Tiempo de operación	4	12.50
5	Autonomía	5	11.36
4.5	Costo de producción	6	10.23
3.5	Facilidad de uso y limpieza	7	7.95
2	Uso de materiales	8	4.55
1	Integración	9	2.27
44	<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

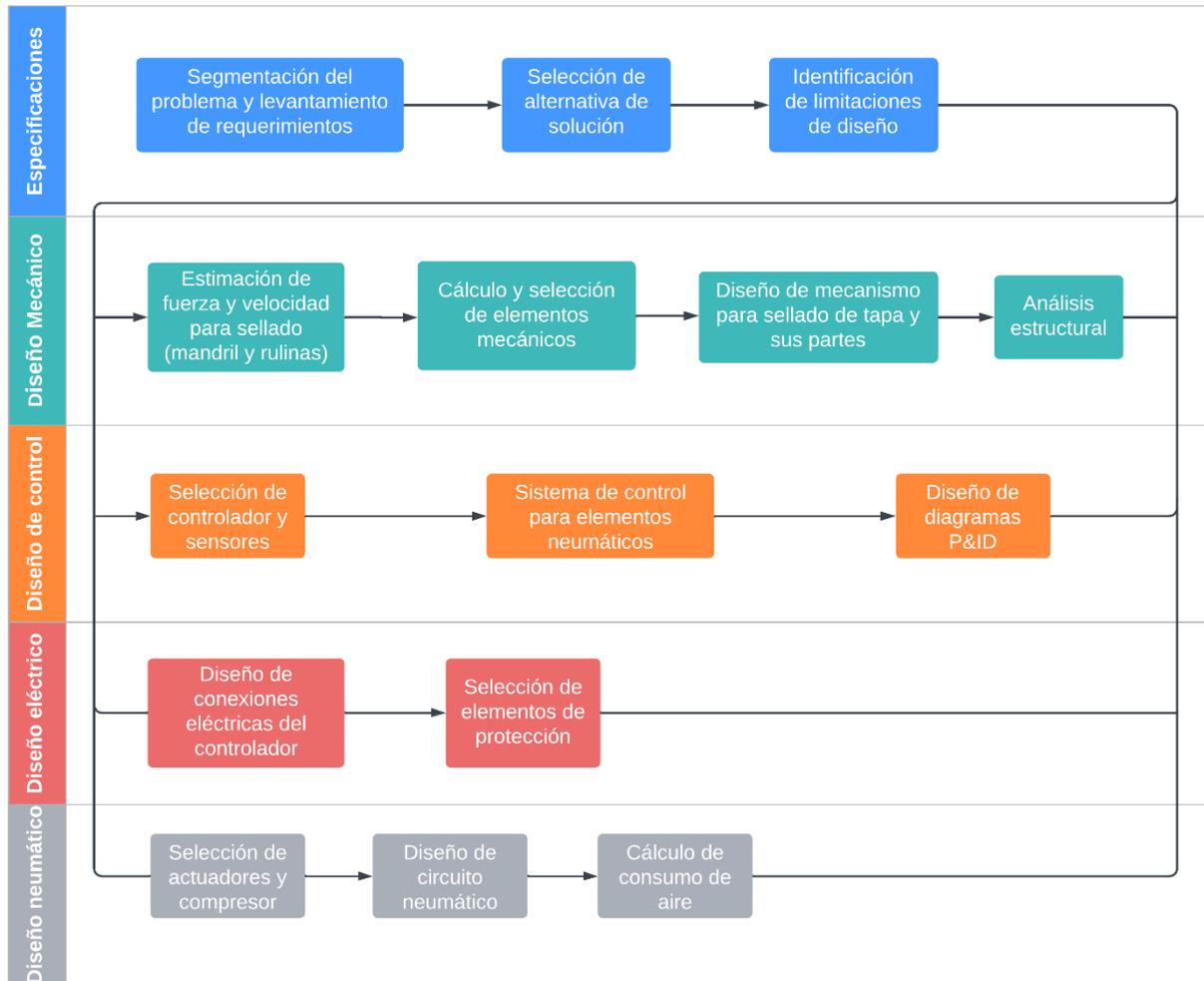
Se describe la evaluación de alternativas de solución para el proyecto y el resultado de la evaluación. Después de un análisis de peso ponderado, se determinó que la alternativa 1 es la solución ideal ya que cumple con la mayoría de los criterios de selección, incluyendo la viabilidad económica, requerimientos de producción, tiempo de operación, uso de materiales asépticos, facilidad de uso y mantenimiento. La integración con otros procesos dentro de la fábrica también se garantiza. Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 2.2

**Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución**

Pesos	CRITERIO									RESULTADOS	
	8.5	8	6	5.5	5	4.5	3.5	2	1	Puntaje con peso	Prioridad
Opciones	Viabilidad	Rentabilidad	Capacidad	Tiempo de operación	Autonomía	Costo de producción	Facilidad de uso y limpieza	Uso de materiales	Integración		
<b>Alternativa 1</b>	8	3	3	4	3	3	3	2	2	32	1
<b>Alternativa 2</b>	6	2	3	3	3	2	2	2	2	25	2
<b>Alternativa 3</b>	4	2	1	1	1	2	1	2	3	18	4
<b>Alternativa 4</b>	2	1	5	5	3	1	2	2	1	22	3

## 2.2 Proceso de diseño

Se incorporó una metodología de diseño para el desarrollo del proyecto y la división en subsecciones para resolver los problemas que se presentan. La metodología se ilustra en un diagrama de flujo en la Figura 2.5 que permite tener un producto final multidisciplinario y cumplir con los requerimientos del cliente.



**Figura 2.5 Metodología del diseño**

### 2.3 Requerimientos de diseño

Se plasman los requerimientos del cliente para diseñar una máquina enlatadora para una línea de producción de cerveza artesanal. Los requerimientos de diseño se detallan en la Tabla 2.3 Requerimientos del sistema recolectados de la entrevista con el cliente Apéndice A.

**Tabla 2.3 Requerimientos del sistema**

<b>Funcionalidad</b>	Dispensar tapillas y sellar las latas, mediante el diseño de maquinaria automatizada.
<b>Capacidad</b>	Cumplir con enlatado de 1000 litros mínimo por mes.
<b>Autonomía</b>	La máquina debe trabajar con el apoyo o soporte de máximo 2 operadores.
<b>Tiempo de operación</b>	Trabajo intermitente y rápida calibración para operación.
<b>Mantenimiento</b>	Frecuencia de mantenimiento preventivo trimestral.
<b>Costos</b>	Inversión rentable. Costo 40 ctvs. por cada lata para mantener los precios de venta.
<b>Normas</b>	Cumplimiento de normas establecidas por NTE INEN ISO 2859-1:2009, para verificar estado de latas selladas.
<b>Tamaño</b>	Tamaño de producción estándar de 16 oz y tapa estándar 202 (52 mm de diámetro)

#### **2.4 Limitaciones de diseño**

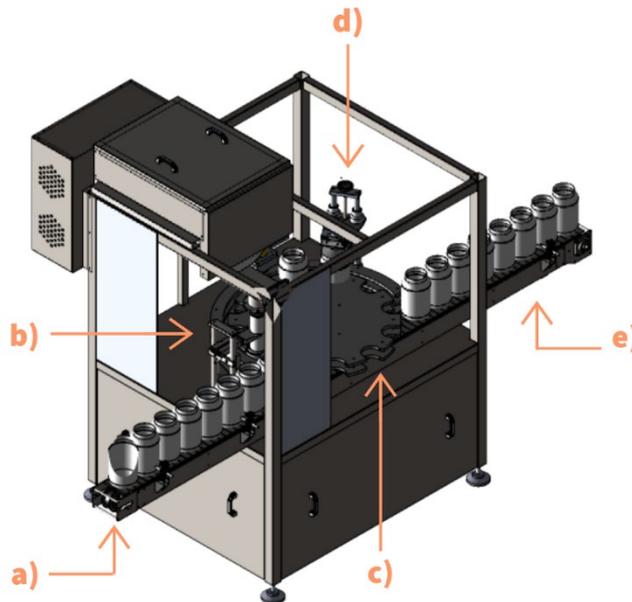
La identificación de limitaciones fue crucial para el avance en el diseño de una máquina enlatadora para una línea de producción de cerveza artesanal. Las limitaciones están detalladas en la Tabla 2.4 y deben ser consideradas en el proceso de diseño.

**Tabla 2.4 Limitaciones del sistema**

<b>Condiciones sanitarias / Materiales</b>	Tapillas y latas esterilizadas para enlatar y evitar la creación de bacterias o hongos. Utilizar materiales y realizar diseño de acuerdo con la norma INEN EN 1672-2 para asegurar la asepsia del proceso.
<b>Tiempo de operación</b>	Tiempo de sellado 5 latas por min.
<b>Inversión</b>	Capital de 10.000\$ para implementación de la línea de enlatado.
<b>Operación</b>	Funcionamiento de maquinaria por lotes.
<b>Espacio</b>	Espacio para maquinaria: 2m de largo por 1m ancho

## 2.5 Diseño conceptual

La Figura 2.6 muestra un boceto inicial del diseño de la máquina enlatadora, incluyendo componentes principales como la entrada de materia prima, bandas transportadoras, sistema de posicionamiento por cruz y mecanismo de enlatado mediante mandril.



**Figura 2.6 Diseño conceptual**

Para continuar con el desarrollo del diseño de la máquina enlatadora, fue necesario identificar las etapas involucradas en el proceso de enlatado y seccionarlas para abordar y resolver los problemas planteados.

- a) Transporte inicial de lata.
- b) Sistema de caída de tapa.
- c) Sistema posicionador.
- d) Etapa de sellado.
- e) Transporte de producto final.

Se busca cumplir con los requisitos técnicos y limitaciones del cliente y brindar una solución viable para la producción de cerveza artesanal. Se identificó un tamaño óptimo de lote de 1000 litros al mes para aprovechar al máximo los recursos y satisfacer la demanda. El diseño propuesto es modular, con una estructura abierta para acceder a los componentes y un control fácil de configurar para la producción por lotes. La máquina tendrá la capacidad de sellar 5 latas por minuto, con dimensiones y capacidad para latas de 500 ml.

**Tabla 2.5 Geometría y capacidad de lata sellada**

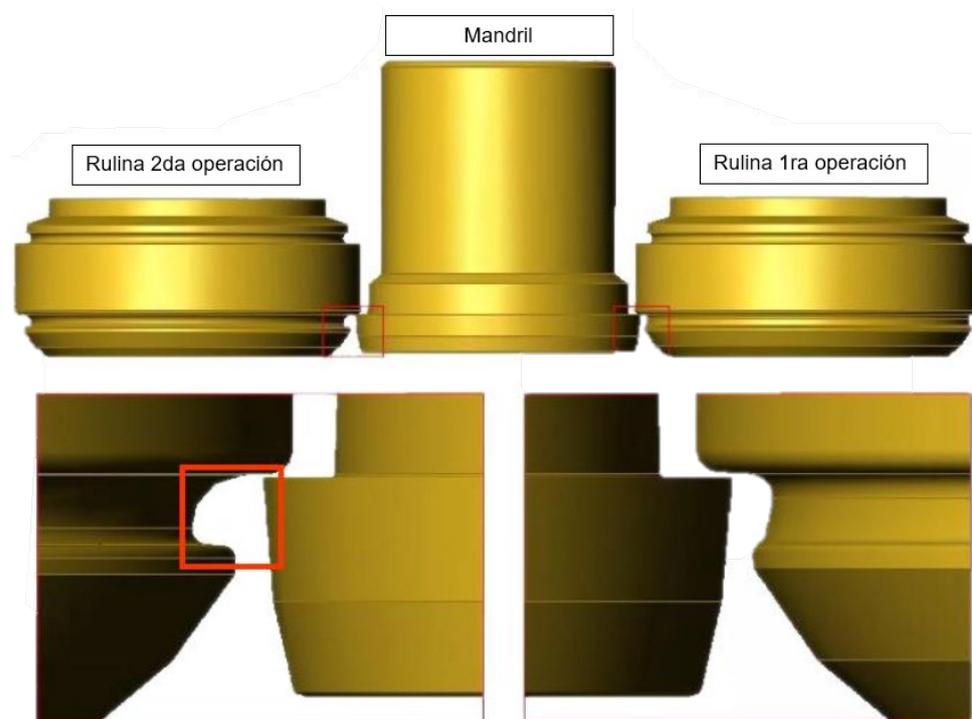
<b>Capacidad [ml]</b>	500
<b>Altura de lata [mm]</b>	168
<b>Diámetro del cuerpo [mm]</b>	66
<b>Diámetro tapa [mm]</b>	52

## **2.6 Parámetros de diseño mecánico**

En esta sección se llevan a cabo cálculos y selección de componentes mecánicos y neumáticos para garantizar la transmisión adecuada de acuerdo con los requerimientos y normativas industriales.

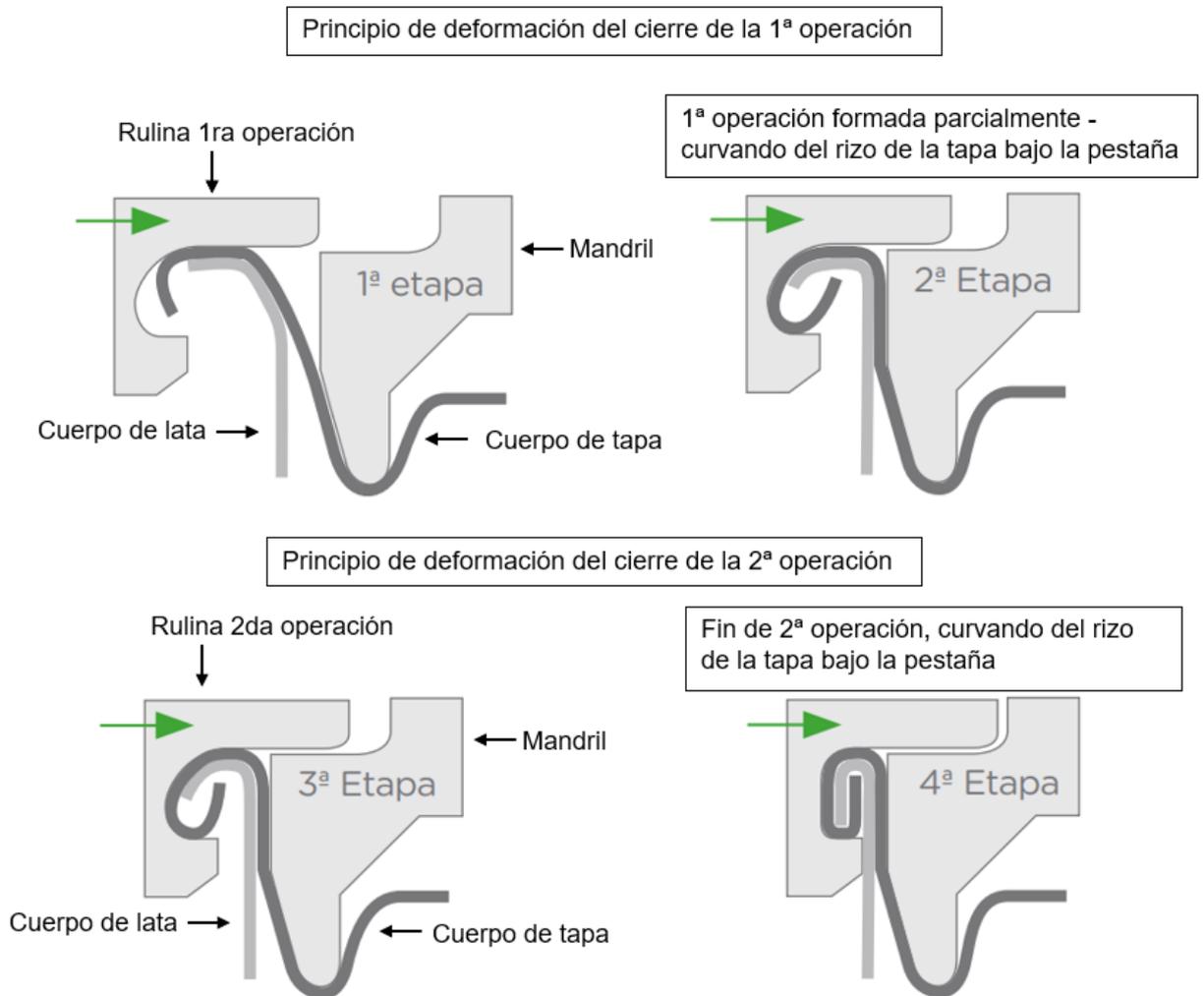
### 2.6.1 Especificaciones iniciales

Se desarrolla un diseño inicial basado en las normativas de MPMA [6] para el cierre de latas, que incluye el uso de un sellado doble operación mediante dos componentes principales: el mandril y los rodillos de cierre Figura 2.7. El mandril debe ajustarse a la geometría de la tapa para garantizar un sellado hermético efectivo.



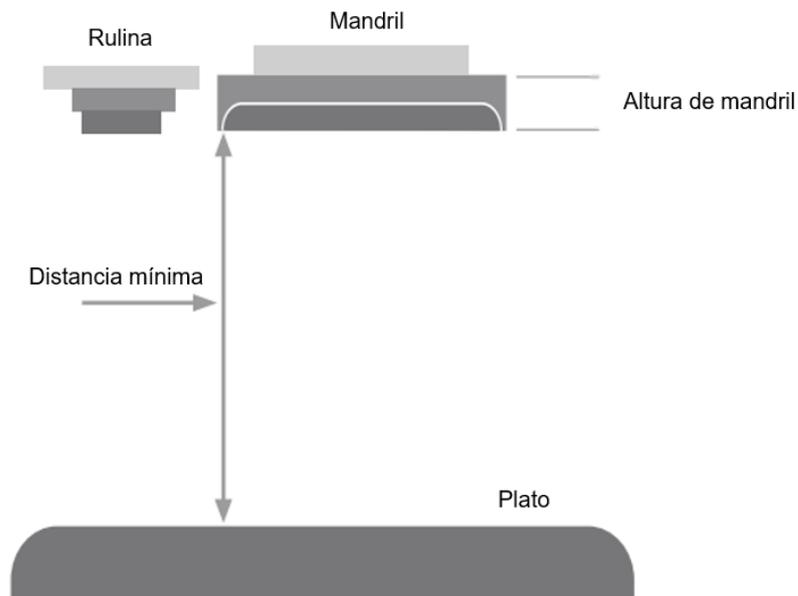
**Figura 2.7 Componentes del sistema de sellado [19]**

Para la operación de doble sellado, el mandril es el encargado de sujetar la lata durante el proceso y se adapta a la forma de la tapa, para esto el mandril tiene un torque dado que se transmite hacia las rulinas. Estos últimos son los que dan la forma del sellado final a la tapa Figura 2.8.



**Figura 2.8 Funcionamiento de operación de doble sellado [20]**

Para garantizar que la lata se mantenga unida al mandril en la operación de cierre, es necesario, calcular la distancia mínima entre mandril y el plato de rotación según la ecuación 2.1 de la referencia [20]. La distancia máxima queda a discreción del fabricante en un rango comercial comúnmente usado es de 60 a 220 [mm] [21]. Para el diseño se usó el rango de 220 [mm] para la distancia máxima.



**Figura 2.9 Distancia mínima de plato con mandril para sellado.**

*Donde:*

*Al: Altura de lata = 168 [mm]*

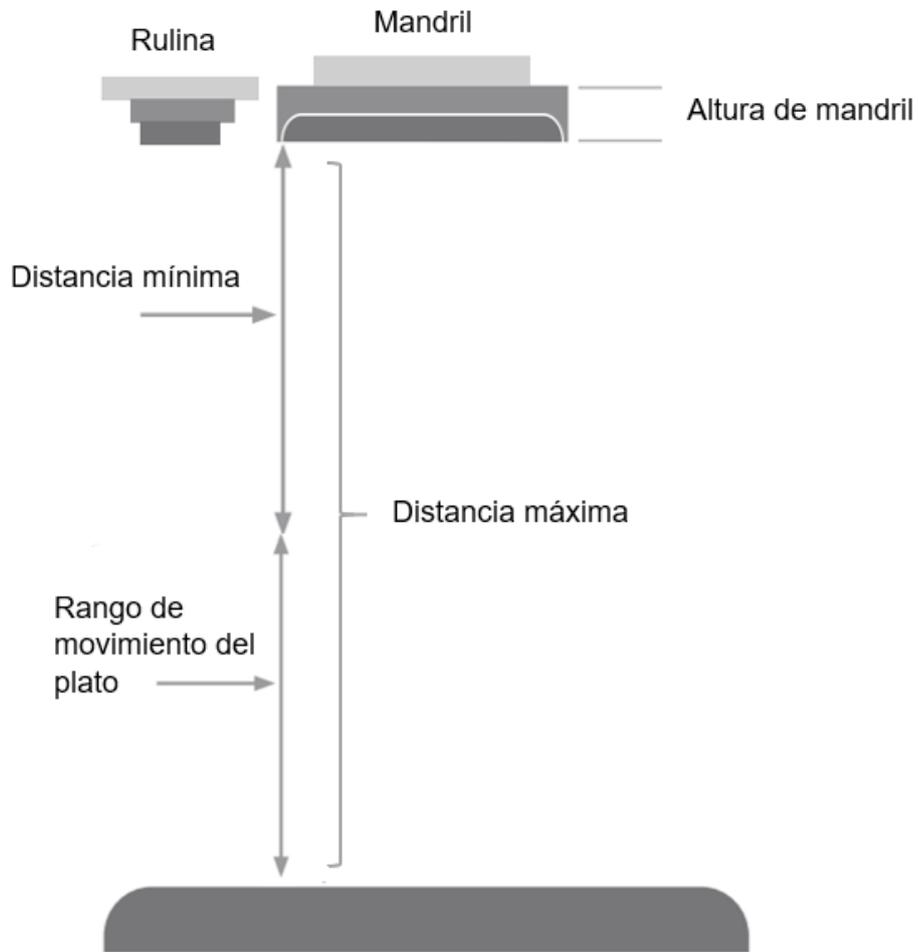
*Am: Altura del labio del mandril = 0,75 [mm]*

*Dp: Deflexión de plato*

Para este caso, se desprecia la deflexión del plato debido a que solo se encuentra sellando la parte superior de la lata en comparación, a platos de compresión donde surge deflexión debido a que sellan la parte inferior.

$$Distancia\ mínima = Altura\ de\ lata - (Am - Dp) \quad (2.1)$$

$$Distancia\ mínima = 168 - (0,75 - 0) = 167.25 [mm]$$



**Figura 2.10 Distancia máxima de plato con mandril para sellado.**

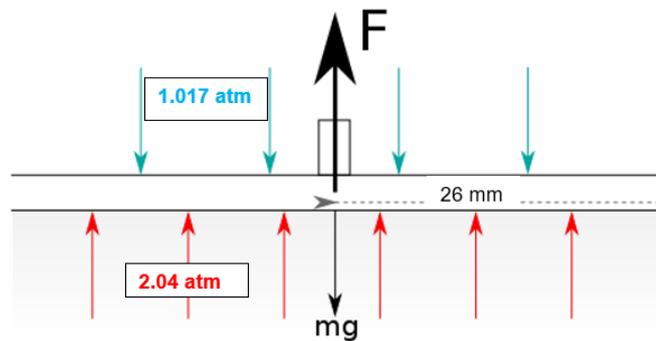
$$Distancia\ máxima = Distancia\ mínima + Rango\ movimiento \quad (2.2)$$

Para este caso, la distancia máxima seleccionada es de 220 [mm] y se obtuvo el rango de movimiento que debería realizar el plato.

$$Rango\ movimiento = Distancia\ máxima - Distancia\ mínima \quad (2.3)$$

$$Rango\ movimiento = 220 - 167.25 = 52.75 [mm]$$

Para determinar la fuerza de empuje de la lata que permita obtener el rango de movimiento de la ecuación ( 2.3), se realizó el cálculo de la fuerza de presión que sufre la tapa durante el sellado, es decir, la fuerza necesaria para subir la lata pero que a su vez mantenga la presión interna necesaria del producto.



**Figura 2.11 Fuerza de empuje en lata**

Donde:

$F$ : fuerza de empuje [N]

$P_i$ : presión interna de la lata = 2.04 atm

$P_a$ : presión ambiente = 1.017 atm

$R$ : radio de la tapa = 26 mm

$m$ : masa de lata = 62 gr

$$F = (P_i - P_a) * A - mg \quad (2.4)$$

$$F = 103655.47 * (0.026^2) * \pi - (0.062) * 9.8$$

$$F = 219.53 [N]$$

Se considera la altura de la lata 168 mm y la fuerza calculada en la ecuación ( 2.4) tenemos que los requerimientos para el actuador de empuje de la lata, en la siguiente Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Requerimiento actuador de empuje de lata**

Requerimiento	Valor
Fuerza de empuje [N]	219.53
Carrera mínima [mm]	52.75

Antes de elegir los elementos de sellado (mandril y rulinas), es importante determinar la geometría deseada de la tapa después de la operación de doble cierre. Esta geometría está regulada por la normativa MPMA y se describe en Tabla 2.7.

**Tabla 2.7 Especificaciones geométricas de lata sellada**

Parámetro	Especificaciones	Figura
<b>A – Longitud de cierre</b>	2.10 mm ± 0.05 mm	<p>El diagrama muestra un cierre de lata sellada con las siguientes dimensiones etiquetadas: A (longitud total del cierre), B (ancho del cierre), C (profundidad de la cubeta), D (gancho de cuerpo), E (gancho de tapa), F (solapado), G (espacio de costura), H (espesor de la tapa de cierre) e I (espesor del cuerpo).</p>
<b>B – Ancho de cierre</b>	1.95 mm ± 0.05 mm	
<b>C – Profundidad de cubeta</b>	6.86 mm ± 0.15 mm	
<b>D – Gancho de cuerpo</b>	1.60 mm ± 0.20 mm	
<b>E – Gancho de tapa</b>	1.60 mm ± 0.20 mm	
<b>F – Solapado</b>	0.90 mm	
<b>G – Espacio de costura</b>	0.05 mm	
<b>H – Espesor tapa de cierre</b>	0.075 mm	
<b>I – Espesor de cuerpo</b>	0.05 mm	

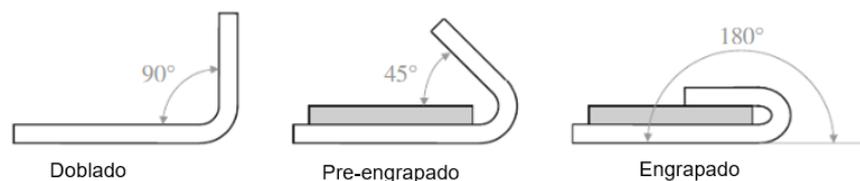
De acuerdo, con la CFIA (*Metal Can Defects*) [22] se requiere que las latas cumplan con ciertos requisitos de geometría para evitar defectos en el sellado. Esta normativa se basa en inspecciones visuales y pruebas de tinción para evaluar la hermeticidad de las latas y detectar defectos de

integridad del envase. Proporciona una terminología y criterios normalizados que deben cumplirse en el sellado de las latas. En la Tabla 2.8 se detalla porcentajes que cumple el diseño de tapa y se detalla el procedimiento en el apéndice B.

**Tabla 2.8 Criterios mínimos a cumplir para la CFIA**

Criterios mínimos de sellado de latas			
Criterio	Porcentaje crítico	Porcentaje mínimo	Porcentaje del diseño
Porcentaje de solapado	25%	45%	63.51%
Porcentaje de gancho-cuerpo	-	70%	87.17%
Porcentaje de compacidad	-	75	75.16%

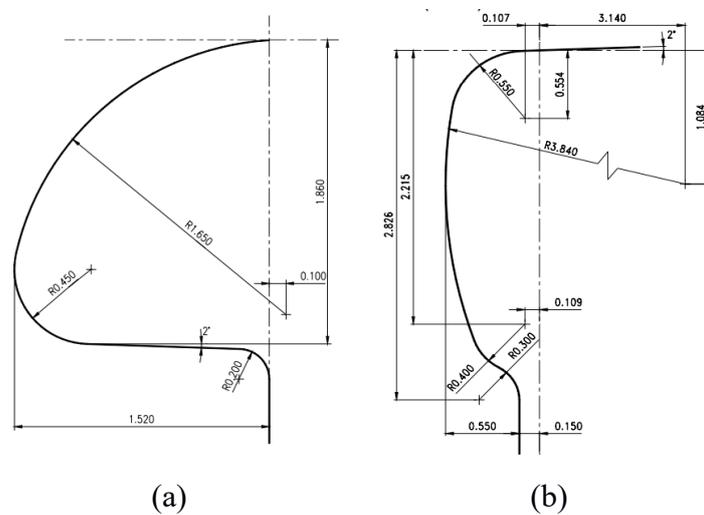
En la Figura 2.13 se especifica el perfil de los rodillos de primera y segunda operación para cumplir con las especificaciones geométricas de la lata. Para lograr el cierre de la tapa, se sigue un proceso de conformado conocido como engrapado o *hemming process* que dobla el borde de una chapa metálica a 180° o más [23]. El engrapado convencional es un proceso de tres pasos: doblado, preengrapado y engrapado final Figura 2.12. Estos tres pasos lo realizan las rulinas con su geometría característica al realizar el engrapado de dos hojas ( exterior: tapa e interior: cuerpo de la lata).



**Figura 2.12 Tres etapas del proceso de engrapado convencional**

Para esto se realiza un diagrama de fuerzas de reacción, usando el punto crítico de contacto [24] para obtener el engrapado final. La fuerza de

engrapado se forma por el doblamiento de la tapa por la forma de la rulina. Para calcular este valor, se utiliza la fuerza de frotamiento que se refiere a la fuerza aproximada que se necesita para doblar metal de acuerdo con la forma de la matriz [25] esto se usa para calcular la fuerza de las ecuaciones ( 2.5)( 2.6), este caso, la rulina. De esta forma requiere una fuerza de acuerdo a la ecuación ( 2.5) para la rulina de primera operación y según la ecuación ( 2.6) para el rulina de segunda operación.



**Figura 2.13 Perfil de rodillos de primera (a) y segunda operación (b)**

Donde:

$F_{rd1}$ : fuerza de doblado de primer rodillo

$F_{rd2}$ : fuerza de doblado de segundo rodillo

$F_{rd1f}$ : fuerza final de doblado de primer rodillo

UTS: resistencia máxima a la tracción = 125 MPa  $\cong$  18130 psi

FS: Factor de seguridad

EC: Espesor de chapa = 0.075 [mm]  $\cong$  0.0030 in

LD: Longitud de doblado = 52 [mm]  $\cong$  2.5 in

RM: Radio de matriz = 0.975 [mm]  $\cong$  0.038 in

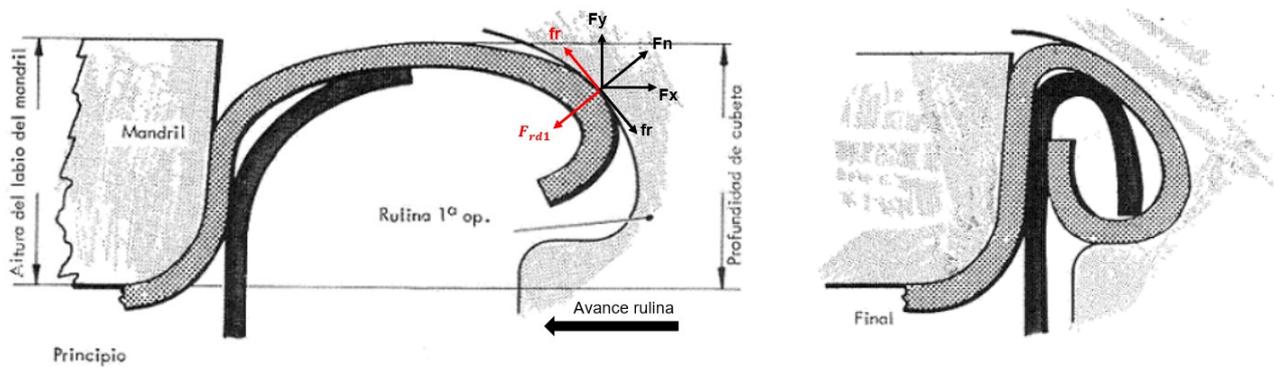
RP: Radio de punzado = 0.45 [mm]  $\cong$  0.018 in

$$F_{rd1} = \frac{EC^2 * UTS * LD}{6000 * (EC + RM + RP)} \quad (2.5)$$

$$F_{rd1} = \frac{0.0030^2 * 18130 * 2.5}{6000(0.0030 + 0.038 + 0.18)} = 0.00115 \text{ tnf}$$

El valor de 4, es asignado para el factor de seguridad

$$F_{rd1f} = F_{rd1} * FS = 0.00115 * 4 = 0.0046 \text{ tnf} \cong 45.11 \text{ N}$$



**Figura 2.14 Fuerzas de reacción en rulina de primera operación para obtener el sellado final [26]**

Donde:

*EC*: Espesor de chapa = 0.05 [mm]  $\cong$  0.0020 in

*LD*: Longitud de doblado = 52 [mm]  $\cong$  2.5 in

*RM*: Radio de matriz = 0.975 [mm]  $\cong$  0.038 in

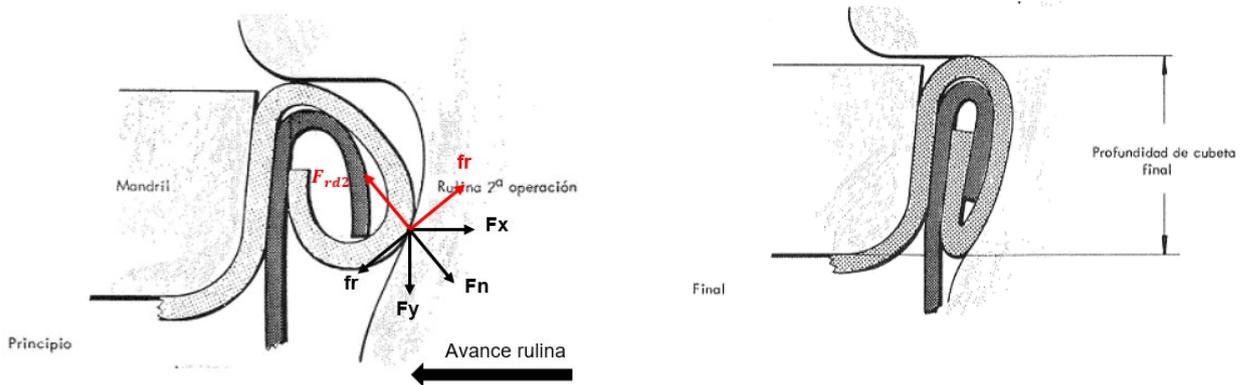
*RP*: Radio de punzado = 0.4 [mm]  $\cong$  0.016 in

$$F_{rd2} = \frac{EC^2 * UTS * LD}{6000 * (EC + RM + RP)} \quad (2.6)$$

$$F_{rd2} = \frac{0.0020^2 * 18130 * 2.5}{6000(0.0020 + 0.030 + 0.016)} = 0.000630 \text{ tnf}$$

El valor de 4, es asignado para el factor de seguridad

$$F_{rd2f} = F_{rd2} * FS = 0.000630 * 4 = 0.00252 \text{ tnf} \cong 24.71 \text{ N}$$



**Figura 2.15 Fuerzas de reacción en rulina de segunda operación para obtener sellado final [26]**

## 2.6.2 Materiales

Se eligió el acero inoxidable AISI 316 como material para la estructura externa de la maquinaria debido a su uso común en la industria alimentaria y papelera [27]. Es importante usar acero inoxidable de alta calidad en la maquinaria de procesamiento de alimentos para evitar la corrosión y garantizar la pureza del producto. Además, el acero inoxidable es fácil de limpiar, rentable y duradero. Las propiedades relevantes se encuentran en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9 Propiedades del acero AISI 316 [28]**

<b>Densidad</b>	8.0 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	1398 °C
<b>Coefficiente de expansión</b>	17.5 μm/m °C (20 – 100°C)
<b>Módulo de rigidez</b>	70.3 kN/mm <sup>3</sup>
<b>Módulo de elasticidad</b>	187.5 kN/mm <sup>2</sup>

La aleación de aluminio 3003 se utiliza comúnmente en la fabricación de latas debido a su fortaleza moderada y resistencia a la corrosión. Además, es fácil de procesar y trabajar gracias a su excelente maquinabilidad.

**Tabla 2.10 Propiedades de aluminio 3003 [29]**

<b>Fuerza tensil</b>	130 MPa
<b>Límite elástico</b>	125 MPa
<b>Resistencia al corte</b>	83 MPa
<b>Resistencia a la fatiga</b>	55 MPa
<b>Módulo elástico</b>	70-80 GPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.33
<b>Elongación</b>	10%
<b>Dureza</b>	35

### 2.6.3 Estimación de torque y velocidad angular para motor.

Se estimó el valor de la aceleración angular del motor realizando un diagrama de cuerpo superior en la Figura 2.16. Para esto, se realiza una sumatoria de torque neto del mandril usando la referencia [30]. Luego, se toma las fuerzas de reacción las rulinas mediante la ecuación ( 2.8), para esto se considera un momento de inercia de un cilindro sólido de eje simétrico para el mandril y su respectiva aceleración angular debido a que encuentra en movimiento.

*Donde:*

$$F_{rd1f}: 40.45 [N]$$

$$F_{rd2f}: 19.12 [N]$$

$$r: \text{radio del mandril} = 25.64 [mm] \cong 0.026 [m]$$

$$m = 0.40 [Kg]$$

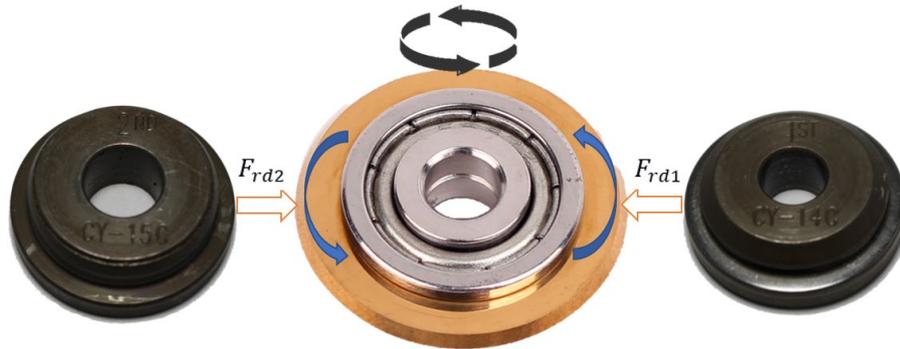


Figura 2.16 Diagrama cuerpo libre sobre mandril en vista superior

$$\sum \tau = I\alpha \quad (2.7)$$

$$F_{rd1} * r - F_{rd2} * r = \frac{1}{2}mr^2 * \alpha \quad (2.8)$$

$$40.45 * 0.026 - 19.12 * 0.026 = \frac{1}{2}(40)(0.026)^2 * \alpha$$

$$\alpha = 4101.92 \frac{rad}{s^2}$$

Se calculó el valor del torque del eje necesario para el mandril, una vez que se obtuvo el valor de la aceleración angular.

$$\tau = I\alpha \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{1}{2}mr^2 * \alpha \quad (2.10)$$

$$\tau = \frac{1}{2}(0.4)(0.026)^2 * (4101.92) = 0.55 [Nm]$$

#### 2.6.4 Selección de motores

El mecanismo de giro del mandril necesita un motor con los siguientes requerimientos:

- La máquina debe cumplir con los requerimientos mínimos de una red doméstica de 100V y 60Hz.
- Para una correcta homogeneización del cierre debe ser al menos 900 rpm [31].

- Torque del eje del mandril se usa un valor de 0.55 [Nm]
- Motor resistente a salpicaduras.

Para la selección del motor necesitamos una velocidad de giro alta y un torque moderado para garantizar el sellado se opta por un motorreductor. Este motor servirá para accionar el giro del mandril necesario para el proceso de sellado. Las características del motorreductor se encuentran en la Tabla 2.11.

**Tabla 2.11 Características del motorreductor**

<b>Motorreductor</b>	<b>Engranaje Helicoidal</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	HF 50A 3B 100L-04E
<b>Potencia nominal [hp]</b>	0.75
<b>Velocidad nominal [rpm]</b>	1026
<b>Par nominal [Nm]</b>	1.6
<b>Frecuencia [Hz]</b>	60
<b>Peso [kg]</b>	16
<b>Precio [USD]</b>	300,00
<b>Corriente de arranque</b>	6
<b>Par de arranque</b>	1.5
<b>Factor de servicio</b>	1.15

Se decidió seleccionar el modelo HF 50A 3B 100L-04E, dado que cumple con los requerimientos de potencia y velocidad; presenta un factor de servicio de 1.15, el cual es adecuado para aplicaciones de 10 horas de trabajo continuo y uniforme, según especificaciones del fabricante Tabla 2.12.

**Tabla 2.12. Factor de servicio de motor eléctrico**

Electric motor drive			
Drive duration	uniform	moderate	heavy
to 0,5 h	0,80	0,90	1,00
to 2 h	0,90	1,00	1,25
to 10 h	1,00	1,25	1,50
to 24 h	1,25	1,50	1,75

### 2.6.5 Selección de rulinas

La selección de las rulinas es crucial para garantizar un sellado hermético de la lata en dos operaciones clave. Para ello, es necesario escoger dos rulinas de acero inoxidable con perfiles complementarios:

- Rulina de primera operación: tiene un perfil profundo y estrecho con una curvatura inferior sobresaliente
- Rulina de segunda operación: tiene un perfil menos profundo y más ancho con una curvatura más acentuada en su borde superior.

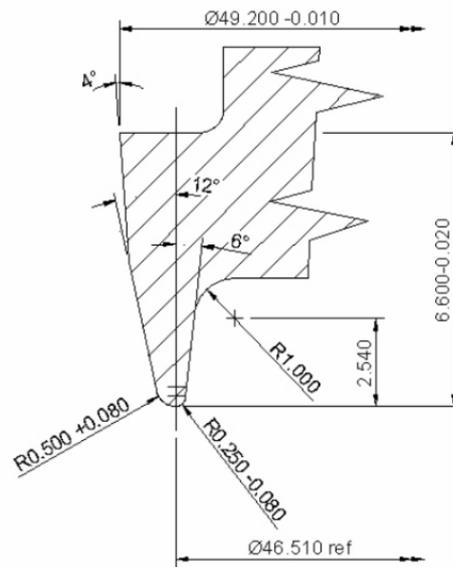
Después de evaluar las características de las diferentes rulinas disponibles, se decidió seleccionar los modelos KL 13215 y KL 13222 de KegLand, ya que cumplen con los requisitos de dureza y tipo de corte para latas con un diámetro interior de 52,27 mm.

**Tabla 2.13 Características de rulinas [32], [33]**

Rulinas	Primera operación	Segunda operación
Imagen	 <p>1ST OP.</p>	 <p>2ND OP.</p>
Modelo	SKU KL13215	SKU KL13222
Material	Acero inoxidable 440C	Acero inoxidable 440C
Dureza [HB]	175	175
Tipo de cierre	OI	OI
Radio curvatura ala de tapa [mm]	1,87	0,4
Radio gancho de tapa [mm]	0,6	-
Radio silueta exterior de cierre [mm]	0,0	3,9
Precio [USD]	45,00	45,00

### 2.6.6 Selección de mandril

La normativa MPMA [6] ofrece dimensiones estándar para el perfil del mandril, de acorde a diámetro estándar 202 (52 mm de diámetro), que puede ser exportado para el mercado local.



**Figura 2.17 Perfil de mandril [6]**

Se seleccionó el mandril con un perfil de sellado con dureza 250 HB que ayuda a minimizar las roturas de labio durante el cierre y permite realizar rectificadas exteriores e inferiores para ajustar el eje de la selladora.

**Tabla 2.14 Características de mandril**

Mandril	Sujeción
Imagen	
Modelo	B64 CDLE/CDL
Material	Acero inoxidable 440C
Dureza [HB]	250
Tipo de cierre	OI
Diámetro exterior [mm]	51,20
Diámetro interior [mm]	18.81
Diámetro silueta exterior de cierre [mm]	47,47
Precio [USD]	74,95

### 2.6.7 Sistema de transmisión

En esta sección se seleccionó como sistema de transmisión a un acople de disco para transmitir potencia del motorreductor hacia el mandril.

Para el procedimiento de selección, la fórmula a emplear para determinar el  $T_N$  de la aplicación es la siguiente [34] .

Donde:

$T_N$  = Par de la aplicación [Nm]

$P$  = Potencia del motor [kW]

$n$  = Velocidad de la aplicación [rpm]

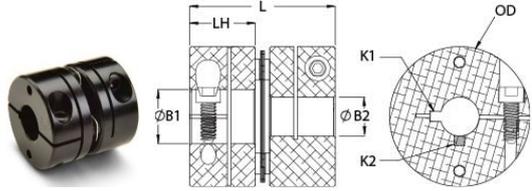
$s$  = Factor de servicio

$$T_N [Nm] = \frac{P_{motor} [kW]}{n [rpm]} * 9549 * s \quad (2.11)$$

$$T_N [Nm] = \frac{1.1}{1193.8} * 9549 * 1.2 = 10.6$$

Además, se verificó que el acoplamiento tiene la capacidad de adecuarse a los ejes, velocidad rotacional requerida y soporta el torque de aplicación.

**Tabla 2.15 Características de acople de eje**

Acople	Disco Simple
Imagen	
Modelo	MDCSK57-28-16-A
Material	Aleación de acero
Chavetero (K1) [mm]	8
Chavetero (K2) [mm]	5
Diámetro (B1) [mm]	28
Diámetro pequeño (B2) [mm]	16
Torque estático [Nm]	50.9
Precio [USD]	452,21

### 2.6.8 Selección de compresor

Se realizó la selección de compresor necesaria para los actuadores neumáticos dentro del diseño, para esto es necesario tomar ciertas consideraciones iniciales y proseguir con los pasos especificados [35], en el apéndice D se presenta en detalle los pasos antes mencionados.

Se estimó estos valores debido a que son la selección de compresor necesaria para los actuadores neumáticos dentro del diseño, para esto es

necesario tomar ciertas consideraciones iniciales y proseguir con los pasos especificados.

### 2.6.9 Selección de actuador de ascenso

De acuerdo a la Tabla 2.6, la fuerza requerida por el mandril para la sujeción de la lata con un valor de:

$$F_{m\acute{a}x} = 219.53N$$

El compresor brinda un valor de presión de:

$$9 [Bar] \cong 900000 [Pa]$$

Se calculó el diámetro mínimo del actuador neumático, para lo cual se considera la fuerza teórica del embolo para cilindro de doble efecto y respectiva superficie útil del émbolo, mediante la siguiente referencia [36]:

*Donde:*

$P =$  Presión de fuente [Pa]

$F =$  Fuerza [N]

$A =$  Área

$D =$  diámetro

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.12)$$

$$A = \frac{F}{P} \quad (2.13)$$

$$\pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F}{P} \quad (2.14)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 219.53 [N]}{\pi * 900000 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}}$$

$$D = 0.018 [m] = 18 [mm]$$

Los requerimientos que debe cumplir el actuador es un diámetro nominal mínimo de 18 [mm] y la carrera de 85,46 [mm], según la Tabla 2.6. Debido

a la disponibilidad de catálogos se selecciona un actuador con un diámetro de 40 [mm] y una carrera de 100 [mm].

**Tabla 2.16 Características de actuador ascenso**

Actuador	Neumático Doble Efecto
Imagen	
Modelo	DNC-40-100-PPV-A
Carrera (mm)	100
Diámetro (mm)	40
Presión operacional (Bar)	0.6 - 12
Precio [USD]	287,09

#### **2.6.10 Selección de actuador para sistema posicionador por cruz.**

Se requiere un actuador giratorio que cumpla con un rango de presión de funcionamiento menor a 9 Bar y con un sistema de tres posiciones para controlar el giro del sistema posicionador.

- Primera posición: recibe la lata desde la banda transportadora.
- Segunda posición: coloca la lata en posición del actuador de ascenso.
- Tercera posición: devuelve la lata a la banda.

Se ha elegido un actuador que cumple con los requerimientos y tiene un sistema de tres posiciones por ángulo de giro.

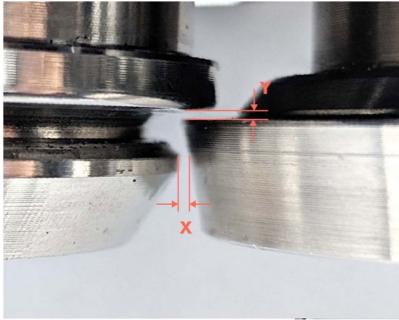
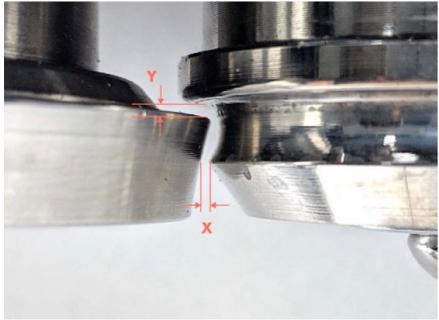
**Tabla 2.17 Características de actuador giratorio**

Actuador	Neumático Doble Efecto
Imagen	
Modelo	DRVS-6-180-P-EX4
Tamaño	6
Ángulo de giro (°)	0 - 180
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Presión funcionamiento (Bar)	3.5 a 8
Precio [USD]	168,25

### 2.6.11 Sistema de transmisión para rulinas

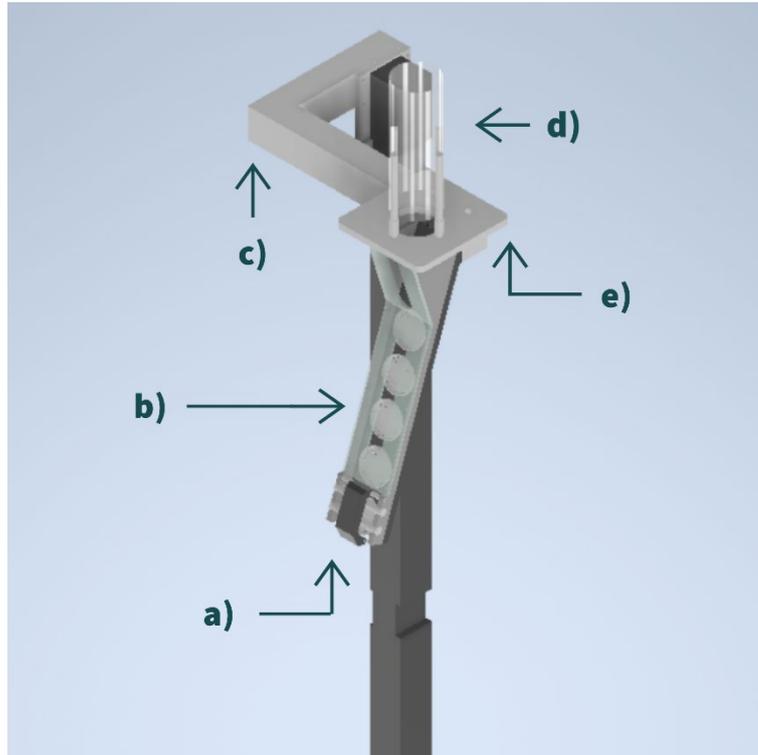
Se implementó un sistema de transmisión de palanca para ajustar la altura y separación de las rulinas de cierre en la operación de sellado. Es importante ajustar correctamente las rulinas de la 1ª y 2ª operación para garantizar que la lata cumpla con las especificaciones Tabla 2.7. En el apéndice E se presenta en detalle los cálculos diseño para el sistema de transmisión.

**Tabla 2.18 Separación entre mandril y rulinas [37]**

Distancias [mm]	Primera operación	Segunda operación
Separación en eje y	0.05 – 0.15	1.2 – 1.3
Separación en eje x	0.3 – 0.7	0.1
Imagen		

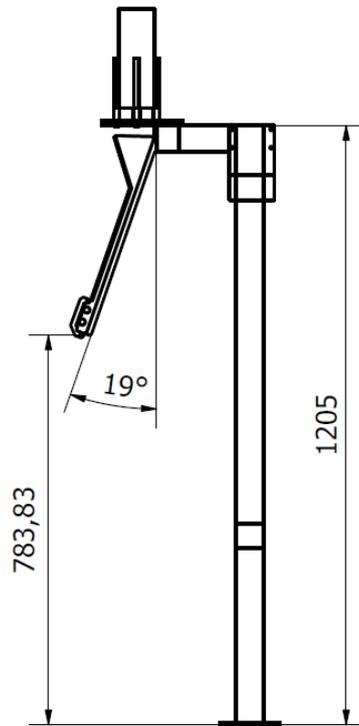
### 2.6.12 Diseño del dispensador de tapas

Se usó de referencia modelo de dispensación de los proveedores *CaskCanning* y *The Big Thompson* [38], [39] para obtener un diseño que constan con las siguientes partes de la Figura 2.18.



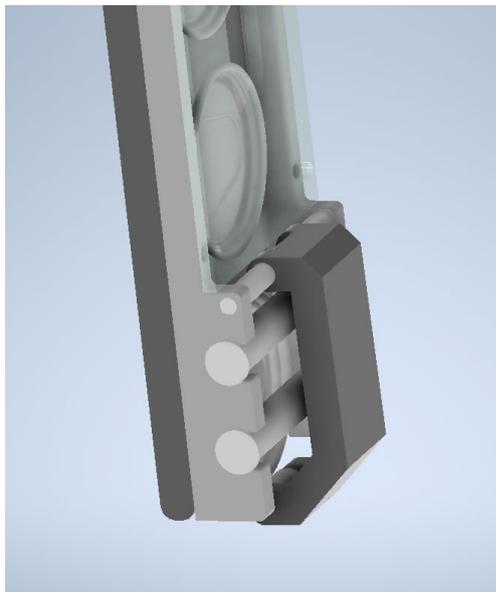
**Figura 2.18** Dispensador de tapas: (a) sostén tapa, (b) almacenaje de tapas, (c) base en forma de L, (d) embudo de tapas, (e) platina dispensadora

El diseño presentó limitantes como tamaño y altura del mecanismo necesarias para dispensado de tapas para latas de 500ml. Otra característica importante que se definió es un ángulo de inclinación de  $19^\circ$  para el almacenaje de tapas, necesario al momento de dispensar las tapas se coloque en la posición deseada (Figura 2.19).



**Figura 2.19 Medidas relevantes del sistema dispensador de tapas.**

Para el sistema de colocación de la Figura 2.20, se usan rodillos y un gatillo de sujeción, este mecanismo funciona por arrastre, es decir, cada vez que pasa la lata el gatillo se levanta y se dispensa la tapa, se usó como referencia el sistema de MCFlex [40].



a)



b)

**Figura 2.20 (a) diseño de sistema de colocación, (b) sistema de colocación de MCFlex.**

### **2.6.13 Selección de banda transportadora**

La cinta transportadora será destinada a transportar cerveza enlatada dentro una máquina selladora. Para seleccionar la cinta transportadora, se tomó en cuenta las características del material a transportar (tamaño, ángulo de reposo y peso) [41], [42]; el proceso se detalla en el apéndice F.

## **2.7 Parámetros de monitoreo y control**

En esta sección se lleva a cabo un monitoreo del proceso de sellado con el fin de supervisar el número de latas a sellar por lote y el estado de los actuadores. También se monitorean el encendido, apagado y movimiento de las latas. Además, se agrega un sistema de seguridad para asegurar una operación confiable.

### **2.7.1 Selección de mecanismo para seguridad de operación**

Monitoreo de guardas metálicas para operación del mecanismo:

La seguridad de la operación de la máquina es una prioridad, por lo que se seleccionará un interruptor de seguridad RFID (Identificación por

radiofrecuencia) para asegurar que la máquina solo funcione cuando las guardas metálicas estén totalmente cerradas y prevenir posibles salpicaduras al exterior. Este interruptor es adecuado debido a su fácil montaje en tres direcciones, su bajo peso de 0.42 kg y su larga duración de  $1 \times 10^6$  ciclos de conmutación.

**Tabla 2.19 Interruptor de seguridad**

<b>Tipo de sensor</b>	Interruptor de proximidad magnético
<b>Nivel de codificación</b>	Alto
<b>Nivel de integridad de seguridad</b>	IP67
<b>Imagen</b>	
<b>Características</b>	Tecnología RFID para la supervisión del accionador y la gran robustez y fiabilidad del cierre mecánico.
<b>Precio</b>	\$450

### 2.7.2 Selección de controlador

Para el control y fiabilidad en el proceso automatizado, se requiere un PLC (Programador Lógico Controlable) que detecte las señales del proceso, procese la programación de control y active los elementos de salida. Se selecciona un PLC Siemens, modelo Simatic S7-1200 1214C Tabla 2.20, para garantizar la escalabilidad y permitir la adición de nuevos transductores, sensores, actuadores, etc.

**Tabla 2.20 Características del PLC**

<b>Modelo</b>	Simatic S7-1200
	
<b>CPU</b>	1214C
<b>Alimentación</b>	110/220 VAC
<b>Entradas digitales</b>	14 a 24VDC
<b>Salidas digitales</b>	10 tipo relé
<b>Memoria</b>	50 kB
<b>Puerto de comunicación</b>	Ethernet RJ45 10/100Mbps
<b>Capacidad de expansión para módulos de señal</b>	Com8
<b>Capacidad de expansión para módulos de comunicación</b>	3

### 2.7.3 Diseño de sistema de monitoreo

Se diseñó un sistema de control y supervisión para la maquinaria para conocer su estado y facilitar la tarea del operador. Incluye pulsadores/botones para arrancar/parar, indicadores de monitoreo y un panel de control para establecer la producción por lotes. Los componentes se detallan en la Tabla 2.21.

**Tabla 2.21 Componentes usados para el sistema de monitoreo y control**

<b>Elemento</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Imagen</b>	<b>Modelo</b>	<b>Función</b>	<b>Precio</b>
<b>Botón de paro de emergencia</b>	Control		AYW401-R	Detener el sistema completo en caso de emergencia.	\$41,82
<b>Pulsador de marcha</b>	Control y monitoreo		LAY4-BW3361	Inicia el uso de las bandas transportadoras y el sistema de sellado.	\$10,00
<b>Pulsador de paro</b>	Control		3SB3646-0AA21	Detener el funcionamiento de la banda transportadora.	\$30,81
<b>Pulsador iluminado</b>	Control y monitoreo		XB5AW36B5	Reinicio del sistema y aviso sobre la eliminación de protecciones de seguridad.	\$19,84
<b>Luces piloto</b>	Monitoreo		XB4BVM3	Mostrar el estado de encendido de la máquina	\$17,62
<b>Luces piloto</b>	Monitoreo		9001KP35LRR 9	Mostrar el problema/fallo en funcionamiento de la máquina.	\$27,34
<b>Indicador de caudal</b>	Control y monitoreo		FS5021-I-F1-X	Sensor indicador y transmisor de caudal.	\$112,00
<b>Transmisor de posición</b>	Control y monitoreo		72189524 - EX	Sensor de transición de posición de giro en grados.	\$52,90
<b>Transmisor de velocidad</b>	Control y monitoreo		ST420	Sensor transmisor de velocidad de banda.	\$27,82
<b>Transmisor de posición</b>	Control y monitoreo		LJC30A3-H-Z/BX	Sensor transmisor de posición para entrada a posicionador por cruz.	\$23,23

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo se enfoca en el diseño 3D de una máquina selladora de latas, que consta de un sistema de dispensado de tapas, un sistema de posicionador y sellador, un circuito neumático y una estructura. Se incluyen análisis estructurales para las partes críticas y se muestra la programación eléctrica y de control mediante simulación del circuito neumático, así como el diagrama de conexiones eléctricas.

### 3.1 Diseño mecánico

En la Figura 3.1 se ilustra la máquina selladora de lata en Inventor. Este programa permitió realizar análisis estructurales para los componentes mecánicos, mismos que serán presentados en los siguientes apartados.

La máquina diseñada cuenta con un dispensador de tapas, donde la lata debe estar alineada para que la tapa se suelte en la posición correcta. La parte importante es el sistema de sellado de la máquina, aquí por medio un sistema de desplazamiento en cruz se coloca la lata en posición para proceder a ser sellado, el giro lo proporciona el mandril mediante el motorreductor y tanto las rulinas de cierre como ascenso de lata ocurren mediante actuadores neumáticos.

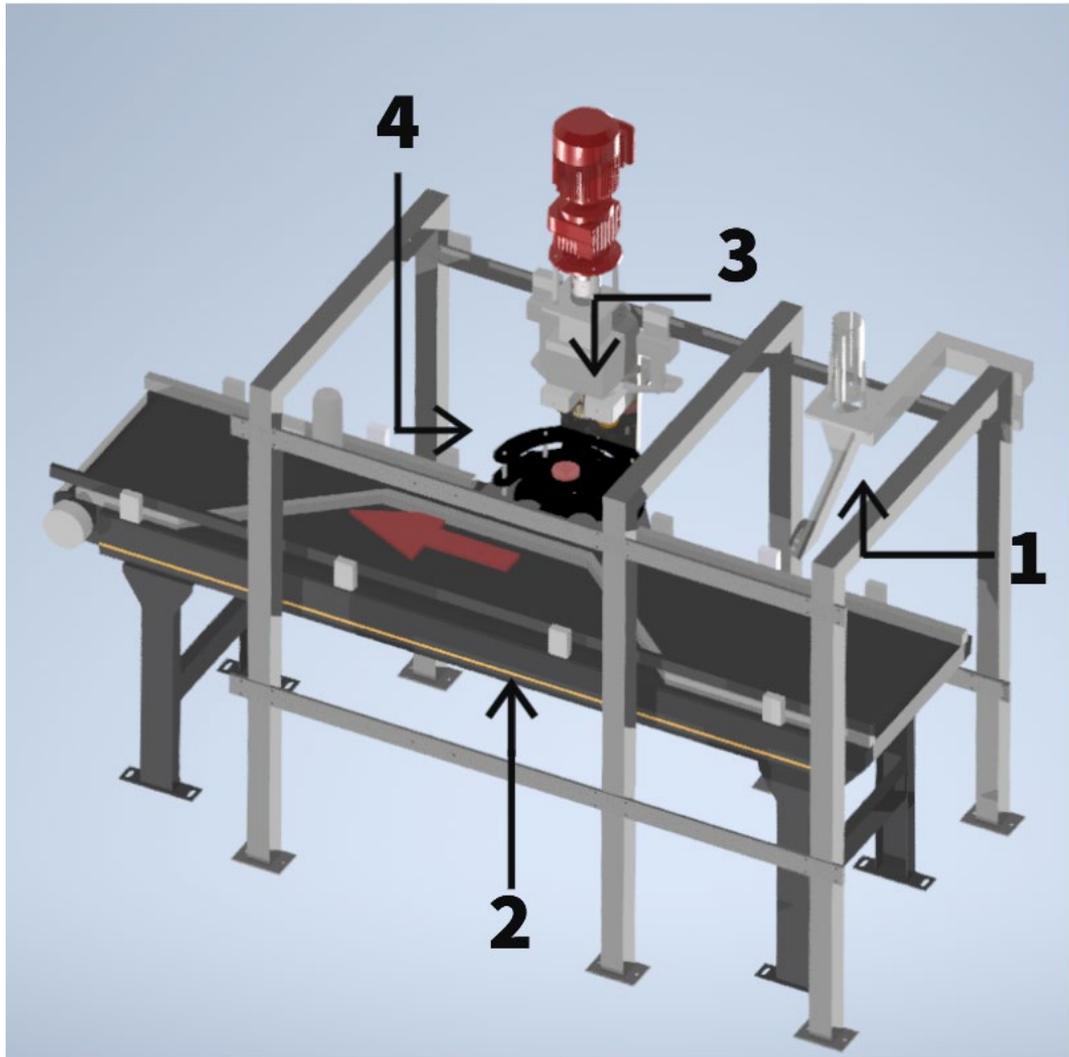
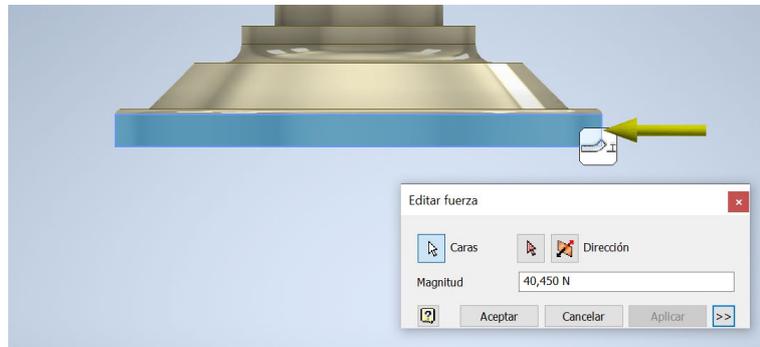


Figura 3.1 Diseño 3D de la máquina selladora de latas: (1) Sistema de dispensado de tapas, (2) Banda transportadora, (3) Sistema de sellado y (4) Posicionador por cruz.

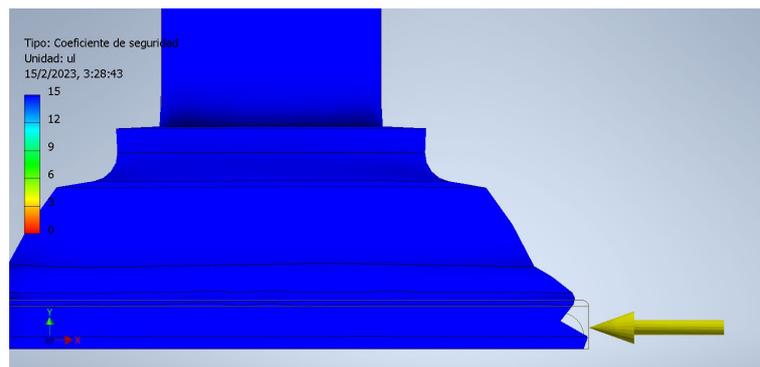
### 3.1.1 Análisis estructural

Se realizó un análisis estructural del mandril de acero inoxidable 440C en el cual se simularon las fuerzas que van a ejercer las rulinas en la operación de sellado. Para la aplicación de fuerza de rulina de primero operación 40.45 [N] en la Figura 3.2, el sistema nos da un factor de seguridad de cerca del 15 en la Figura 3.3, mientras que para la aplicación de fuerza de la ruina de segunda operación que es 19.12 [N] en la Figura 3.4 el sistema nos arroja un factor de seguridad de 15 en la Figura 3.5. De

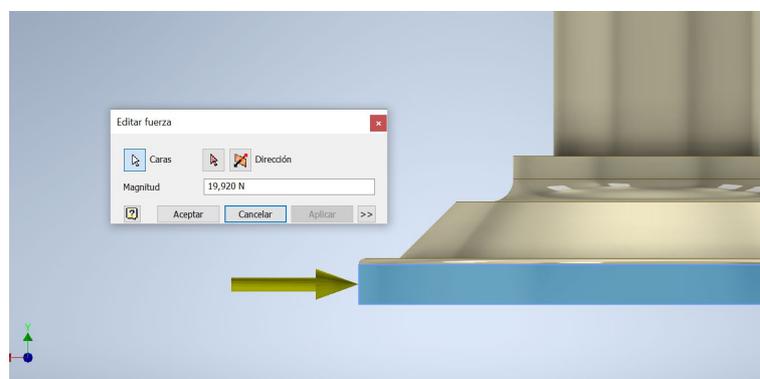
esta forma, se estableció que el sistema de sellado va a soportar las cargas que va a estar sometido y es confiable para la operación.



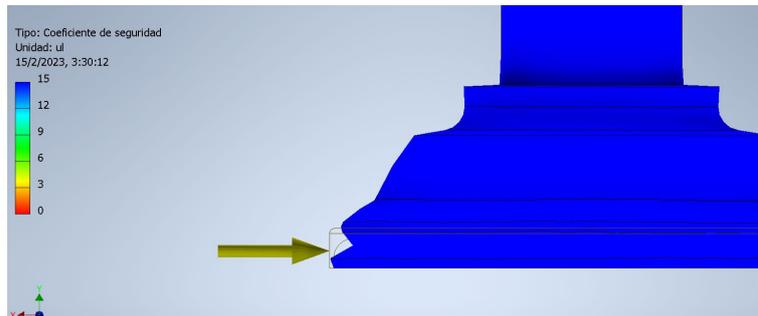
**Figura 3.2 Aplicación de fuerza de primera operación en mandril.**



**Figura 3.3 Factor de seguridad para la aplicación de fuerza de primera operación en mandril.**



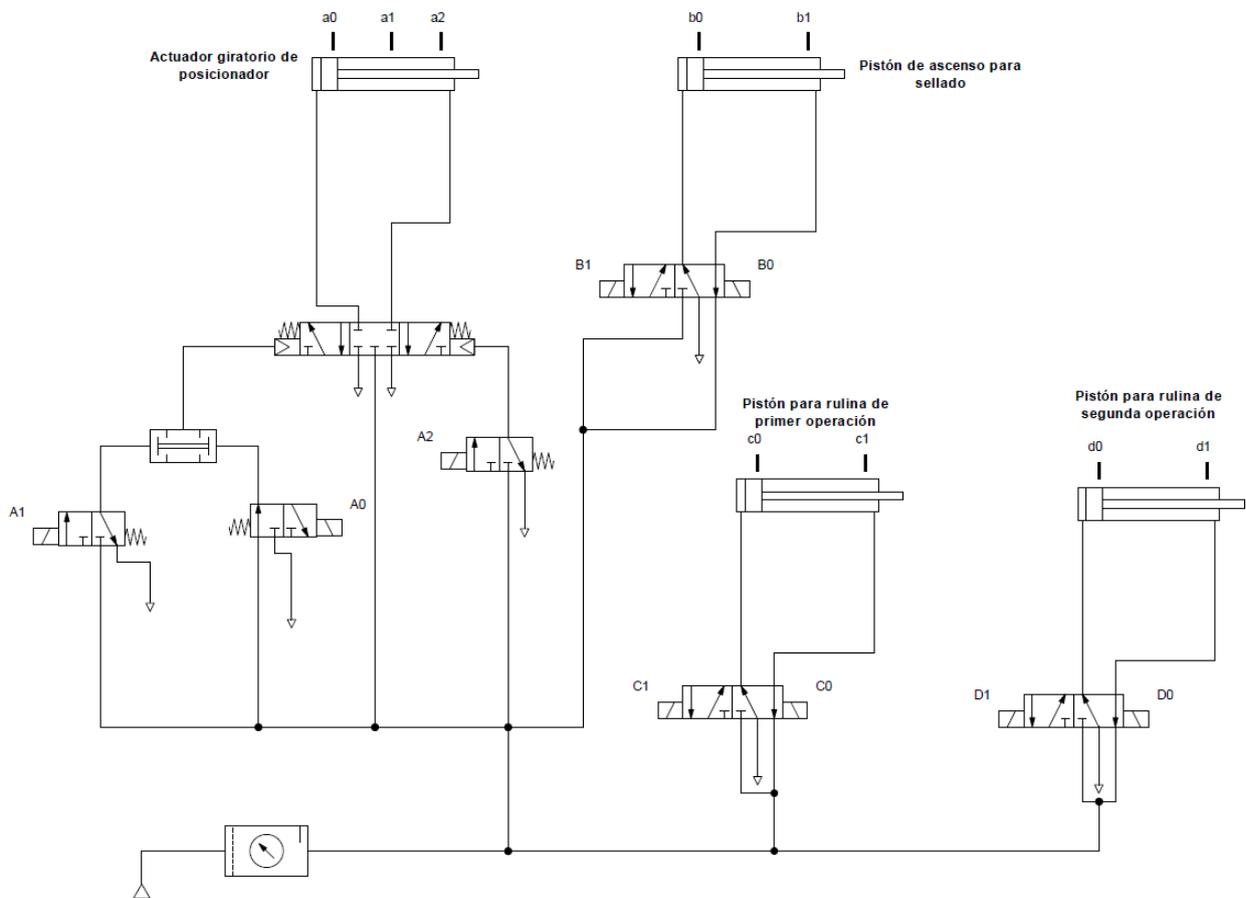
**Figura 3.4 Aplicación de fuerza de segunda operación en mandril.**



**Figura 3.5 Factor de seguridad para la aplicación de fuerza de segunda operación en mandril.**

### **3.1.2 Circuito neumático**

Según lo detallado en el Apéndice G, se diseñó un circuito neumático capaz de controlar el sistema posicionador y sellado de la lata. En la Figura 3.6 se detalla el circuito diseñado para el sistema de sellado de latas, el cual consiste en cuatro actuadores neumáticos: un actuador giratorio de  $180^\circ$  y tres pistones que uno corresponde al sistema de ascenso de la lata y los otros dos restantes para el sistema de transmisión de las rulinas. El actuador giratorio dispone de tres sensores de final de carrera: uno representa el giro en  $0^\circ$ , el otro a  $90^\circ$  y el último a  $180^\circ$ . Para los circuitos neumáticos se usan válvulas solenoides para posicionarlos de acuerdo al diagrama de desplazamiento de la Figura G.1.



**Figura 3.6 Circuito neumático de la máquina selladora**

### 3.2 Costos de consumo de aire

El análisis consistió en calcular el consumo de aire en un sistema con dos pistones de las rulinas y un actuador giratorio para el posicionador por cruz, utilizando la calculadora de Festo y considerando los parámetros de los actuadores Tabla 2.16, Tabla E.2; y un número de ciclos de trabajo de 1200 por hora. Además, se dispone un diámetro de tubo de 2 mm con un largo de 1000 mm y se obtuvo un consumo de aire de  $0.06 \text{ m}^3/\text{min}$ . El costo anual se estimó en \$369. Además, se calcularon los costos energéticos utilizando el compresor de la Tabla D.4 y conociendo el costo del kW en Ecuador, obteniendo un costo de  $1.1 \text{ ctvs}/\text{m}^3$ .

**Consumo de aire** ⓘ

por Minuto                      por día                      Por año

0.06 m<sup>3</sup>    28.53 m<sup>3</sup>    7417.98 m<sup>3</sup>

**Costos energéticos**  Ahorro de energía ⓘ

Precio ↔ Por año

0.011 \$ /m<sup>3</sup>    81.60\$

**Utilización**

Presión de trabajo                      Horas de trabajo por día                      Días laborales al año

9 bar    8 h    260 d

**Figura 3.7 Consumo de aire de los actuadores neumáticos de la máquina selladora.**

### 3.3 Especificaciones de la máquina selladora de latas

A continuación, en la Tabla 3.1, se presentan las condiciones de trabajo de la máquina selladora de latas diseñada:

**Tabla 3.1 Especificaciones de trabajo de la máquina selladora**

Especificaciones	
<b>Tamaño de latas</b>	500 ml
<b>Fuente de alimentación</b>	220 V
<b>Consumo de aire</b>	0.06 m <sup>3</sup> /min para 1200 ciclos de sellado por hora.
<b>Velocidad de sellado</b>	10 latas/min – 0.5 m/s

### 3.4 Plan de mantenimiento preventivo

El plan de mantenimiento incluido en la Tabla 3.2 describe las tareas programadas para asegurar el buen funcionamiento de la máquina y su frecuencia recomendada. Se sugiere calibrar el mecanismo de rulinas semanalmente y cambiar las mangueras al menos una vez al año como parte de esta mantención.

**Tabla 3.2 Plan de mantenimiento preventivo para máquina selladora**

<b>Actividad</b>	<b>Periodicidad</b>
<b>Limpieza externa de componentes y estructura</b>	Semanal
<b>Verificación de presión aire del compresor</b>	Semanal
<b>Limpieza y calibración de mecanismo de rulina</b>	Semanal
<b>Limpieza y verificación de tensión de la banda transportadora</b>	Semanal
<b>Limpieza regular del mototambor</b>	Semanal
<b>Lubricación y verificación de cojinetes/engranajes de motorreductor</b>	Quincenal
<b>Inspección y alineación de eje/acoples</b>	Quincenal
<b>Inspección de sistema neumático para detección de fugas de aire.</b>	Quincenal
<b>Pruebas de funcionamiento de válvulas/actuadores neumáticos</b>	Quincenal
<b>Limpieza y calibración de sensores</b>	Quincenal
<b>Limpieza de sistema eléctrico</b>	Trimestral
<b>Mantenimiento del sistema de control de presión</b>	Trimestral
<b>Mantenimiento del sistema de control de sensores y actuadores.</b>	Trimestral
<b>Reemplazo de mangueras y conexiones de circuito neumático</b>	Anual

### **3.5 Planos eléctricos**

En la Figura 3.9 muestra la conexión entre los elementos de control y la parte neumática. Mientras que en la Figura 3.8 se observa las conexiones del controlador PLC con sus respectivos sensores, y actuadores correspondientes a los solenoides de cada válvula.

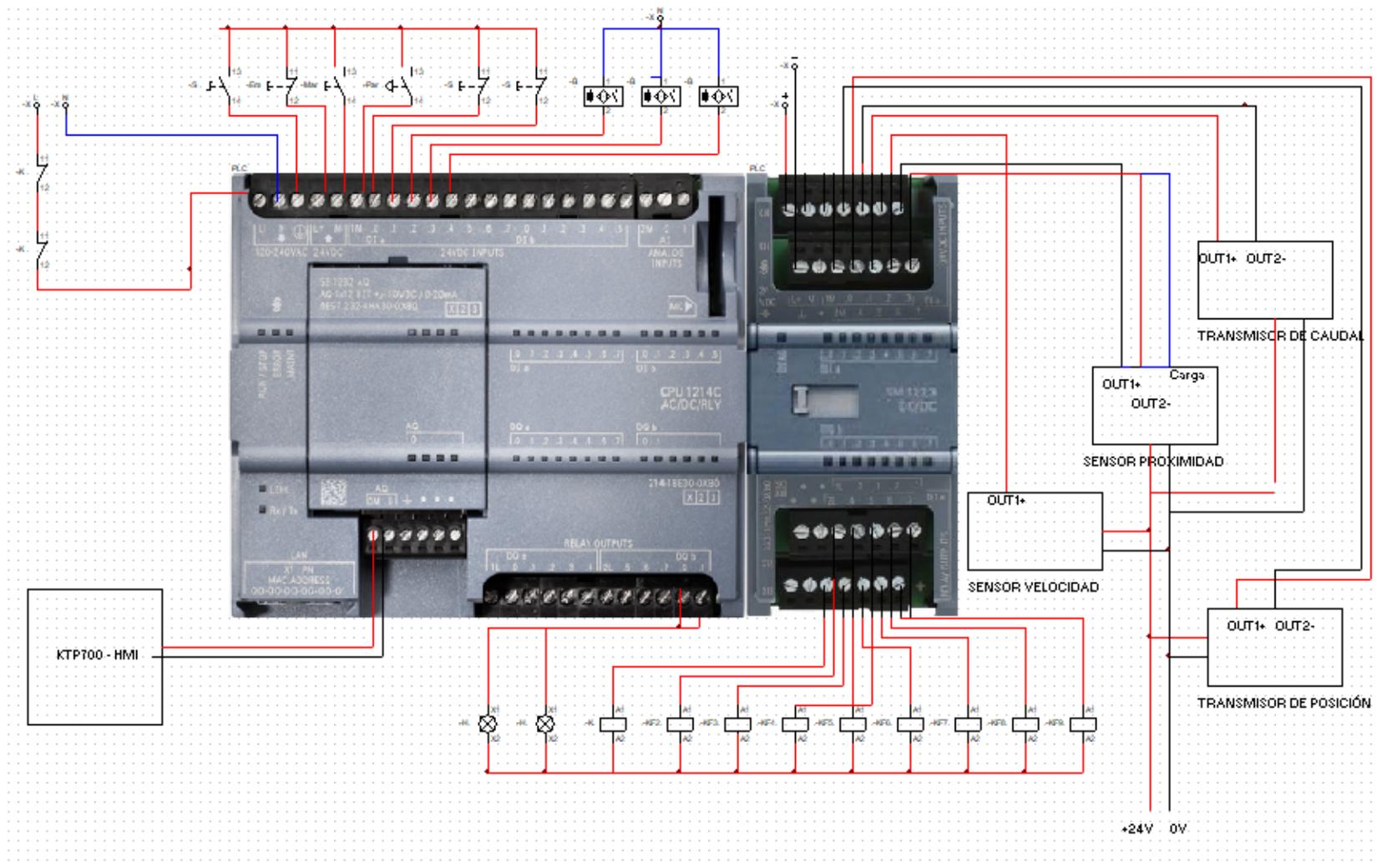


Figura 3.8 Conexiones eléctricas del controlador

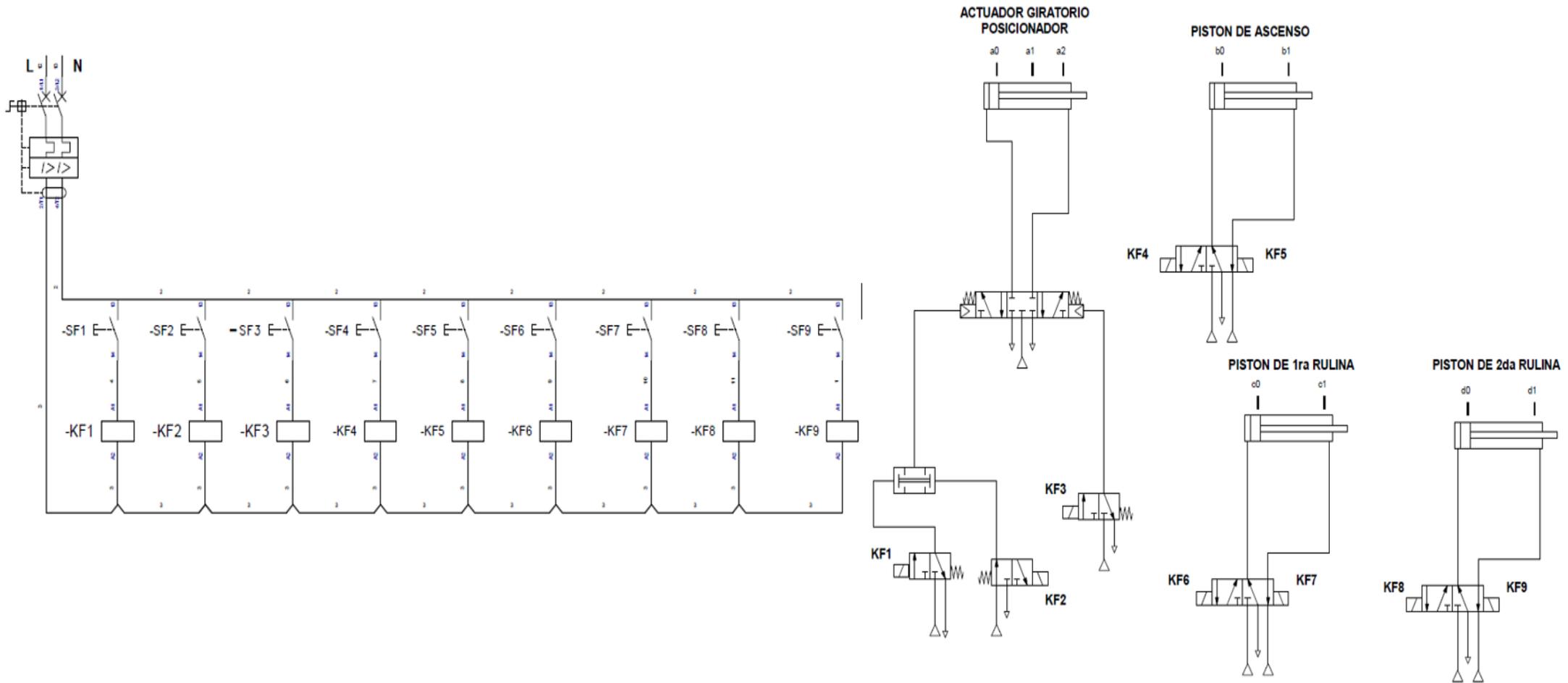


Figura 3.9 Conexiones de sistema de control con componentes neumáticos

### **3.6 Análisis de costos**

En la Tabla 3.7 se presenta la suma total de los rubros considerados para la fabricación de la máquina, que están separados en categorías mecánica, neumática, eléctrica y de control, así también gastos varios que incluyen diseño como mano de obra e instalación.

Para la parte mecánica en la Tabla 3.3 implica los costos de la selección de componentes y el diseño de piezas específicas que implica un costo adicional por el proceso de fabricación y mecanizado.

**Tabla 3.3 Cotización de rubros del sistema mecánico**

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio UNIT (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
<b>Mecánico</b>	Motorreductor HF 50A 3B 100L-04E	1	u	\$ 300,00	\$ 300,00
	Rulina primer operación acero inoxidable 440C SKU KL13215	1	u	\$ 45,00	\$ 45,00
	Rulina segunda operación acero inoxidable 440C SKU KL13215	1	u	\$ 45,00	\$ 45,00
	Mandril B64 CDLE/CDL Acero inoxidable 440C	1	u	\$ 74,95	\$ 74,95
	Mototambor DM 0080	1	u	\$ 930,23	\$ 930,23
	Banda transportadora BM 8420 recto	1	u	\$ 150,00	\$ 150,00
	Acople de eje MDCSK57-28-16-A Aleación de acero	1	u	\$ 407,47	\$ 407,47
	Fabricación y mecanizado dispensador de tapas	1	u	\$ 165,00	\$ 165,00
	Fabricación y mecanizado sistema posicionador por cruz	1	u	\$ 80,00	\$ 80,00
	Fabricación y mecanizado estructura de sujeción para mecanismos de sellado	1	u	\$ 180,00	\$ 180,00
	Fabricación y mecanizado sistema de transmisión de fuerza para rulina	1	u	\$ 150,00	\$ 150,00
	Rieles para banda transportadora	1	u	\$ 50,00	\$ 50,00
	Elementos de sujeción (Pernos, arandelas, tuercas)	1	u	\$ 100,00	\$ 100,00
Materiales y construcción de estructura	1	u	\$ 800,00	\$ 800,00	

Para la parte neumática de la Tabla 3.4, se consideran todos los elementos dentro del circuito neumático desde el compresor, actuadores neumáticos, válvulas y mangueras.

**Tabla 3.4 Cotización de rubros del sistema neumático**

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio UNIT (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
<b>Neumático</b>	Pistón de ascenso DNC-40-100-PPV-A	1	u	\$ 287,09	\$ 287,09
	Pistón de transmisión de fuerza rulina DNC-32-25-PPV-A	2	u	\$ 83,99	\$ 167,98
	Actuador neumático giratorio DRVS-6-180-P-EX4	1	u	\$ 168,25	\$ 168,25
	Válvula 5/3 normalmente cerrada VUWG-L10A-P53C-M3	1	u	\$ 96,13	\$ 96,13
	Válvula 3/2 normalmente cerrada VUVS-LT20-M32C-MD-G18-F7-1C1	3	u	\$ 84,78	\$ 254,34
	Válvula 5/2 monoestable VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S	3	u	\$ 60,12	\$ 180,36
	Válvula de simultaneidad ZK-PK-3	1	u	\$ 37,42	\$ 37,42
	Unidad de mantenimiento MSB4 - 531029	1	u	\$ 126,01	\$ 126,01
	Compresor 8119500LEV517	1	u	\$ 318,21	\$ 318,21
	Tubería	3	u	\$ 30,00	\$ 90,00
	Abrazaderas para tuberías	3	u	\$ 6,90	\$ 20,70

Para la parte del sistema de control y eléctrico Tabla 3.5 , se consideran todos los elementos dentro de control desde el PLC, sensores y conexiones eléctricas necesarias.

**Tabla 3.5 Cotización de rubros del sistema de control y eléctrico**

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio UNIT (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
<b>Control y eléctrico</b>	PLC Simatic S7-1200	1	u	\$ 667,74	\$ 667,74
	Módulo de extensión 6ES7222-1HF30-0XB0 SM 1222	1	u	\$ 100,00	\$ 100,00
	Variador de Frecuencia Siemens SV20	1	u	\$ 232,00	\$ 232,00
	Disyuntor diferencial DZ47LE-32 1P+N C25 30mA	1	u	\$ 22,00	\$ 22,00
	Contactador bipolar 220V	1	u	\$ 15,00	\$ 15,00
	Botón de paro de emergencia AYW401-R	1	u	\$ 41,82	\$ 41,82
	Pulsador de marcha LAY4-BW3361	1	u	\$ 10,00	\$ 10,00
	Pulsador de paro 3SB3646-0AA21	1	u	\$ 30,81	\$ 30,81
	Pulsador iluminado XB5AW36B5	1	u	\$ 19,84	\$ 19,84
	Luces piloto XB4BVM3	1	u	\$ 17,62	\$ 17,62
	Luces piloto 9001KP35LRR9	1	u	\$ 27,34	\$ 27,34
	Indicador de caudal FS5021-I-F1-X	1	u	\$ 112,00	\$ 112,00
	Transmisor de posición 72189524 - EX	1	u	\$ 52,90	\$ 52,90
	Transmisor de velocidad ST420	1	u	\$ 27,82	\$ 27,82
	Transmisor de posición LJC30A3-H-Z/BX	1	u	\$ 23,83	\$ 23,83
	Interruptor magnético de seguridad RFID	1	u	\$ 450,00	\$ 450,00
Estructura de soporte	1	u	\$ 100,00	\$ 100,00	

Por último, se consideran los gastos varios Tabla 3.6, que incluye aspectos como diseño, mano de obra e instalación.

**Tabla 3.6 Cotización de rubros adicionales.**

Tipo de sistema	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio UNIT (USD)	Precio Total (USD)
<b>Gastos varios</b>	Diseño, mano de obra	1	GLB	\$ 1 000,00	\$ 1 000,00
	Instalación y puesta en marcha	1	GLB	\$ 800,00	\$ 800,00

**Tabla 3.7 Costos de producción de maquinaria de sellado.**

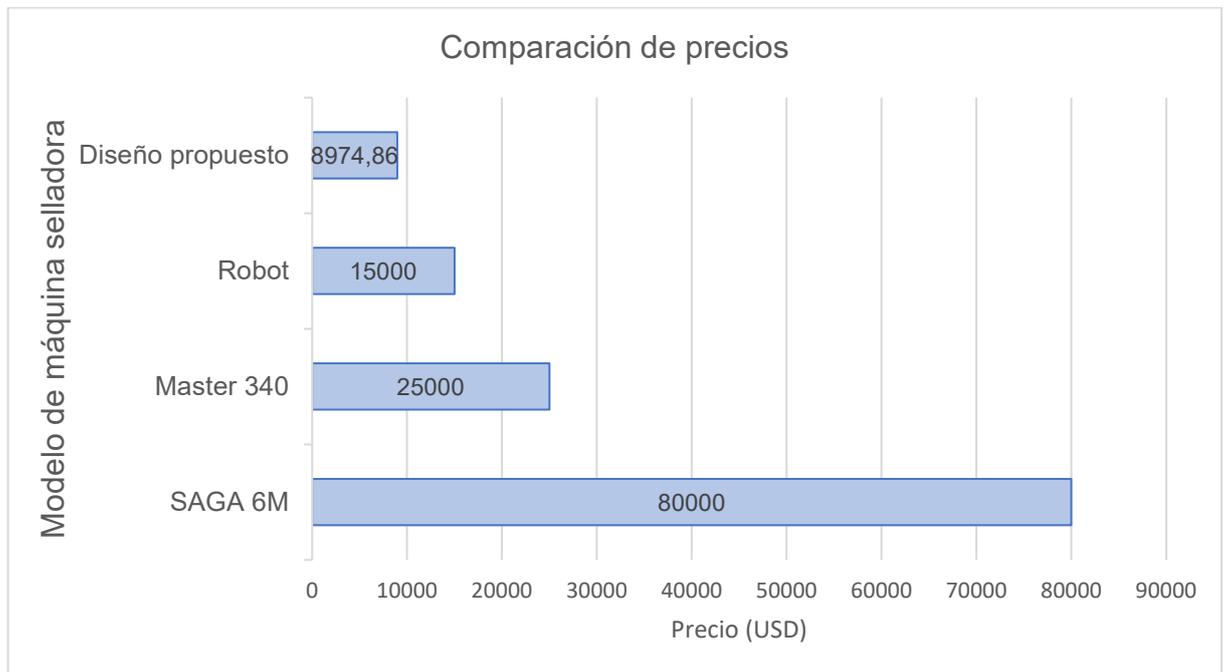
Tipo de sistema	Precio Total (USD)
<b>Mecánico</b>	\$ 3 477,65
<b>Neumático</b>	\$ 1 746,49
<b>Control y eléctrico</b>	\$ 1 950,72
<b>Gastos varios</b>	\$ 1 800,00
<b>Total</b>	<b>\$ 8974,86</b>

A modo de comparación del modelo diseñado con alternativas encontradas en el mercado internacional de maquina selladoras de latas automatizadas.

Entre las máquinas que ofrece el proveedor noruego *JK Somme*, se tiene tres modelos principales para el sellado de latas redondas que se especifica en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Comparativa de máquina similares**

Modelo	Proveedor	Capacidad	Precio
<b>ROBOT</b>	JK Somme	Sellado de 60 latas/min	\$ 15 000,00
<b>MASTER 340</b>	JK Somme	Sellado de 90 latas/min	\$25 000,00
<b>SAGA 6M</b>	JK Somme	Sellado de 600 latas/min	\$80 000,00



**Figura 3.10 Comparativa de precios entre el diseño propuesto y modelos comerciales.**

El modelo presentado está diseñado para el sellado de 10 latas/min con un precio competitivo de \$8.522,12 contando con dispensador de tapas y cierre hermético como la competencia, un precio por encima se encuentra modelo Robot con un sellado de 60 latas/min a \$15 000,00, sin embargo, al precio hay que sumarle el costo de transporte, arancel por importación, impuesto a salida de divisas (5%) y el IVA de 12%, por lo que el precio se incrementa significativamente. Por esta razón, el diseño propuesto a pesar de que ofrece una velocidad menor de sellado tiene la ventaja de ser económico y que se puede producir de manera local.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El diseño realizado resulta en una máquina automatizada para el sellado de latas de aluminio de cuerpo estándar de 500 ml y tapa estándar 202(52 mm de diámetro), que consta de un proceso de sellado por rulinas y dispensador de tapa. Se incorporó materiales y componentes que cumplen con la norma INEN-EN 1672-2 que asegura la asepsia del proceso.
- Se logró cumplir con los requisitos de geometría para evitar defectos en el sellado de acuerdo con los parámetros dados por CFIA. De esta forma, los perfiles de rulinas y mandriles seleccionados permiten obtener un sellado hermético de la cerveza artesanal.
- La máquina selladora diseñada permite optimizar los tiempos de producción al reducir el tiempo de sellado en comparación a la máquina manual. El volumen de producción de envases de 500 ml se incrementó en un 166.67% dado que al realizar de manera manual se lograba producir 60 latas por hora mientras que con la implementación de la máquina se llega a sellar 600 por lata.
- La lógica de control del sistema fue validada mediante la simulación circuito neumático controlado por válvulas solenoide con un software de diseño neumático, de esta forma se puede visualizar el comportamiento y secuencia de desplazamiento de cada actuador neumático, además se realizó las conexiones eléctricas de elementos de entrada y salida conjunto con el controlador. Por último, no se efectuó el monitoreo y control mediante HMI debido a que el diseño realizado únicamente corresponde para tamaño de latas de 500 ml.

- Se emplearon componentes eléctricos y neumáticos para un control sencillo y funcionamiento de los mecanismos que sean pequeños y económicos para su instalación, así también, no requieran grandes costos de mantenimiento ni reparación.
- La implementación de la máquina diseñada sería una excelente inversión, ya que su costo es comparable a los de otras máquinas similares disponibles en el mercado internacional, pero con una velocidad de funcionamiento menor. Además, se espera que la reducción en los costos de producción en un 50% permita recuperar el capital invertido en un plazo moderado.

## 4.2 Recomendaciones

- El presente trabajo se consideró el tamaño de 500 ml para una lata de cerveza. Sin embargo, para la construcción de la máquina se recomienda modificar el mecanismo de dispensado de tapas para que se pueda adaptar a los diferentes tamaños estándar de latas en el mercado. Para esto se puede incorporar un mecanismo de piñón-cremallera que regule la altura del dispensador con un sensor de posición transmisor, cuya señal sea procesada por el sistema de control y ajuste al mecanismo a la altura correspondiente.
- Se puede mejorar la eficiencia de operación de la máquina, conviene identificar y reducir al mínimo los tiempos muertos o esperas innecesarias, como es el caso del actuador neumático giratorio (DRVS-6-180-P-EX4) que necesita completar un ciclo de trabajo para nuevamente ingresar la lata. Para esto se puede seleccionar un motorreductor que permita el movimiento del mecanismo posicionar por cruz mediante un eje, de esta manera, el sellado de latas va a ser continuo evitando tiempos muertos.
- Para reducir costos del diseño de maquinaria se incorpora una banda universal disponible en el mercado, sin embargo, es posible incorporar una banda de una fila específicamente diseñada para transporte de latas y evitar derrames por velocidad de funcionamiento, aunque esto implique un costo mayor para la maquinaria.
- La precisión y robustez del sistema de transmisión puede mejorar incorporando levas para mover el sistema de rulas, sin embargo, la incorporación de este nuevo mecanismo de transmisión de fuerza implica una inversión mayor.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] “El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador | Revista Industrias.” <https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [2] “El número de marcas de cerveza artesanal crece un 20% en Ecuador.” <https://www.primicias.ec/noticias/economia/marcas-cerveza-artesanal-crecimiento-ecuador/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [3] “Competencia proyecta a Ecuador como destino turístico de la cerveza artesanal – Diario La Hora,” Jul. 03, 2022. <https://www.lahora.com.ec/pais/competencia-proyecta-ecuador-destino-turistico-cerveza-artesanal/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [4] “Latable, empresa dedicada a enlatar cerveza y bebidas artesanales | Revista Líderes,” May 14, 2019. <https://www.revistalideres.ec/lideres/latable-emprendimiento-enlatado-bebidas-domicilio.html> (accessed Jan. 31, 2023).
- [5] “NTE INEN 2262,” Nov. 2013.
- [6] “Recommended Industry Specifications Beer and Carbonated Soft Drink Cans,” 2004. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.mpma.org.uk/download/beer-carbonated-soft-drinks-cans/>
- [7] “Estudio de Mercado Cerveza Artesanal en Ecuador,” Jul. 2014.
- [8] “Wilco Cervecería Artesanal, auténtico sabor de Vilcabamba – Blog,” Jan. 04, 2021. <https://blog.primerreporte.com/2021/01/04/wilco-cerveceria-artesanal-el-autentico-sabor-de-vilcabamba/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [9] “¿Qué es la cerveza artesanal? • Cervexxa Cervezas Artesanales,” Jan. 08, 2016. <https://www.cervezaartesanal mexicana.mx/que-es-la-cerveza-artesanal/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [10] “Envasado de cerveza - Comac.” <https://www.comacitalia.es/envasado-de-cerveza/> (accessed Jan. 31, 2023).
- [11] “Can Sealer.” <https://www.meatsandsausages.com/canning-equipment/can-sealer> (accessed Feb. 01, 2023).
- [12] B. Naranjo, J. Manuel, G. Masapanta, and J. David, “Diseño y construcción de una máquina para envase y sellado de latas,” Sangolquí, Jan. 2018.

- [13] R. A. León León, A. A. Vigo García, and M. H. Ulloa Castro, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÁQUINA SELLADORA INDUSTRIAL AUTOMATIZADA PARA LATAS DE TIPO REDONDA," *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 8, no. 2, pp. 171–183, Oct. 2021, doi: 10.26495/icti.v8i2.1920.
- [14] "Microcanner home page." <https://microcanner.com/> (accessed Feb. 01, 2023).
- [15] "SAMS V2: Semi Automated Manual System - Cask Global Canning Solutions." <https://www.cask.com/canning-systems/sams-semi-automated-canning-system/> (accessed Feb. 01, 2023).
- [16] "Canning: Automatic 661 Can Filler & Can Seamer Machine for Beer, Cider, Wine, Soft drinks." <https://www.icfillingsystems.com/beer-bottling-machines/automatic-canning-machines/> (accessed Feb. 01, 2023).
- [17] "High Speed Canning Lines — High Capacity Canning Machines." <https://www.icfillingsystems.com/beer-bottling-machines/high-speed-canning-lines/> (accessed Feb. 01, 2023).
- [18] "Selladora de latas de latas de conserva con sistema de inyección de gas - VGS MASTER XL 96UPM - Sapli - con tecnología de vacío." <https://www.directindustry.es/prod/sapli/product-191183-2286427.html> (accessed Feb. 01, 2023).
- [19] "How is a Double Seam made? – Seam School – Craft Seaming – Double Seams Explained." <https://seamschool.com/how-is-a-double-seam-made/> (accessed Feb. 10, 2023).
- [20] "Doble Cierre y parámetros críticos." Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: [https://www.ardaghmetalpackaging.com/userfiles/files/PDFs/we-are-here-to-help/2017-05\\_MBE-CTS-double-seams-poster\\_ES.pdf](https://www.ardaghmetalpackaging.com/userfiles/files/PDFs/we-are-here-to-help/2017-05_MBE-CTS-double-seams-poster_ES.pdf)
- [21] "Máquina Automática De Sellado De Latas Escalonadas - VIZI Packaging Machine." <https://es.automatic-packaging-machine.com/producto/maquina-automatica-de-sellado-de-latas-escalonadas/> (accessed Feb. 10, 2023).
- [22] "Metal can defects: identification and classification - Canadian Food Inspection Agency." <https://inspection.canada.ca/preventive-controls/metal-can-defects/eng/1510763304486/1510763304952> (accessed Feb. 02, 2023).

- [23] J. Shang, L. Wilkerson, and S. Hatkevich, "Hemming of Aluminum Alloy Sheets Using Electromagnetic Forming," *J Mater Eng Perform*, vol. 20, no. 8, pp. 1370–1377, Nov. 2011, doi: 10.1007/s11665-011-9988-y.
- [24] H. Livatyali, A. Müderrisoğlu, M. A. Ahmetoğlu, N. Akgerman, G. L. Kinzel, and T. Altan, "Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-hemming operations using computer aided die design," *J Mater Process Technol*, vol. 98, no. 1, pp. 41–52, Jan. 2000, doi: 10.1016/S0924-0136(99)00304-0.
- [25] "Wiping Die – SheetMetal.Me." <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/wiping-die/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [26] "TEORÍA DEL CIERRE - 1ª parte - MUNDOLATAS." <https://mundolatas.com/teoria-del-cierre-1a-parte/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [27] Patel AD, Dewangan AK, and Bhadania AG, "Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review," *Journal of Material Science & Engineering*, vol. 04, no. 05, 2015, doi: 10.4172/2169-0022.1000191.
- [28] "Stainless Steel 316." <https://www.alloywire.es/products/stainless-steel-316/> (accessed Feb. 02, 2023).
- [29] "ALUMINIO 3003." <https://www.teknika4.com/es/aluminio-3003> (accessed Feb. 02, 2023).
- [30] "10.7 Newton's Second Law for Rotation - University Physics Volume 1 | OpenStax." <https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-7-newtons-second-law-for-rotation> (accessed Feb. 16, 2023).
- [31] J. M. Bolaños Naranjo and J. D. Gómez Masapanta, "Diseño y construcción de una máquina para envase y sellado de latas," Sangolquí, 2018.
- [32] "Replacement Cannular 1st Op Roller | KegLand." <https://www.kegland.com.au/replacement-cannular-1st-op-roller.html> (accessed Feb. 14, 2023).
- [33] "Replacement Cannular 2nd Op Roller | KegLand." <https://www.kegland.com.au/replacement-cannular-2nd-op-roller.html> (accessed Feb. 14, 2023).
- [34] "EGA Catálogo de acople de ejes y cálculos", Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: <https://eganagroup.com/une/wp-content/uploads/Catalogo-UNE-ESP-online.pdf>

- [35] "COMPRESSOR SELECTION & SIZING." Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: [https://www.psgdover.com/docs/default-source/blackmer-docs/training-materials/cb207.pdf?sfvrsn=b86a1445\\_5](https://www.psgdover.com/docs/default-source/blackmer-docs/training-materials/cb207.pdf?sfvrsn=b86a1445_5)
- [36] "Neumática e Hidráulica." <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm> (accessed Feb. 16, 2023).
- [37] "Cannular Compact Canning Machine Instruction Manual - KL10757." Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.manualslib.com/manual/2102029/Kegland-Cannular-Compact-KL10757.html?page=17#manual>
- [38] "CASK MICRO-CANNING SYSTEMS." <https://www.cask.com/canning-systems/> (accessed Feb. 14, 2023).
- [39] "The Big Thompson Crowler Canning System." <https://www.williseuropean.com/breweries/canning-solutions/twin-monkeys-auto-canning/the-big-thompson-crowler-canning-system/> (accessed Feb. 14, 2023).
- [40] "MC FLEX OPERATING INSTRUCTION MANUAL," 2016. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: [https://www.microcannerparts.com/uploads/1/2/9/8/129891054/mc-flex\\_manual\\_52121.pdf](https://www.microcannerparts.com/uploads/1/2/9/8/129891054/mc-flex_manual_52121.pdf)
- [41] D. Mario and S. Gervaso, "DISEÑO DE UNA BANDA TRANSPORTADORA MEDIANTE GUIDE DE MATLAB," Sep. 2013.
- [42] O. Mernissi Oulad Khdar, "SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE UNA CINTA TRANSPORTADORA," May 2020. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: [https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/13429/1/Trabajo\\_fin\\_de\\_grado\\_Omar\\_Mernissi.pdf](https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/13429/1/Trabajo_fin_de_grado_Omar_Mernissi.pdf)
- [43] "Lubricantes de grado alimenticio," Apr. 01, 2020. <https://lubricantesindustriales.cl/lubricantes-de-grado-alimenticio/> (accessed Feb. 14, 2023).
- [44] "SO 21469:2006 Safety of machinery — Lubricants with incidental product contact — Hygiene requirements," 2006.
- [45] "Torque and Equilibrium." <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/torq2.html> (accessed Feb. 16, 2023).

- [46] "Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras." <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html> (accessed Feb. 16, 2023).
- [47] "Conveyor Belt Technique - Design and Calculation", Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: <https://vdocuments.mx/belt-conveyor-design-dunlop-558454eadcaef.html?page=1>
- [48] H. Hinojosa, "Software para diseño de transportadores de banda," Guayaquil, 2002.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Transcripción de entrevista realizada a cliente

### Pregunta 1.

Entrevistador: ¿Cuál es la ganancia valor o porcentaje aproximada que queda en una lata?

Cliente: (Depende del precio) más o menos 30%.

### Pregunta 2.

Entrevistador: ¿Cuántas latas de cerveza entrega a la empresa de Quito de un barril de cerveza?

Cliente: A partir de un barril de 50 litros, se entregan aproximadamente 90 latas.

### Pregunta 3.

Entrevistador: ¿Todas las latas de Quito llegan en perfectas condiciones? ¿No presentan abolladuras o defectos?

Cliente: Todas las latas entregadas llegan en buen estado.

### Pregunta 4.

Entrevistador: Un valor aproximado de producción en litros (o barriles) antes de la pandemia y producción post pandemia. ¿Ha aumentado la demanda del producto?

Cliente: La demanda si ha aumentado, hace dos años los clientes demandaban una cantidad de 1325 L de cerveza, en comparación al año 2022 que nos demanda cerca de 1650 L.

### Pregunta 5.

Entrevistador: ¿Cuál es el costo total por sellado y transporte dado por la empresa subcontratada?

Cliente: 80 ctvs. por lata sellada y 20 ctvs. transporte para un total de \$1.10 + IVA.

**Pregunta 6.**

Entrevistador: ¿La empresa de Quito incurre en tiempo de entrega o existen retrasos (en caso de ocurrir)? Un aproximada de veces que ocurre en un periodo de tiempo (puede ser cada mes-3 meses o al año).

Cliente: Sí suelen ocurrir retrasos en la entrega por parte de la otra compañía. Suele ocurrir retrasos de 3 a 5 días al mes.

**Pregunta 7.**

Entrevistador: Se suelen quedar sin stock de cerveza enlatada (en caso de serlo). ¿Cuál es la razón por la que ocurre eso? ¿Por producción propia o por culpa de la empresa de Quito? Un aproximada de veces que ocurre en un periodo de tiempo (puede ser cada mes-3 meses o al año).

Cliente: Se suele quedar sin stock sobre todo para pedidos grandes por clientes, ya que se necesitan un mínimo de 400 L para que la empresa contratada realice el transporte y empiece con el proceso de enlatar.

**Pregunta 8.**

Entrevistador: ¿Cuál es el modelo de la enlatadora que tienen? ¿Cuánto tiempo aproximado les toma enlatar 1 lata o un barril? Si lo realizan con la máquina que ellos tienen

Cliente: Se tiene una selladora manual el modelo es KL10757, con ella se pueden enlatar aproximadamente entre 60 a 100 latas por hora.

Requerimientos:

**Pregunta 9.**

Entrevistador: ¿Cuántos barriles/latas esperan o necesitan que enlate la máquina enlatadora automatizada (que vamos a realizar)?

Cliente: Mensualmente unos 1000 litros latas de 500 ml

**Pregunta 10.**

Entrevistador: ¿Cuánto espacio posee para implementar la máquina enlatadora automatizada (que vamos a realizar)? ¿Necesitan que sea una estación fija o móvil?

Cliente: Se tiene un espacio de 3 metros de largo por un metro de ancho, también podría ser una línea móvil.

**Pregunta 11.**

Entrevistador: ¿En el diseño de la máquina enlatadora automatizada (que vamos a realizar), necesitan que los costos se mantengan en 1,10 ctvs por lata o esperan que disminuyan?

Cliente: Se espera que abaraten costes de alrededor de 40 o 30 ctvs. por lata de lo actual

**Pregunta 12.**

Entrevistador: ¿Cuál es su capital de inversión disponible para maquina enlatadora automatizada (que vamos a realizar)??

Cliente: Se tiene disponible un capital de \$10.000 para la línea de producción.

## APÉNDICE B

El sellado de las latas debe cumplir con los requerimientos mínimos de diseño, dados mediante las ecuaciones de CFIA (Metal Can Defects) [22].

Los ganchos del cuerpo y de los extremos deben solaparse lo suficiente para garantizar que el compuesto de sellado se mantenga correctamente bajo compresión con la estanqueidad correcta de la costura.

*Donde:*

*%Solp = Porcentaje de solapado*

*D = longitud de gancho de cuerpo*

*E = longitud de gancho de tapa*

*H = espesor tapa de cierre*

*A = longitud de cierre*

*I = espesor de cuerpo*

$$\%Solp = \frac{D + E + H - A}{A - (2 * (H + I))} * 100 \quad (B.1)$$

$$\%Solp = \frac{1.60 + 1.60 + 0.075 - 2.10}{2.10 - (2 * (0.075 + 0.05))} * 100 = 63.51$$

Se requiere un mínimo de 45% y un valor crítico de 25%.

El tope del gancho del cuerpo debe considerarse como uno de los factores que pueden utilizarse para evaluar las costuras dobles.

*Donde:*

*%PGC = Porcentaje de gancho – cuerpo*

$$\%PGC = \frac{D - 1.1 * I}{A - (2.2 * (H + 1.1 * I))} * 100 \quad (B.2)$$

$$\%PGC = \frac{1.60 - 1.1 * 0.05}{2.10 - (2.2 * (0.075 + 1.1 * 0.05))} * 100$$

$$\%PGC = 87.17$$

Se requiere un mínimo de 70% para garantizar un sellado adecuado.

Una de las formas de evaluar la estanqueidad de la doble costura sería evaluar también el espacio libre y el porcentaje de compacidad, de acuerdo con las especificaciones.

*Donde:*

*%Comp = Compacidad*

*LongDC = Longitud de doble cierre*

*GM = grosor de metal de la lata*

*GMB = longitud de metal en bruto la lata*

$$LongDC = (2 * GM) + (3 * GMB) \quad (B.3)$$

$$LongDC = (2 * 0.08) + (3 * 0.09) = 0.43$$

$$\%Comp = \frac{3 * H + 2 * I}{LongDC} * 100 \quad (B.4)$$

$$\%Comp = \frac{3 * 0.075 + 2 * 0.05}{0.43} * 100 = 75.6\%$$

El porcentaje mínimo de compactación aceptable es del 75% en la zona de sellado principal primario. Por tanto, la geometría escogida para el sellado cumple con los requerimientos mínimos de la normativa para evitar defectos en las latas.

## APÉNDICE C

### Criterios de evaluación de alternativas

**Tabla C.1 evaluaciones de viabilidad**

<b>Viabilidad</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
Solución 1	-	1	1	1	4	0,4
Solución 2	0	-	1	1	3	0,3
Solución 3	0	0	-	1	2	0,2
Solución 4	0	0	0	-	1	0,1
					10	1

**Tabla C.2 evaluaciones de Capacidad**

<b>Capacidad</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
Solución 1		0,5	1	0	2,5	0,25
Solución 2	0,5		1	0	2,5	0,25
Solución 3	0	0		0	1	0,1
Solución 4	1	1	1		4	0,4
					10	1

**Tabla C.3 evaluaciones de Tiempo de operación**

<b>Tiempo de operación</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
Solución 1		1	1	0	3	0,3
Solución 2	0		1	0	2	0,2
Solución 3	0	0		0	1	0,1
Solución 4	1	1	1		4	0,4
					10	1

**Tabla C.4 evaluaciones de Autonomía**

<b>Autonomía</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0,5	1	0,5	3	0,3
Solución 2	0,5		1	0,5	3	0,3
Solución 3	0	0		0	1	0,1
Solución 4	0,5	0,5	1		3	0,3
					10	1

**Tabla C.5 evaluaciones de Costo de producción**

<b>Costo de producción</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0,4
Solución 2	0		1	1	3	0,3
Solución 3	0	0		1	2	0,2
Solución 4	0	0	0		1	0,1
					10	1

**Tabla C.6 evaluaciones de Rentabilidad**

<b>Rentabilidad</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0,4
Solución 2	0		0,5	1	2,5	0,25
Solución 3	0	0,5		1	2,5	0,25
Solución 4	0	0	0		1	0,1
					10	1

**Tabla C.7 evaluaciones de Facilidad de uso**

<b>Facilidad de uso</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución 1		1	1	0,5	3,5	0,35
Solución 2	0		0,5	1	2,5	0,25
Solución 3	0	0,5		0	1,5	0,15
Solución 4	0,5	0	1		2,5	0,25
					10	1

**Tabla C.8 evaluaciones de Uso de materiales**

<b>Uso de materiales</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
					10	1

**Tabla C.9 evaluaciones de Integración**

<b>Integración</b>	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Solución 1		1	0	1	3	0,3
Solución 2	0		0	1	2	0,2
Solución 3	1	1		1	4	0,4
Solución 4	0	0	0		1	0,1
					10	1

De la calificación individual de las distintas alternativas de solución en cada rubro se realizó la sumatoria y que consta en la Tabla 2.2 y se eligió la alternativa de solución 1.

## APÉNDICE D

### Pasos para la selección de compresor

Se usó la guía de selección de compresor de la empresa Blackmer de la referencia [35], donde se especifican las ecuaciones y pasos a seguir.

Donde:

$$P_D = \text{Presión de descarga [psi]} = 150$$

$$P_S = \text{Potencia de succión [psi]} = 125$$

1. Calcular la relación de compresión.

La relación de compresión (R) es la relación entre la presión de descarga y la presión de aspiración:

$$R = \frac{P_D}{P_S} \quad (\text{D.1})$$

$$R = \frac{150}{125} = 1.2$$

2. Determinar el número de etapas del compresor.

La elección del número adecuado de etapas de compresión se basa en gran medida en la relación de compresión.

**Tabla D.1 Número de etapas de compresor.**

R value	# stages
1 - 3	single-stage
3 - 5	normally single-stage, occasionally two-stage
5 - 7	normally two-stage, occasionally single-stage
7 - 10	two-stage
10 - 15	usually two-stage, occasionally three-stage
15 +	three-stage

Por eso, se escoge un compresor de una etapa.

3. Calcular la temperatura en la zona de descarga.

La temperatura de descarga del compresor afecta directamente a la vida útil de los segmentos y las válvulas. Esta es la fórmula para calcular la temperatura de descarga de un compresor de una etapa refrigerado por aire:

Donde:

$T_D =$  Temperatura de descarga [ $^{\circ}K$ ]

$T_S =$  Temperatura de succión [ $^{\circ}K$ ] = 300

$R =$  Relación de compresión = 1.2

$n =$  Relación de calor específico del aire = 1.4

$$T_D = T_S \left( \frac{P_D}{P_S} \right)^{\frac{(n-1)}{n}} = T_S * R^{\frac{(n-1)}{n}} \quad (D.2)$$

$$T_D = T_S * R^{\frac{(n-1)}{n}} = 300 * (1.2)^{\frac{(1.4-1)}{1.4}} = 316$$

#### 4. Determinar la eficiencia volumétrica.

La eficiencia volumétrica es la relación entre la cantidad de gas comprimido y el tamaño físico del volumen del cilindro del compresor.

Para compresores de una sola etapa:

Donde:

$VE =$  eficiencia volumétrica

$$VE\% = 93 - R - 8 \left( R^{\left( \frac{1}{n} \right)} - 1 \right) \quad (D.3)$$

$$VE\% = 93 - 1.2 - 8 \left( 1.2^{\left( \frac{1}{1.4} \right)} - 1 \right) = 90.69\%$$

#### 5. Determinar el desplazamiento requerido del pistón.

Donde:

$T_{STD} =$  Temperatura estándar [ $^{\circ}K$ ] = 273

$T_S =$  Temperatura de succión [ $^{\circ}K$ ] = 300

$P_{STD} =$  Presión barométrica estándar [Bar] = 1

$P_S =$  Potencia de succión [Bar] = 8.62

$$ICFM = SCMF \left( \frac{P_{std}}{P_s} \right) \left( \frac{T_s}{T_{std}} \right) \quad (D.4)$$

$$ICFM = 110 \left( \frac{1}{8.62} \right) \left( \frac{300}{273} \right) = 14.02$$

Donde:

$P_{DR}$  = Desplazamiento requerido del pistón

$$P_{DR} = \left( \frac{ICFM}{VE} \right) \quad (D.5)$$

$$P_{DR} = \left( \frac{14.02}{0.91} \right) = 15.46 \text{ CFM}$$

6. Seleccionar el tamaño del compresor.

**Tabla D.2 Tamaño de compresor**

	Size	Piston Displacement
Single-stage	161, 162, 163	7.16 - 16.9 CFM (12.2 - 28.7 m <sup>3</sup> /hr)
	342, 343	6.89 - 16.25 CFM (11.7 - 27.6 m <sup>3</sup> /hr)
	361, 362, 363	15.3 - 36.0 CFM (26.0 - 61.2 m <sup>3</sup> /hr)
	642, 643	13.4 - 31.7 CFM (22.8 - 53.8 m <sup>3</sup> /hr)
	601, 602, 603	27.2 - 64.2 CFM (46.3 - 109.0 m <sup>3</sup> /hr)
	942	52.5 - 125.2 CFM (89 - 212 m <sup>3</sup> /hr)
Two-stage	172, 173	3.6 - 8.4 CFM (6.1 - 14.3 m <sup>3</sup> /hr)
	372, 373	10.2 - 26.1 CFM (17.3 - 40.8 m <sup>3</sup> /hr)
	612, 613	22.9 - 53.7 CFM (38.9 - 91.2 m <sup>3</sup> /hr)

A partir del valor encontrado anteriormente de 15.46 CFM. Se desprende que funcionará un compresor de tamaño de 343.

7. Determinar el RPM mínimo requerido.

Donde:

$RPM_{min}$  = Requerimiento mínimo requerido

$P_{D100}$  = Desplazamiento del pistón por 100 RPM

$$RPM_{min} = 100 * \left( \frac{P_{DR}}{P_{D100}} \right) \quad (D.6)$$

**Tabla D.3 RPM mínimo conforme al tamaño del compresor**

	Compressor Size	PD per 100 RPM (PD <sub>100</sub> )	
Single-Stage	161, 162, 163	2.05 ft <sup>3</sup>	3.48 m <sup>3</sup>
	342, 343	1.97 ft <sup>3</sup>	3.34 m <sup>3</sup>
	361, 362, 363	4.36 ft <sup>3</sup>	7.41 m <sup>3</sup>
	642, 643	3.84 ft <sup>3</sup>	6.52 m <sup>3</sup>
	601, 602, 603	7.78 ft <sup>3</sup>	13.2 m <sup>3</sup>
	942	14.99 ft <sup>3</sup>	25.5 m <sup>3</sup>
Two-Stage	172, 173	1.02 ft <sup>3</sup>	1.73 m <sup>3</sup>
	372, 373	2.92 ft <sup>3</sup>	4.96 m <sup>3</sup>
	612, 613	6.54 ft <sup>3</sup>	11.1 m <sup>3</sup>

Con anterioridad se seleccionó el tamaño 343 con un desplazamiento de pistón necesario de 15.46 CFM. Por lo tanto:

$$P_{D100} = 1.97 \text{ ft}^3$$

$$RPM_{min} = 100 * \left( \frac{15.46}{1.97} \right) = 784.77 \text{ RPM}$$

8. Determinar la potencia necesaria.

*Para compresores de una sola etapa:*

*Donde:*

*BHP = potencia requerida*

$$BHP = 0.00528 \left( \frac{n}{n-1} \right) (P_S) (P_{DR}) \left( R^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (D.5)$$

$$BHP = 0.00528 \left( \frac{1.4}{1.4-1} \right) (125)(15.46) \left( 1.2^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right) = 1.91$$

9. Selección del compresor adecuado

**Tabla D.4 Características de compresor**

Compresor	Bicilíndrico en V con aceite
Imagen	
Modelo	8119500LEV517
Potencia (HP)	3
Caldera (Lts)	50
Presión máxima (Bar)	9
Aire aspirado (Litros/min)	356
Presión (psi)	131
Alimentación	230V/MONOF/50HZ
Etapas	1
Potencia (Kw)	2.2
Precio [USD]	318,21

En este caso, se seleccionó un compresor con aceite es necesario que cumpla la certificación NSF H1 [43]y con la norma ISO 21469 [44] para la elección del tipo de aceite en el sistema.

## APÉNDICE E

### Desarrollo del sistema de transmisión y selección de actuador de empuje

Se implementa un sistema de transmisión de palanca debido al espacio reducido y la facilidad de montaje como en la Figura E.1.

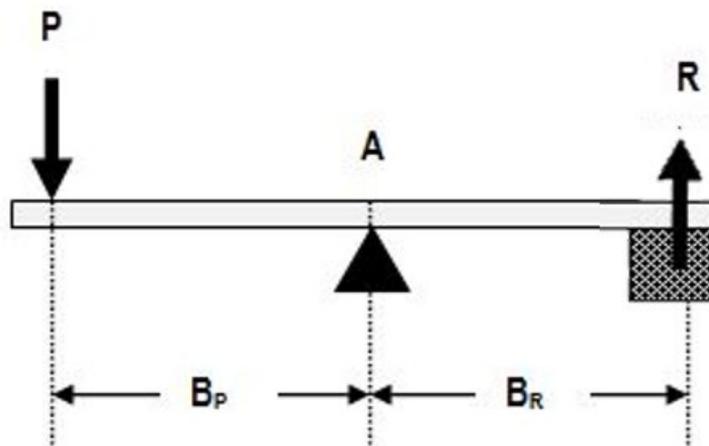


Figura E.1 Sistema de transmisión de palanca

La capacidad de transmisión del mecanismo se ha optimizado al relacionar el torque con el ángulo de inclinación mediante la referencia [45]. Se ha determinado que la máxima transmisión de torque y la máxima fuerza aplicada en la rulina de cierre se obtienen cuando se alcanza un ángulo de inclinación de  $90^\circ$ .

Donde:

$F = \text{Fuerza [N]}$

$\theta = \text{inclinación de ángulo}$

$D = \text{longitud de brazo}$

$$T = F * D * \text{sen}(\theta) \quad (\text{E.1})$$

Para calcular la cantidad de fuerza que se requiere en el actuador, se efectúa la suma de los momentos en torno al eje de rotación del sistema de transmisión en la Figura E.2.

Donde:

$F_1$  = Fuerza reacción por la palanca de rodillo

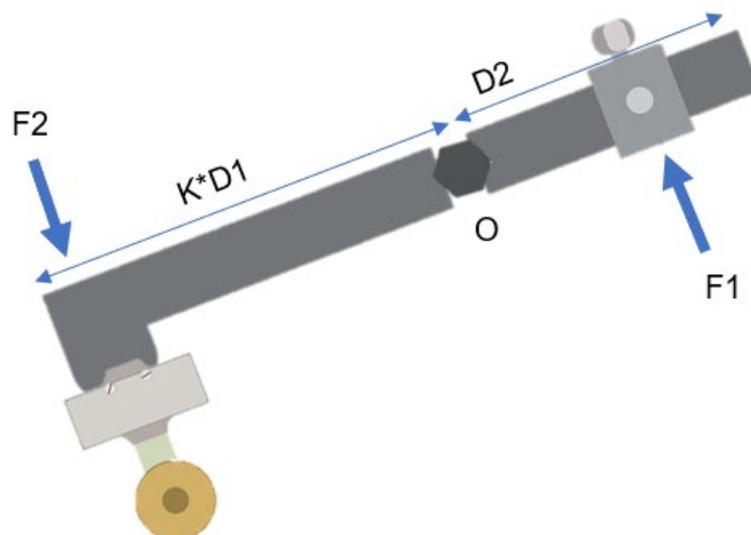
$F_2$  = Fuerza accionada al actuador

$$\sum M_o = 0 \quad (\text{E.2})$$

$$-F_1 D_1 \text{sen}(90^\circ) + F_2 D_2 \text{sen}(90^\circ) = 0 \rightarrow F_2 D_2 = F_1 D_1 \quad (\text{E.3})$$

$$F_1 = F_2 \frac{D_2}{D_1} \quad (\text{E.4})$$

$$K = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow F_1 = F_2 * K \quad (\text{E.5})$$



**Figura E.2 Bosquejo del sistema de transmisión de palanca**

Se ha optado por elegir una ganancia de  $K=2$ , ya que permite lograr una ejecución satisfactoria del cierre y cumplir con los requisitos de tamaño establecidos. Además, se ha aplicado un factor de seguridad de 8 a la fuerza necesaria para realizar la primera operación de cierre.

$$FuerzaRodilloD1 = 45.11 \text{ N}$$

$$F_1 = FuerzaRodilloD1 * FS \quad (\text{E.6})$$

$$F_1 = 45.11 * 8 = 360.88 \text{ [N]}$$

El actuador debe generar la fuerza mínima necesaria para la primera operación utilizando el suministro neumático de  $P = 9 \text{ [Bar]}$  establecido en la Tabla D.4

$$F_1 = F_2 * K \quad (E.7)$$

$$F_2 = \frac{F_1}{K} \quad (E.8)$$

Para este caso, se realiza el análisis con un factor  $K = 2$ .

$$F_2 = \frac{360.88}{2} = 180.44 \text{ N}$$

*Presión total de la fuente de aire comprimido = 9 [Bar]*

$$P_f = 9 \text{ Bar} \cong 900\,000 \text{ [Pa]}$$

Se determinó el diámetro mínimo del actuador para  $K = 2$ , para lo cual se considera la fuerza teórica del embolo para cilindro de doble efecto y respectiva superficie útil del émbolo, mediante la siguiente referencia [36]:

*Donde:*

$P_f$ :  $P =$  Presión de fuente [Pa]

$F_2 =$  Fuerza [N]

$A =$  Área

$D =$  diámetro

$$P = \frac{F_2}{A} \quad (E.9)$$

$$A = \frac{F_2}{P} \quad (E.10)$$

$$\pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P} \quad (E.11)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_2}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 180.44 \text{ [N]}}{\pi * 900000 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]}}$$

$$D = 0.016 \text{ [m]} = 16 \text{ [mm]}$$

La fuerza requerida para la segunda operación de cierre se multiplica por un factor de seguridad de 8.

$$FuerzaRodilloD2 = 24.71 N$$

$$F_1 = FuerzaRodilloD2 * FS$$

$$F_1 = 24.71 * 8 = 197.68 [N]$$

El actuador debe generar la fuerza mínima necesaria para la primera operación utilizando el suministro neumático de  $P = 9 [Bar]$  establecido en la pág. 39

$$F_1 = F_2 * K$$

$$F_2 = \frac{F_1}{K}$$

Para este caso, se realiza el análisis con un factor  $K = 2$ .

$$F_2 = \frac{197.68}{2} = 98.84 N$$

*Presión total de la fuente de aire comprimido = 9 [Bar]*

$$P_f = 9 Bar \cong 900\,000 [Pa]$$

Se determinó el diámetro mínimo del actuador para  $K = 2$ , para lo cual se considera la fuerza teórica del embolo para cilindro de doble efecto y respectiva superficie útil del embolo, mediante la siguiente referencia [36]:

*Donde:*

$P_f$ :  $P =$  Presión de fuente [Pa]

$F_2 =$  Fuerza [N]

$A =$  Área

$D =$  diámetro

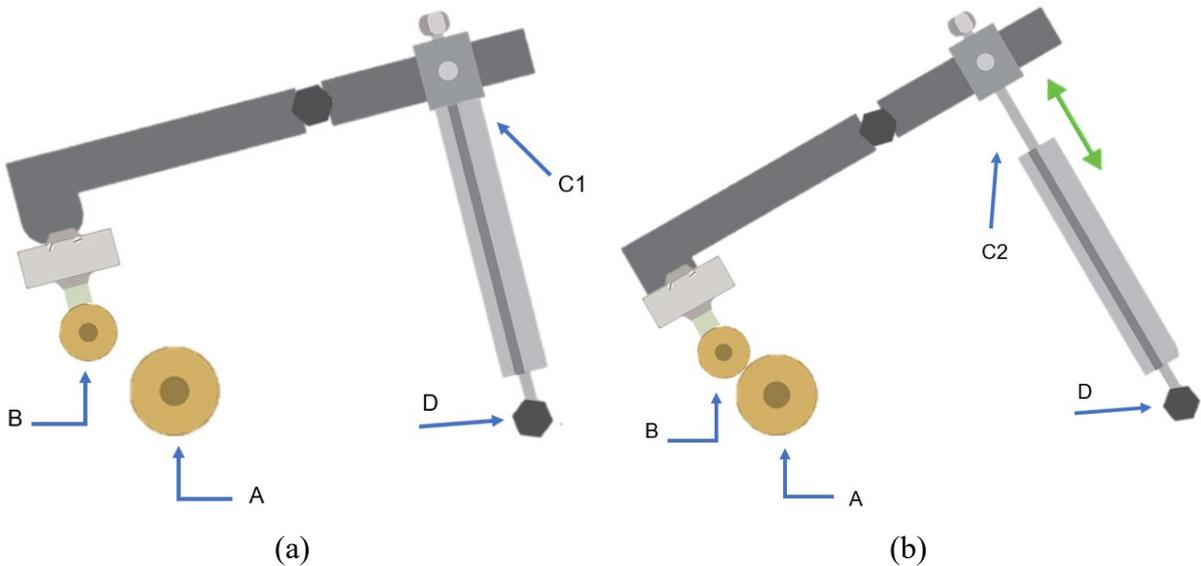
$$P = \frac{F_2}{A} \tag{E.9}$$

$$A = \frac{F_2}{P} \quad (\text{E.10})$$

$$\pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P} \quad (\text{E.11})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_2}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 98.84 \text{ [N]}}{\pi * 900000 \text{ } \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]}}$$

$$D = 0.012 \text{ [m]} = 12 \text{ [mm]}$$



**Figura E.3 Sistema de transmisión a) sistema inactivo y b) sistema accionado**

En la Figura E.3 se observa el comportamiento del sistema de transmisión previo y durante la operación de cierre.

- A: Mandril de cierre
- B: Rulina de cierre
- C1: Actuador retraído
- C2: Actuador extendido
- D: Eje de rotación

Se determinó la carrera mínima de 5 [mm] de los actuadores neumáticos que proporcionan la fuerza de empuje hacia los rulinas de cierre, esta distancia de separación es necesaria para evitar colisiones entre rulinas y mandril.

En la Tabla E.1 se resumen los requerimientos para seleccionar los actuadores neumáticos.

**Tabla E.1 Requerimientos de actuadores neumático**

Actuadores	Primera operación	Segunda operación
<b>Fuerza requerida</b>	338.17	233.65
<b>Diámetro mínimo [mm]</b>	16	12
<b>Carrera mínima [mm]</b>	5	5

Debido a la disponibilidad de catálogos se selecciona un actuador con un diámetro de 32 [mm] y una carrera de 25 [mm].

**Tabla E.2 Características de actuador neumático para transmisión de fuerza**

Actuador	Neumático Doble Efecto
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	DNC-32-25-PPV-A
<b>Carrera (mm)</b>	25
<b>Diámetro (mm)</b>	32
<b>Presión operacional (Bar)</b>	0.6 - 12
<b>Fuerza avance (N)</b>	483
<b>Precio [USD]</b>	83,99

## APÉNDICE F

### Selección de banda transportadora.

Se usó la guía de selección de bandas de trabajos académicos, usando la referencia [41], para especificar los pasos y ecuaciones a seguir correspondientes desde el paso 1 hasta el 9. Mientras, con la referencia [46] se realiza el paso 11. Por último, la referencia [42] se encuentra los pasos 12 – 13.

Para el proceso de selección de partes de asunciones iniciales, que corresponde a tamaño, peso de material, dimensiones, etc. A partir de esto se sigue una serie de pasos que se detallan continuación:

**Tabla F.1 Datos iniciales para selección de banda**

<b>Material a transportar</b>	Lata aluminio
<b>Carga máxima [Kg]</b>	10
<b>v: Velocidad de avance [m/s]</b>	0.5
<b>Dimensiones [mm]</b>	66x66x168
<b><math>\gamma</math>: Peso específico [t/m<sup>3</sup>]</b>	1
<b>L: Longitud de banda [m]</b>	3
<b>A: Altura alcanzada por la cinta [m]</b>	0
<b><math>\varphi</math>: Inclinación de banda [°]</b>	0

#### 1. Asignar nomenclatura para banda

Una vez tenemos los datos iniciales se designó una nomenclatura para la banda, en este caso, para transportar alimentos que es la letra A.

**Tabla F.2 Designación de nomenclatura de bandas transportadoras [42]**

Designación	Características de la banda
E	Propiedades antiestáticas
K	Propiedades antiestáticas y resistente a la llama
S	Resistente a la llama con o sin propiedades antiestáticas
T	Resistentes al calor
R	Resistentes al frío
G	Resistente a la presencia de aceites y grasas
A	Apta para el transporte de alimentos
C	Destinada al transporte de productos químicos

## 2. Seleccionar ancho mínimo de banda

A continuación, con la designación A y el tamaño máximo de la lata conforme con el diámetro de cuerpo que es 66 [mm]. De acuerdo con la Tabla F.3 se selecciona un ancho de banda mínimo de 500 [mm].

**Tabla F.3 Relación empírica ancho de banda-velocidad [47]**

Ancho mínimo de Banda (mm)	Tamaños máximos (mm)		Velocidad máxima en m/s)			
	Uniforme	Mixto	A	B	C	D
400	50	100	2,62	2,09	2,09	1,31
500	75	150	2,62	2,62	2,09	1,68
650	125	200	3,35	2,62	2,62	1,68
800	170	300	3,35	3,35	2,62	2,09
1000	250	400	4,19	3,35	3,35	2,09
1200	350	500	4,19	3,35	3,35	2,62
1400	400	600	4,19	3,35	3,35	3,35
1600	450	650	4,19	4,19	3,35	3,35
1800	500	700	4,19	4,19	3,35	3,35
2000	550	750	5,24	4,19	3,35	3,35
2200	600	800	5,24	5,24	4,19	4,19
A- Materiales ligeros deslizables, no abrasivos con peso específico de 0,5 -1 T/m <sup>3</sup>						
B- Materiales no abrasivos o muy poco abrasivo con tamaño medio, peso específico de 1 - 1,5 T/m <sup>3</sup>						
C- Materiales medianamente abrasivos y pesados, con peso específico de 1,5 a 2 T/m <sup>3</sup>						
D- Materiales muy abrasivos pesados y cortantes, peso específico mayor a 2 T/m <sup>3</sup>						

## 3. Especificar el ángulo de sobrecarga y reposo.

A los ángulos de reposo y sobrecarga se asignó un valor de 0° y 5° respectivamente, en vista que se transportan latas y no materiales vertidos.

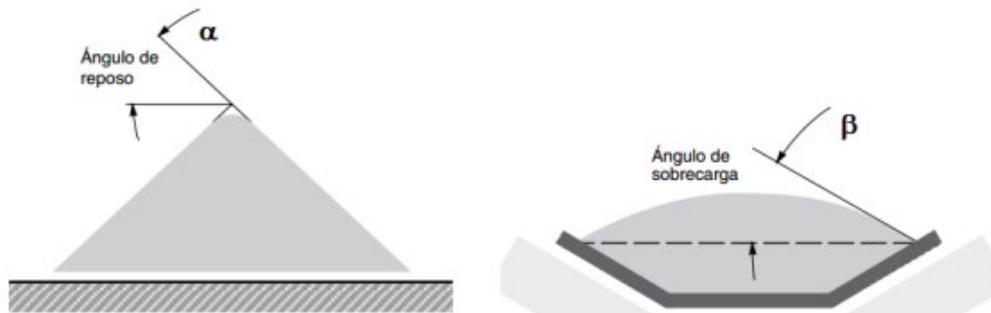
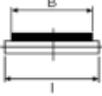
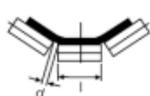


Figura F.1 Ángulos de sobrecarga y de reposo [41].

4. Seleccionar longitud mínima de rodillos

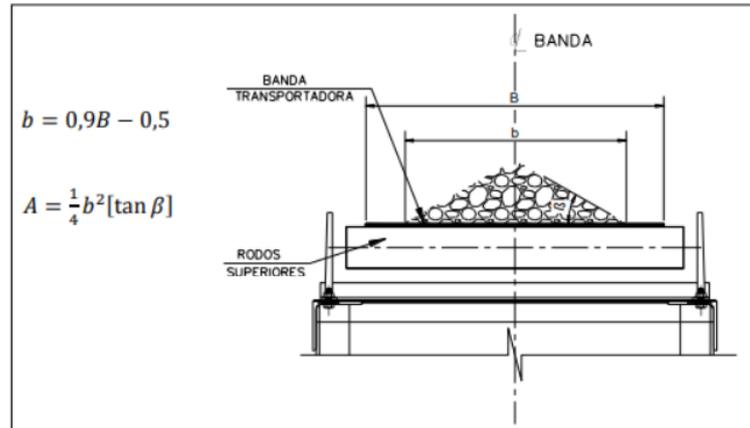
Se escogió la configuración de rodillo plano, dado que se tiene un desplazamiento lineal de las latas. Otro valor que se determina es la longitud de los rodillos de 600 [mm] relacionada con la configuración de los rodillos y el ancho de banda, como se observa en la Tabla F.4.

Tabla F.4 Longitud de rodillos [47]

ANCHO DE BANDA	LONGITUD DE LOS RODILLOS (mm)		
	Flat	2 roll	3 roll
B (mm)			
300	380	200	-
400	500	250	160
500	600	315	200
600	700	340	250
650	750	380	250
800	950	465	315
1000	1150	600	380
1200	1400	700	465
1400	1600	800	530
1600	1800	900	600
1800	2000	1000	670
2000	2200	1100	750
2200	2500	1250	800

5. Calcular sección transversal

Ahora se calcula la sección transversal del material transportado (latas) usando la ecuación F.2.



**Figura F.2 Distribución del material sobre un rodillo de carga. [48]**

Donde:

$\beta$  = Ángulo de sobrecarga ( $^{\circ}$ )

$A$  = Sección transversal del material ( $m^2$ )

$B$  = Ancho de banda (m)

Siendo

$$b = 0.9 * B - 0.05 \quad (F.1)$$

$$b = 0.9 * (0.4) - 0.05 = 0.31$$

$$A = \frac{1}{4}b^2(\tan(\beta)) \quad (F.2)$$

$$A = \frac{1}{4}(0.31)^2(\tan(5)) = 0.0021 [m^2]$$

## 6. Determinar capacidad de transporte

La capacidad de transporte se define por el área transversal que ocupa el material durante el funcionamiento de la banda. Es el valor máximo de capacidad requerida por el proceso.

Donde:

$k$  = coeficiente de reducción de la capacidad por inclinación.

$\varphi$  = ángulo de inclinación de la cinta ( $^{\circ}$ ) =  $0^{\circ}$

$$k = 1 - 1.64 * \left(\frac{\varphi * \pi}{180}\right)^2 \quad (\text{F.3})$$

$$k = 1 - 1.64 * \left(\frac{0 * \pi}{180}\right)^2 = 1$$

Donde:

$Q_v$  = Capacidad de transporte volumétrica de la banda (m<sup>3</sup>/h)

$v$  = velocidad de avance de la banda (m/s)

$A$  = área de la sección transversal del material (m<sup>2</sup>)

$$Q_v = 3600 * v * A * k \quad (\text{F.4})$$

$$Q_v = 3600 * 0.5 * 0.0021 * 1 = 3.78 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Donde:

$Q_m$  = Capacidad de transporte en masa de la banda (t/h)

$\gamma$  = peso específico del material transportado (t/m<sup>3</sup>)

$$Q_m = Q_v * \gamma \quad (\text{F.5})$$

$$Q_m = 3.78 * 1 = 3.78 \text{ (t/h)}$$

## 7. Definir la potencia total de accionamiento.

La potencia total de accionamiento de la cinta se define por las sumas de las siguientes potencias parciales:

- P1: Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada.
- P2: Potencia necesaria para elevar la carga hasta una cierta altura.
- P3: Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos.

A continuación, se procederá a realizar el cálculo de cada una de las anteriores potencias parciales:

### 7.1. Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada (P1)

Esta potencia se emplea en el transporte del material venciendo el peso propio de la banda, rozamiento de los distintos tambores y rodillos presentes en el diseño de la cinta.

Donde:

$C_b$  = factor de anchura de la banda (kg/s)

$v$  = velocidad de avance de la banda (m/s)

$C_l$  = factor de longitud de la banda ( $m^{-1}$ )

$K_f$  = factor de servicio

$$P_1 = \frac{C_b * v + Q_m}{C_l * K_f} \quad (F.6)$$

En las presentes tablas se extraen los valores necesarios para calcular la primera potencia, de acuerdo a las especificaciones anteriores dadas para la banda.

**Tabla F.5 Factor de ancho de banda [47]**

Peso específico $\gamma$ [t / m <sup>3</sup> ]	Ancho de Banda [mm]											
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227	291	-	-	-
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320	468	554	691	745
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414	644	727	957	1033

**Tabla F.6 Factor de longitud de banda [47]**

Longitud [m]	3	4	5	6	8	10	1,5	16	20
$C_L$	667	625	555	526	454	417	370	323	286
Longitud [m]	25	32	40	50	63	80	90	100	150
$C_L$	250	222	192	167	145	119	109	103	77
Longitud [m]	200	250	300	350	400	450	500	550	600
$C_L$	63	53	47	41	37	33	31	28	26
Longitud [m]	700	800	900	1000	1500	2000	>2000		
$C_L$	23	20	18	17	12	9	8		

**Tabla F.7 Factor de servicio, según condiciones de trabajo [47]**

Condiciones de Trabajo	$k_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar.	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad.	0,87-0,74
Temperaturas extremadamente bajas.	0,57

Donde:

$$C_b = 76 \text{ (kg/s)}$$

$$v = 0.5 \text{ (m/s)}$$

$$C_l = 667 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$K_f = 1$$

$$P_1 = \frac{76 * 0.5 + 3.78}{667 * 1} = 0.063 \text{ [kw]}$$

## 7.2. Potencia necesaria para elevar la carga (P2)

Esta potencia derivada de la inclinación que tenga la cinta.

Donde:

$H$  = altura que alcanza la banda transportadora (m)

$Q_m$  = Capacidad de transporte en masa de la banda (t/h)

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad (\text{F.7})$$

Siendo

$$H = L * \text{sen}(\varphi) \quad (\text{F.8})$$

$$H = 3 * \text{sen}(0^\circ) = 0$$

$$P_2 = \frac{0 * 3.78}{367} = 0 \text{ [kw]}$$

## 7.3. Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, dispositivos de limpieza y guías (P3):

Para este caso hay que calcular y sumar las potencias consumidas por cada uno de los elementos:

Donde:

$P_a$  = potencia debida a los trippers (kW)

$P_b = \text{potencia debida a los dispositivos de limpieza (kW)}$

$P_c = \text{potencia debida a las guías y faldones instalados (kW)}$

$$P_3 = \sum (P_a + P_b + P_c) \quad (\text{F.9})$$

A continuación, en la siguiente tabla se puede obtener los valores de cada potencia requerida. En este caso para la elección de la banda no es necesario la incorporación de estos elementos, ya que es una banda simple plana para transportar latas.

**Tabla F.8 Factor de servicio, según condiciones de trabajo [47]**

<b>POTENCIA ADICIONALES</b>		
<b>Trippers, <math>P_a</math></b>	<b>Ancho de Banda [m]</b>	<b>Potencia [Kw]</b>
	$\leq 500$	$0,8 \cdot v$
	$\leq 1000$	$1,5 \cdot v$
	$> 1000$	$2,3 \cdot v$
<b>Dispositivos de limpieza <math>P_b</math></b>	<b>Tipo de contacto/ Presión</b>	
	Contacto Simple	$0,3 \cdot B \cdot v$
	Contacto de Presión elevada	$1,5 \cdot B \cdot v$
<b>Guías de Carga <math>P_c</math></b>	<b>Longitud <math>L_f</math> [m]</b>	
	Desde punto de carga	$0,16 \cdot v \cdot L_f$

Donde:

$B = \text{ancho de banda de la cinta (m)}$

$v = \text{velocidad de avance de la banda (m/s)}$

$L_f = \text{longitud de la guía o faldones (m)}$

$$P_a = 0.8 * v = 0 \text{ [kw]} \quad (\text{F.10})$$

$$P_b = 0.3 * B * v = 0 \text{ [kw]} \quad (\text{F.11})$$

$$P_c = 0.16 * 0.5 * L_f = 0 \text{ [kw]} \quad (\text{F.12})$$

$$P_3 = \sum (P_a + P_b + P_c) = 0 \text{ [kw]}$$

La potencia total (PT) a transmitir por el tambor motriz para el accionamiento de la cinta es la suma de las potencias parciales previamente encontradas:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{F.13})$$
$$P_T = 0.063 + 0 + 0 = 0.063 \text{ [kw]}$$

La potencia requerida por el motor (PM) para accionamiento del tambor motriz de la cinta:

*Donde:*

$P_M$  = potencia consumida por el motor eléctrico (kW)  
 $\eta$  = rendimiento total entre motor y caja reductora

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (\text{F.14})$$

*Donde:*

$\eta_m$  = rendimiento de motor eléctrico  
 $\eta_r$  = rendimiento de caja reductora

$$\eta = \eta_m * \eta_r \quad (\text{F.15})$$

**Tabla F.9 Eficiencia de los diferentes mecanismos reductores [47]**

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tronillo sin fin (relación 60:1 a 100:1 )	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

$$\eta_m = 82\%$$

$$\eta_r = 95\%$$

$$\eta = 0.82 * 0.95 = 0.81$$

$$P_M = \frac{0.063}{0.81} = 0.078 \text{ [kw]}$$

Se seleccionó el valor del motor de la Tabla F.10 inmediatamente superior al obtenido.

**Tabla F.10 Potencia de motores, valores normalizados [47]**

Valores de las potencias de los motores normalizadas. HD 231 de CENELC						
1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11
15	18,5	22	30	37	45	55
75	90	110	132	160	200	250
315	355	400	500	560	630	

## 8. Resistencia mínima a tracción de la banda

Es necesario calcular la resistencia mínima para evitar la rotura en la banda.

Donde:

$K$  = tensión de tracción (N/mm)

$P_T$  = potencia de total (kW)

$v$  = velocidad de la banda (m/s)

$C_R =$  Factor de fricción según la superficie del tambor

$C_V =$  Factor de pérdida de resistencia a tracción

$C_{seg} =$  Coeficiente de seguridad

$$K = \frac{C_R * P_T}{C_V * v} \quad (F.16)$$

Para determinar los coeficientes de fricción y pérdida se los calcula con las siguientes tablas.

**Tabla F.11 Coeficiente de fricción según superficie de tambor [47]**

FACTOR DE FRICCIÓN $C_R$													
Superficie del tambor motriz	Coeficiente de fricción $\mu$	Ancho de banda [mm]											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Sin recubrimiento y mojado	0,15	98	74	59	45	37	30	25	21	18	16	15	14
Recubierto con goma, mojado y sucio	0,3	62	46	37	28	23	18	15	13	12	10	9	8
Sin recubrimiento y seco	0,35	57	43	34	26	21	17	14	12	11	9	8	8
Con recubrimiento de goma y seco	0,4	53	40	32	25	20	16	13	11	10	9	8	7

**Tabla F.12 Factor de pérdida de resistencia a tracción según empalme [47]**

Tipo de banda DUNLOP	Tipo de empalme por número de telas		Factor $C_v$
DUNLOPFLEX	2 capas superpuestas	Al 100%	1
	2 capas superpuestas	Al 50%	0,5
TRIOFLEX	3 capas superpuestas	Al 100%	1
	2 capas superpuestas	Al 67%	0,67
SUPERFORT	Número de capas	1	0,7
		2	0,5
		3	0,67
		4	0,75
		5	0,8
		6	0,83
FERROFLEX	Zig-Zag	-	0,9
STEELCORD	Número de escalones	1-2	1
		3	0,95
		4	0,9

$$K = \frac{59 * 0.063}{0.5 * 0.5} = 14.87 \text{ N/mm}$$

Se toma el valor de la resistencia nominal de la Tablas F.12 inmediatamente superior al obtenido.

**Tabla F.13 Resistencias nominales de bandas textiles [47]**

Resistencias nominales de las bandas textiles [N/mm]						
125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1600	2000	2500

Partiendo del valor escogido de la tabla, se calculó el coeficiente de seguridad por resistencia a tracción de la banda:

$$C_{seg} = \frac{125}{14.87} = 8.4$$

## 9. Espesor y calidad de recubrimientos

Se determinan los espesores superiores e inferiores con la Tabla F.14.

**Tabla F.14 Espesor de los recubrimientos superiores [27].**

ESPESOR DE RECUBRIMIENTO SUPERIOR RECOMENDADO (MM.)									
Tamaño en mm	Abrasión Alta/Muy Alta			Abrasión Media/Alta			Sin Abrasión		
	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150	0-50	50-150	>150
Tiempo de Recorrido									
< 0,2 minutos	5-6	6-8	8-10	3-5	5-6	6-8	2-3	3-4	4-6
0,2-0,4 minutos	4-5	5-6	6-8	3-4,5	>=5	>=6	2-2,5	2,5-4	4-5
0,4-1 minutos	4-5	>=6	>=8	3-4	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
1-5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4
> 5 minutos	3-5	5-6	7-8	3-5	4-5	5-6	2-2,5	2,5-3,5	3,5-4

**Tabla F.15 Espesor de los recubrimientos superiores [27].**

Superiores	Inferiores
2 - 3	1,5
4	2
6	1,5 - 3
8 - 10	2 - 3

**Tabla F.16 Calidad de los recubrimientos [27].**

Calidad de los Recubrimientos	W	X	Y	Z
Resistencia a la tracción Longitudinal [N/mm <sup>2</sup> ]	18	25	20	15
Alargamiento de rotura longitudinal [%]	400	450	400	350
Abrasión [mm <sup>3</sup> ]	90	120	150	250

En la siguiente Tabla F.17, se detallan las características resumidas de la banda de acuerdo a los requerimientos y conforme a las normas internacionales.

**Tabla F.17 Características de la banda a seleccionar**

Longitud de banda	Ancho de banda	Tipo de banda seleccionada	Resistencia a la tracción	Número de capas	Espesor de capas	Calidad de recubrimiento
300	500	PVC (Superford)	125	2	3+1.5 mm	X

#### 10. Cálculo de las tensiones de trabajo de la banda

Debido a la tracción ejercida por la superficie del tambor motriz en su contacto con la cinta, la fuerza de arrastre del tambor genera una serie de tensiones en el conjunto.

- Estado estacionario

La fuerza tangencial (Ft) que transmite el tambor motriz a la banda en estado estacionario se calcula:

*Donde:*

$$P_T = 0.063 [kw]$$

$$v = 0.5 \text{ (m/s)}$$

$$F_t = \frac{P_T * 1000}{v} \quad (\text{F.17})$$

$$F_t = \frac{0.063 * 1000}{0.5} = 126 \text{ [N]}$$

Ahora se pueden calcular las tensiones en cada ramal de la banda, a un lado y otro del tambor motriz.

Donde:

$T_1$  = tensión del lado más tenso de la banda (N)

$T_2$  = tensión del lado menos tenso de la banda (N)

$\mu$  = coeficiente de fricción entre banda y tambor (ver Tabla 5.13)

$\alpha$  = ángulo de contacto entre banda y tambor

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\alpha} \quad (\text{F.18})$$

**Tabla F.18 Coeficiente de fricción según superficie de tambor [47]**

Superficie del tambor motriz	Coeficiente de fricción $\mu$	FACTOR DE FRICCIÓN $C_R$											
		Ancho de banda [mm]											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Sin recubrimiento y mojado	0,15	98	74	59	45	37	30	25	21	18	16	15	14
Recubierto con goma, mojado y sucio	0,3	62	46	37	28	23	18	15	13	12	10	9	8
Sin recubrimiento y seco	0,35	57	43	34	26	21	17	14	12	11	9	8	8
Con recubrimiento de goma y seco	0,4	53	40	32	25	20	16	13	11	10	9	8	7

Siendo:

$$\mu = 0.15$$

$$\alpha = \pi$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{0.15*\pi} = 1.60$$

Por otra parte, la diferencia entre las tensiones en el lado flojo y el lado tenso de la banda es precisamente la fuerza tangencial ( $F_t$ ):

$$T_1 = F_t + T_2 \quad (\text{F.19})$$

$$T_1 = 126 + T_2$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior, se obtiene los siguientes valores de tensiones para cada ramal de la banda:

$$T_1 = 336$$

$$T_2 = 210$$

- Estado no estacionario

En el estado de arranque se producen picos de tensiones que se deben calcular para comprobar la resistencia de la banda. Primero, se determinan la fuerza tangencial en el arranque ( $F_{tA}$ )

$$F_{tA} = 1.6 * F_t \quad (\text{F.20})$$

$$F_{tA} = 1.6 * 126 = 201.6 \text{ [N]}$$

Por otro lado, el coeficiente de fricción ( $\mu_A$ ) en los primeros momentos de arranque del motor:

$$\mu_A = \mu + 0.05 = 0.15 + 0.05 = 0.2$$

Los valores de las nuevas tensiones  $T_{1A}$  y  $T_{2A}$  en los ramales de la cinta durante el periodo de arranque se calculan:

$$T_{1A} = \frac{F_{tA} * e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (\text{F.21})$$

$$T_{1A} = \frac{201.6 * e^{0.15*\pi}}{e^{0.15*\pi} - 1} = 536.50 \text{ [N]}$$

$$T_{2A} = \frac{F_{tA}}{e^{\mu\alpha} - 1} \quad (\text{F.22})$$

$$T_{2A} = \frac{201.6}{e^{0.15*\pi} - 1} = 336.90 \text{ [N]}$$

### 11. Cálculo del diámetro y velocidad de giro del tambor motriz

- Diámetro del tambor motriz (DT)

Donde:

$F_t$ : fuerza tangencial en el régimen de giro estacionario = 126 (N)

$B$ : ancho de banda de la cinta = 0.5 (m)

$p$ : capacidad de transmisión tambor – banda = 1800 (kg/m<sup>2</sup>)

$\alpha^\circ$ : ángulo de contacto entre banda y tambor = 180°

$$D_{Tmin} = \frac{36 * F_t}{p * \pi * \alpha^\circ * B} \quad (\text{F.23})$$

$$D_{Tmin} = \frac{36 * 126}{1800 * \pi * 180^\circ * 0.5} = 0.00891 \text{ m} = 8.91 \text{ mm}$$

Se toma el valor del diámetro de tambor de la Tabla F.19 inmediatamente superior al obtenido.

**Tabla F.19 Diámetro de los tambores [47]**

Diámetro de los tambores [mm]										
190	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1400	1600

$$D_T = 190 \text{ mm}$$

- Velocidad de giro del tambor motriz (nT)

Donde:

$v$ : velocidad de avance de la banda = 0.5 (m/s)

$D_T$ : diámetro elegido del tambor motriz = 0.190 (m)

$$\eta_T = \frac{v * 60}{\pi * D_T} \quad (\text{F.24})$$

$$\eta_T = \frac{0.5 * 60}{\pi * 0.190} = 50.26 \text{ [rpm]}$$

## 12. Cargas actuantes sobre el tambor motriz

- Esfuerzo del tambor motriz en el arranque (F<sub>tA</sub>)

Donde:

$T_{1A}$  = tensión del lado tenso de la banda en el arranque (N)

$T_{2A}$  = tensión del lado menos tenso de la banda en el arranque (N)

$$F_{tA} = T_{1A} + T_{2A} \quad (\text{F.25})$$

$$F_{tA} = 536.50 + 336.90 = 873.4 \text{ [N]}$$

- Par motor en el arranque (M<sub>A</sub>)

Donde:

$F_{tA}$  = fuerza tangencial del tambor motriz en el arranque (N)

$D_T$  = diámetro seleccionado del tambor motriz

$$M_A = \frac{F_{tA} * D_T}{2} \quad (\text{F.26})$$

$$M_A = \frac{873.4 * 0.190}{2} = 82.97 \text{ [Nm]}$$

## 13. Selección final de la resistencia nominal de la banda

Donde:

$R$  = resistencia nominal mínima de la banda (N/mm)

$T$  = tensión de trabajo máximo calculada en la banda (N)

$C_S$  = es un coeficiente de seguridad, según el tipo de banda:

$C_S = 8$  para bandas con cable de acero

$C_S = 10$  para el resto de bandas

$$R = \frac{T * C_S}{B} \quad (\text{F.27})$$

La tensión T máxima calculada en todo el proceso es  $T = 536.50 \text{ N}$ , que se corresponde con la tensión del ramal más tenso durante el arranque.

$$R = \frac{536.50 * 10}{500} = 10.73$$

Se toma el valor de la resistencia nominal de la Tabla F.20 inmediatamente superior al obtenido.

**Tabla F.20 Resistencia nominales de bandas textiles [47]**

Resistencias nominales de las bandas textiles [N/mm]						
125	160	200	250	315	400	500
630	800	1000	1250	1600	2000	2500

Con esta elección se obtiene un coeficiente final de seguridad en la banda por resistencia a la tracción de:

$$C_{seg} = \frac{125}{10.73} = 11.6$$

**Tabla F.21 Características de la banda seleccionada**

<b>Movimiento</b>	<b>Banda con rieles</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	BM 8420 recto
<b>Capacidad (Kg/m)</b>	50
<b>Capacidad por módulo (Kg)</b>	220
<b>Velocidad de transporte (m/s)</b>	0.1 – 1.2
<b>Material banda</b>	Liso, 2 capas, PVC
<b>Cuna deslizante</b>	Chapa de acero cincado 3 mm
<b>Longitud de módulos (mm)</b>	510
<b>Ancho entre perfiles (mm)</b>	420

**Tabla F.22 Características del mototambor**

Accionamiento	Mototambor
Imagen	
Modelo	DM 0080 – asíncrono trifásico con reductor de engranajes de acero
Potencia nominal (W)	140
Número de polos	2
Etapas del reductor	2
Relación de transmisión	20.27
Velocidad (m/s)	0.58
Revoluciones nominales (rpm)	135.8
Par nominal del mototambor [Nm]	8.9
Tensión nominal de la banda	219
Ancho de tambor mínimo [mm]	250
Longitud de tubo mínima [mm]	243

# APÉNDICE G

## Diseño del circuito neumático

Para el diseño del circuito neumático: se realiza el diagrama de desplazamiento y lógico, para seleccionar las válvulas necesarias para el sistema.

Así tenemos el diagrama de desplazamiento de los actuadores involucrados en el sistema de sellado. En la figura G.1 se detalla el comportamiento de los actuadores: el pistón giratorio para sistema posicionar, el pistón de ascenso y el pistón para cada rulina de operación.

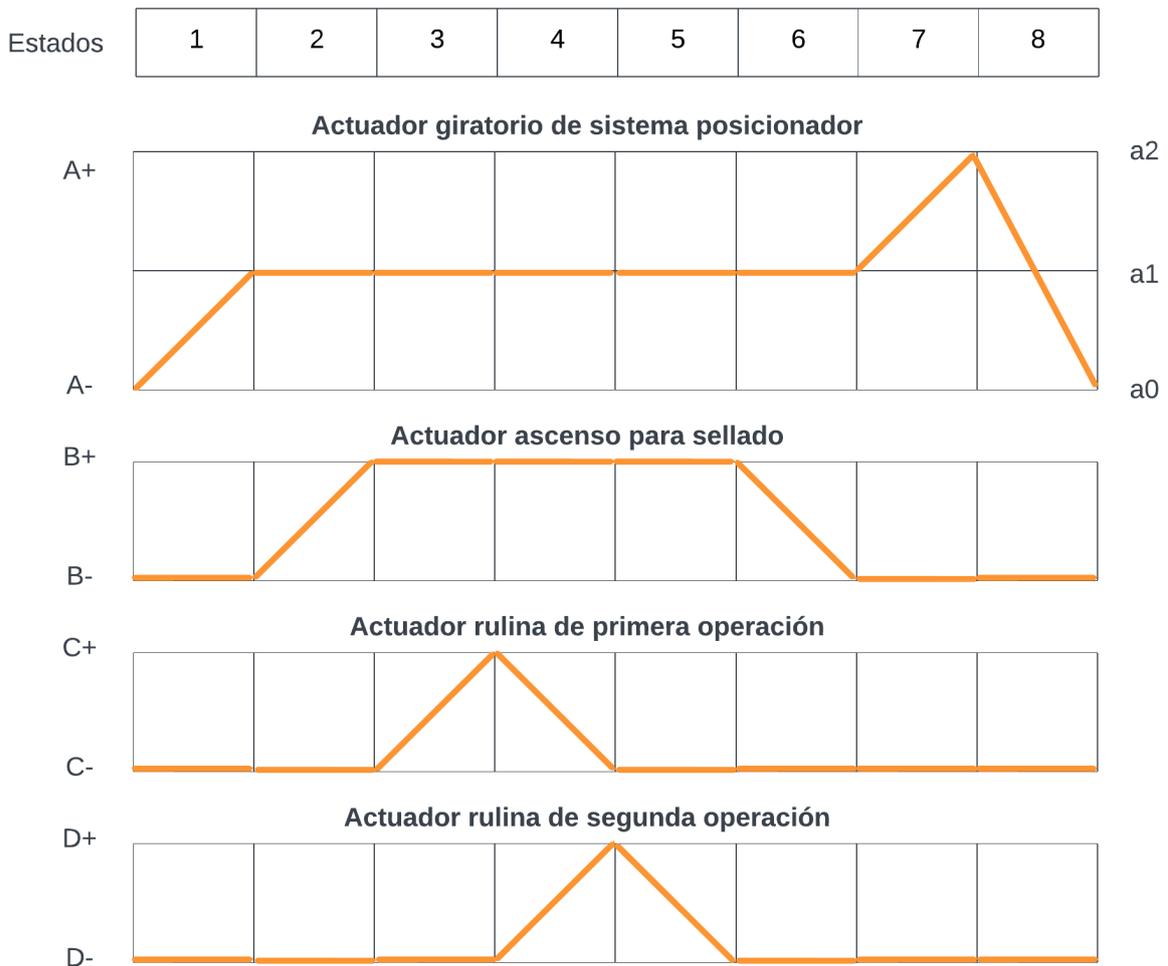


Figura G.1 Diagrama de desplazamiento para los actuadores del sistema de sellado

En la figura G.2 se define la lógica del desplazamiento de los pistones, para representar mediante circuito neumático y posterior definir la programación Ladder para el mismo.

Estados	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Actuador giratorio de sistema posicionador</b>									
A+	0	0	0	0	0	0	0	1	a2
A-	0	1	1	1	1	1	1	0	a1
<b>Actuador ascenso para sellado</b>									
B+	0	0	1	1	1	1	0	0	a0
B-									
<b>Actuador rulina de primera operación</b>									
C+	0	0	0	1	0	0	0	0	
C-									
<b>Actuador rulina de segunda operación</b>									
D+	0	0	0	0	1	0	0	0	
D-									

**Figura G.2 Diagrama de lógico para accionamiento de actuadores.**

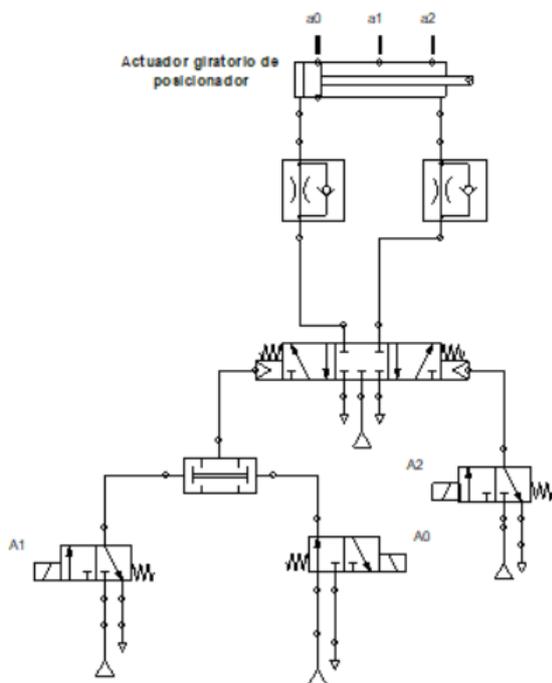
Luego de analizar el diagrama de desplazamiento de A (actuador giratorio), se simula su comportamiento de tres posiciones:

- a0: representa al actuador en 0°
- a1: representa al actuador en 90°
- a2: representa al actuador en 180°

El actuador giratorio, es necesario para el sistema posicionar en la posición a0 recibe la lata de la banda transportadora, en a1 coloca la lata en posición para sellar

y a2 devuelve la lata sellada a la banda. Finalmente, vuelve a la posición inicial y repite el proceso.

Para esto se utiliza una válvula 5/3 vías monoestable con piloto neumático y retorno por muelle, para realizar el posicionamiento en cada posición. Además, de esto es necesario válvula en "Y" para realizar la lógica de accionamiento mediante las válvulas 3/2 vías NC con accionamiento por solenoide y retorno por muelle. En la Figura G.3 se observa el circuito de actuador A y simulación del diagrama de desplazamiento.



a)

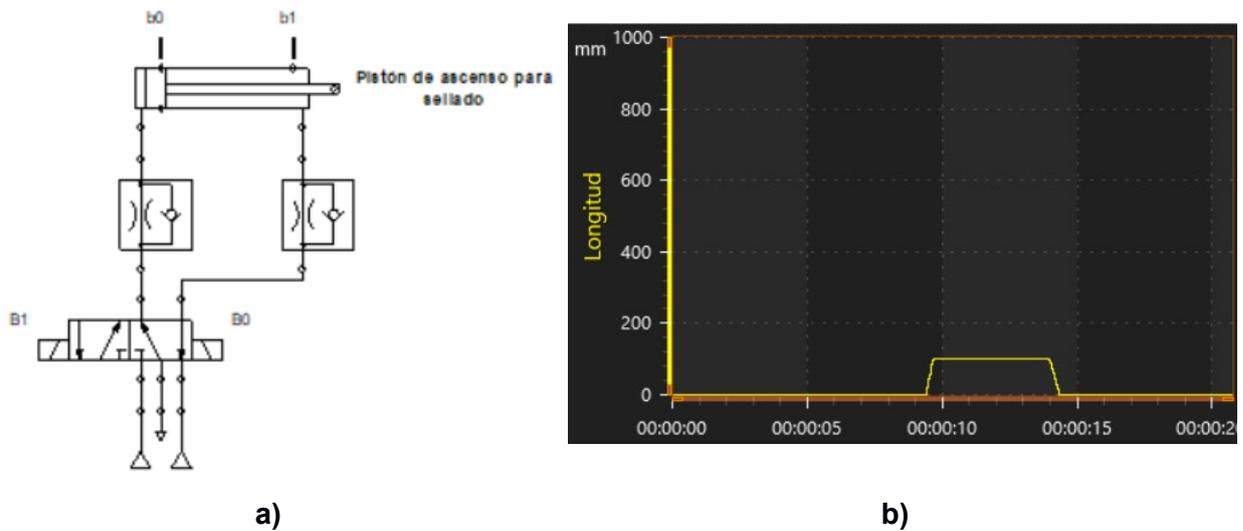


b)

**Figura G.3 a) Circuito neumático y b) diagrama de desplazamiento del actuador A.**

De acuerdo al diagrama de B (actuador de ascenso), se controla su movimiento de extensión y retracción para colocar la lata junto con el mandril, esto mediante una válvula 3/2 vías NC con accionamiento mediante solenoide.

En la Figura G.4 se observa el circuito de actuador B y simulación del diagrama de desplazamiento.

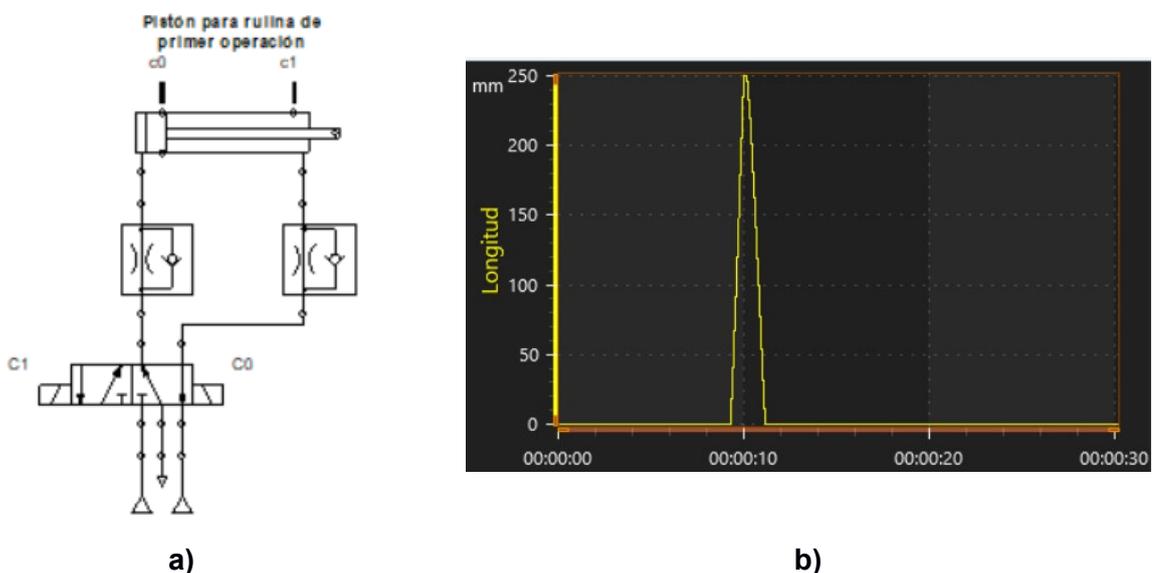


**Figura G.4 a) Circuito neumático y b) diagrama de desplazamiento del actuador B.**

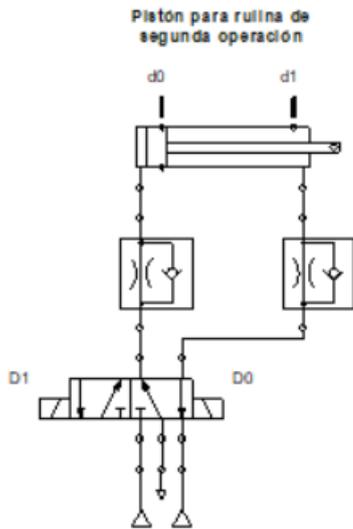
Respecto al diagrama de C y D (actuadores de rulinas), se controla de igual manera el movimiento de extensión y retracción para el movimiento del sistema de transmisión que permite que las rulinas realicen el sellado junto al mandril, esto mediante una válvula 3/2 vías NC con accionamiento mediante solenoide.

En la Figura G.5 se observa el circuito de actuador C y simulación del diagrama de desplazamiento.

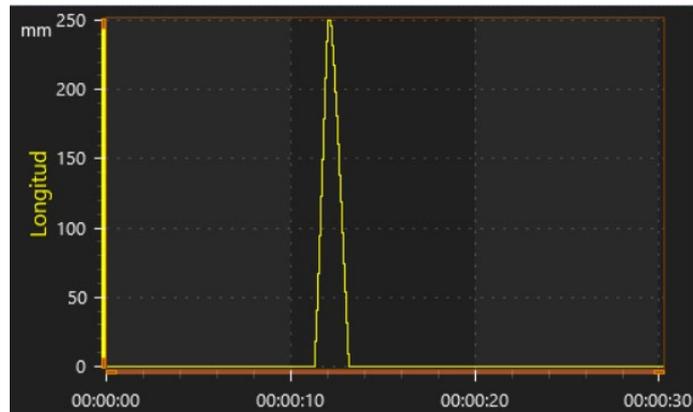
En la Figura G.6 se observa el circuito de actuador D y simulación del diagrama de desplazamiento.



**Figura G.5 a) Circuito neumático y b) diagrama de desplazamiento del actuador C.**



a)



b)

Figura G.6 a) Circuito neumático y b) diagrama de desplazamiento del actuador D.

### Selección de elementos neumáticos

Para la selección de las válvulas direccionales se analizó de acuerdo con las especificaciones que nos brinda el compresor seleccionado de la Tabla D.4, con una capacidad de aire aspirado de 356 L/min. Por lo que se utiliza un rango de seguridad del 82.6%, es decir, las válvulas seleccionadas no deben superar el caudal mínimo necesario de 650 L/min.

Se seleccionaron de acuerdo con el catálogo de Festo así la válvula 5/3 vías normalmente cerrada posee un caudal nominal de 90 L/min, como se presenta en la Tabla G.1.

**Tabla G.1 Características de válvula 5/3 vías.**

Característica	Valor
Imagen	
Modelo	VUWG-L10A-P53C-M3
Función de la válvula	5/3 normalmente cerrada
Tipo de funcionamiento	Neumático
Tamaño de válvula (mm)	10
Caudal nominal normal (l/min)	90
Presión de funcionamiento (Bar)	-0.9 a 10
Conexión neumática de utilización	M3
Precio (USD)	96,13

Para la selección de las válvulas con 3/2 vías normalmente cerrada se seleccionó el modelo VUVS que tiene un caudal nominal de 600 L/min, como se muestra en la Tabla G.2.

**Tabla G.2 Características de válvula 3/2 vías.**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	VUVS-LT20-M32C-MD-G18-F7-1C1
<b>Función de la válvula</b>	3/2 normalmente cerrada
<b>Tipo de funcionamiento</b>	Eléctrico
<b>Tamaño de válvula (mm)</b>	21
<b>Caudal nominal normal (l/min)</b>	600
<b>Presión de funcionamiento (Bar)</b>	2.5 a 10
<b>Conexión neumática de utilización</b>	G1/8
<b>Precio (USD)</b>	84,78

Para el control de los restantes actuadores se usan válvulas con 5/2 vías monoestables, de igual forma se seleccionó el modelo VUVS con un caudal nominal de 500 L/min, como se observa en la Tabla G.3.

**Tabla G.3 Características de válvula 5/2 vías.**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S
<b>Función de la válvula</b>	5/2 monoestable
<b>Tipo de funcionamiento</b>	Eléctrico
<b>Tamaño de válvula (mm)</b>	21
<b>Caudal nominal normal (l/min)</b>	550
<b>Presión de funcionamiento (Bar)</b>	1.5 a 8
<b>Conexión neumática de utilización</b>	G1/8
<b>Precio (USD)</b>	60,12

Así también, es necesario una válvula de simultaneidad para controlar la lógica de accionamiento del circuito neumático de la Figura G.3, de igual forma cumple con el rango mínimo de caudal al poseer un valor de 120 L/min, como se observa en la Tabla G.4.

**Tabla G.4 Características de válvula de simultaneidad.**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>Imagen</b>	
<b>Modelo</b>	ZK-PK-3
<b>Función de la válvula</b>	Función AND
<b>Tipo de funcionamiento</b>	Eléctrico
<b>Diámetro nominal (mm)</b>	2.4
<b>Caudal nominal normal (l/min)</b>	120
<b>Presión de funcionamiento (Bar)</b>	1.6 a 8
<b>Conexión neumática de utilización</b>	PK-3
<b>Precio (USD)</b>	37,42

Por último, se debe incorporar una unidad de mantenimiento para lubricar los componentes, filtrar y regular el aire comprimido para todo el circuito neumático. Se necesita una presión de funcionamiento hasta 8 Bar y un grado filtración para partículas pequeñas de  $5 \mu m$ , se observa las características en la Tabla G.5.

**Tabla G.5 Características de unidad de mantenimiento.**

Característica	Valor
Imagen	
Modelo	MSB4 - 531029
Tamaño	4
Grado de filtración ( $\mu m$ )	0.1 a 40
Presión de funcionamiento (Bar)	1.5 a 14
Margen de regulación de presión (Bar)	1 a 12
Precio (USD)	126,01

## APÉNDICE H

### Diagrama de instrumentación y lista de equipos.

Se realiza el diagrama P&ID que representa gráficamente el flujo de proceso, de equipos e instrumentación instalada en la máquina de sellado. Es un documento crítico y de referencia en la etapa constructiva, operación y mantenimiento el cual nos brinda información sobre equipos, tuberías, instrumentación, etc. Es necesario mantener el diagrama P&ID actualizado para reflejar cualquier cambio en el proceso.

Primero se realiza el diagrama P&ID para la parte neumática, donde se representa el circuito neumático de la Figura 3.6, de esta forma se identifican los actuadores y sensores dentro del sistema.

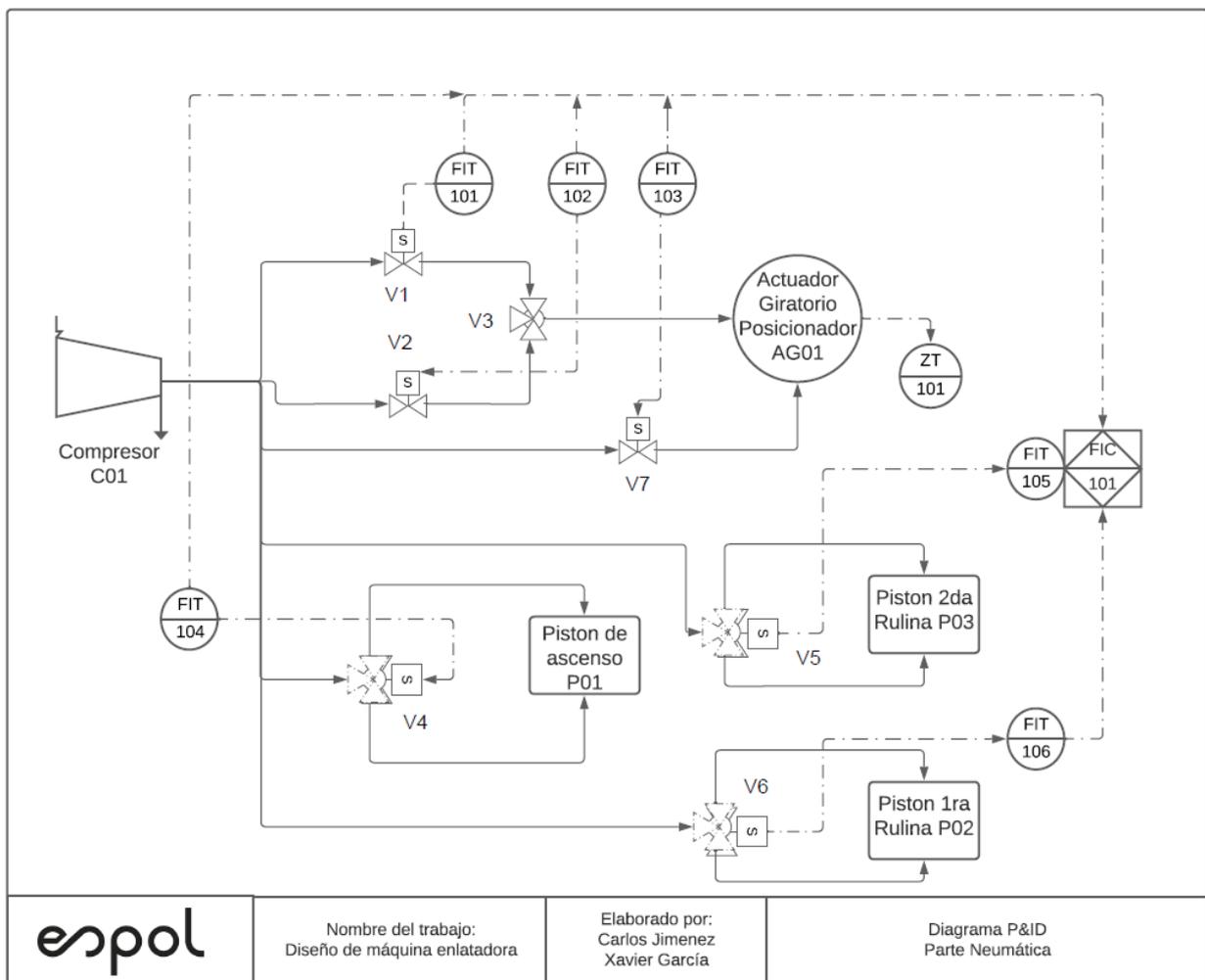


Figura F.1 Diagrama P&ID de la parte neumática

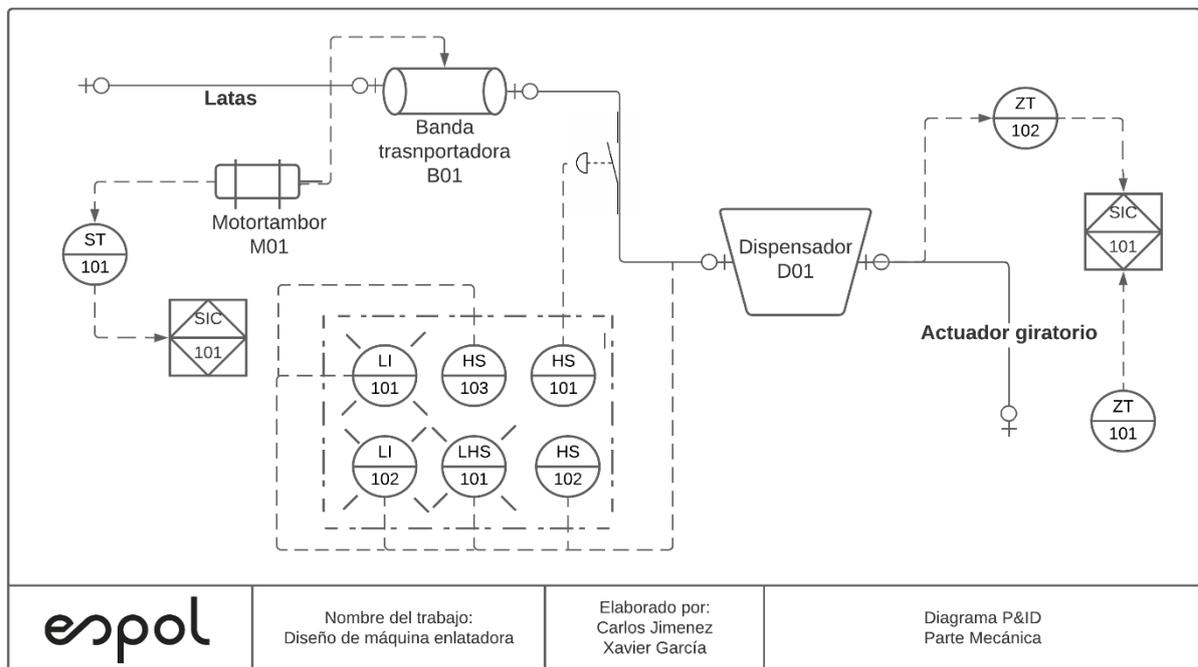
**Tabla F.1 Tabla de equipos actuadores del diagrama P&ID (Figura F.1)**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de señal</b>	<b>Rango de operación físico</b>	<b>Rango de operación eléctrico</b>
<b>C01</b>	Compresor	8119500LEV517	Neumática	Aire aspirado: 356 L/min	230V - 50HZ
<b>AG01</b>	Actuador giratorio neumático	DRVS-6-180-P-EX4	Neumática	Ángulo de giro: 0 a 180 grados	-
<b>P01</b>	Pistón neumático de ascenso	DNC-40-100-PPV	Neumática	Carrera: 100 mm	-
<b>P02</b>	Pistón neumático de primera rulina	DNC-32-25-PPV-A	Neumática	Carrera: 32 mm	-
<b>P03</b>	Pistón neumático de segunda rulina	DNC-32-25-PPV-A	Neumática	Carrera: 32 mm	-
<b>V1, V2, V3</b>	Válvula 3/2 monoestable para control de posición del actuador	VUVS-LT20-M32C-MD-G18-F7-1C1	Eléctrica	Caudal nominal: 600 l/min	24 V DC; 2.6 W
<b>V5</b>	Válvula 5/2 monoestable para control de pistón 1ra rulina	VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S	Eléctrica	Caudal nominal: 550 l/min	24 V DC; 2.4 W
<b>V6</b>	Válvula 5/2 monoestable para control de pistón 2da rulina	VUVS-LK20-M52-AD-G18-1C1-S	Eléctrica	Caudal nominal: 550 l/min	24 V DC; 2.4 W
<b>V7</b>	Válvula 5/3 normalmente cerrada para actuador giratorio	VUWG-L10A-P53C-M3	Neumática	Caudal nominal: 50 l/min	-

**Tabla F.2 Tabla de equipos sensores del diagrama P&ID (Figura F.1)**

Nomenclatura	Descripción	Nombre	Tipo de señal	Rango de operación físico	Rango de operación eléctrico
<b>FIT</b>	Sensor indicador transmisor de caudal	FS5021	Analógica	0-200.000 m <sup>3</sup> /h	0 – 10V, 4 – 20 mA
<b>ZT</b>	Sensor transmisor de posición	72189524	Analógica	Ángulo de giro: 0 a 180 grados	4 – 20 mA

Luego se realiza el diagrama P&ID para la parte mecánica y de esta manera tener el diagrama completo de todo el sistema, de esta forma se conectan los componentes mediante líneas mecánicas entre los diferentes actuadores y se usan líneas eléctricas para conexiones de motor y sensores.



**Figura F.2 Diagrama P&ID de la parte mecánica.**

**Tabla F.3 Tabla de equipos actuadores del diagrama P&ID (Figura F.2)**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de señal</b>	<b>Rango de operación físico</b>	<b>Rango de operación eléctrico</b>
<b>B01</b>	Banda transportadora	BM 8420 recto	Neumática	Velocidad de transporte: 0.1 – 1.2 ms	-
<b>M01</b>	Mototambor de la banda transportadora	DM 0080	Eléctrica	Par nominal: 8.9 Nm	230 V – 50 Hz
<b>D01</b>	Dispensador de tapas	-	-	-	-

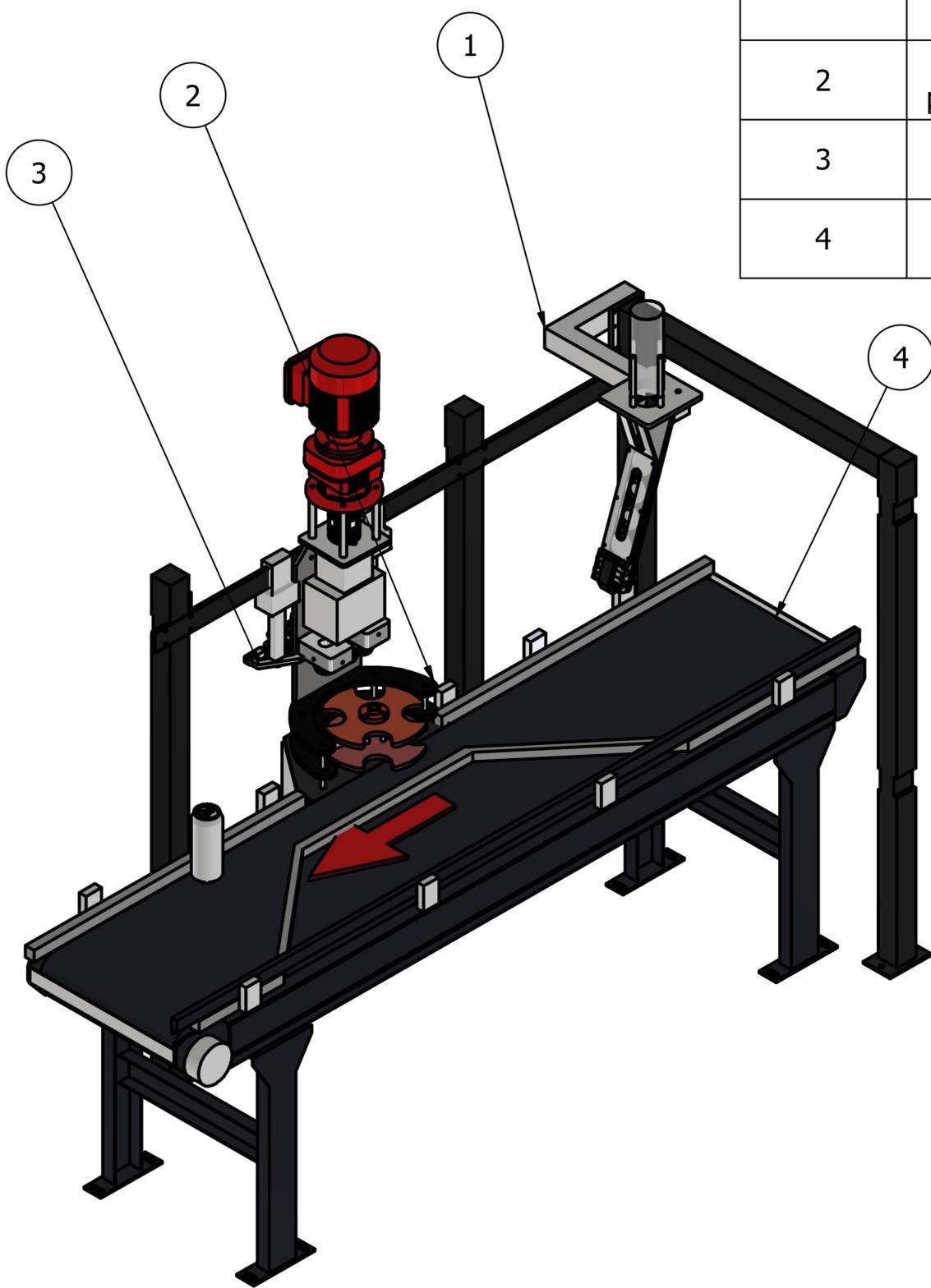
**Tabla F.4 Tabla de equipos sensores del diagrama P&ID (Figura F.2)**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nombre</b>	<b>Tipo de señal</b>	<b>Rango de operación físico</b>	<b>Rango de operación eléctrico</b>
<b>ST</b>	Sensor transmisor de velocidad	ST420	Analógica	0-10kHz	4 – 20 mA
<b>ZT</b>	Sensor transmisor de posición	LJC30A3-H-Z/BX (NPN-NO)	Analógica	Rango de detección: 3 a 10 mm	4 – 20 mA

## **APÉNDICE I**

### **Planos Mecánicos**

TABLA DE PARTES	
ITEM NO.	COMPONENTE
1	Sistema dispensador de tapas
2	Sistema de posicionamiento
3	Sistema de Sellado
4	Banda transportadora

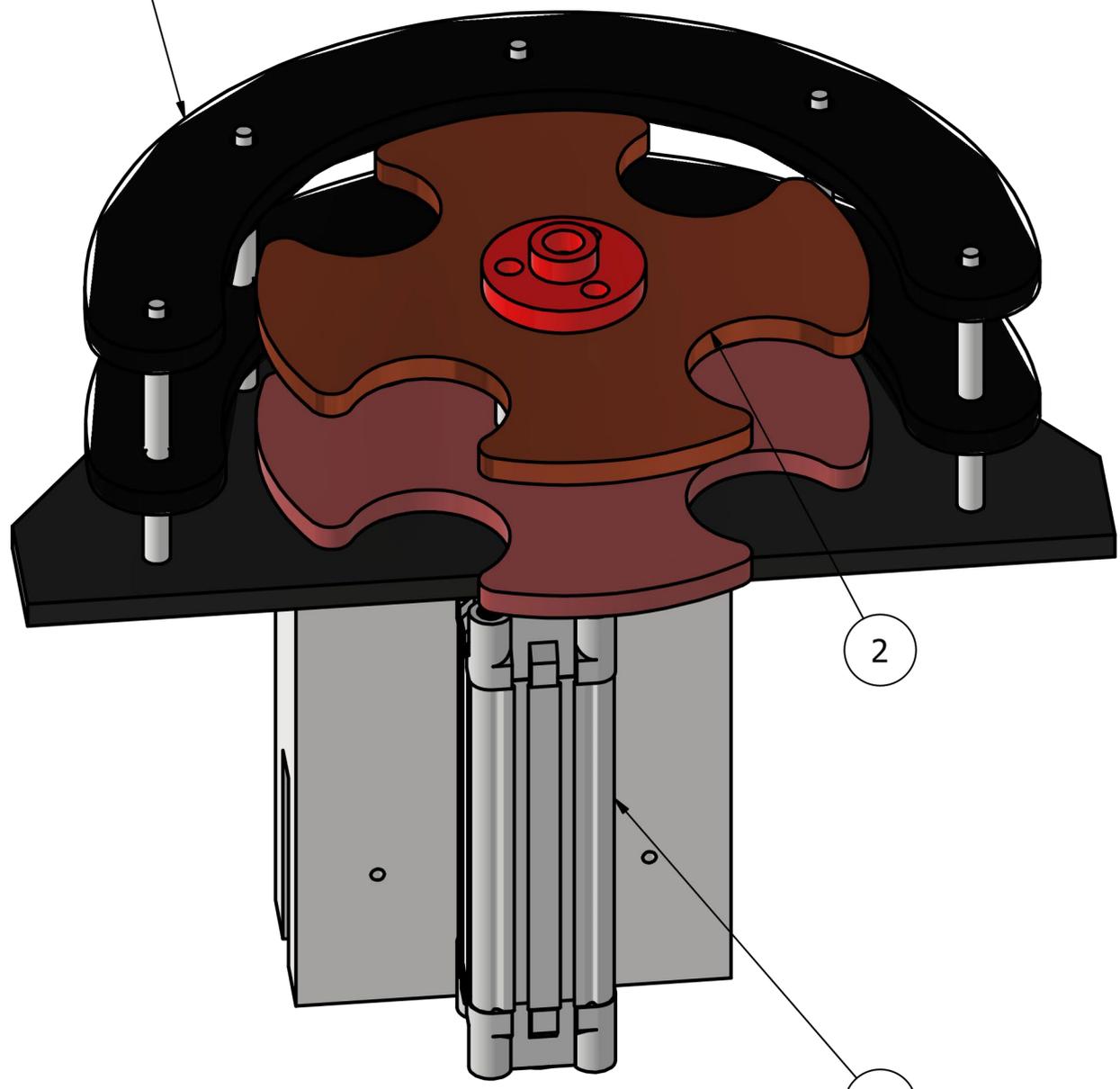


Autores: Xavier García Carlos Jimenez		Fecha: 8/2/2023		Máquina Enlatadora		
		Tamaño A	Escala: 1 : 13	Unidades mm	Revisado por: Carlos Saldarriaga, Ph.D.	



TABLA DE PARTES	
ITEM NO.	COMPONENTE
1	Mecanismo de curva
2	Posicionador en cruz
3	Pistón neumático de ascenso

1



2

3

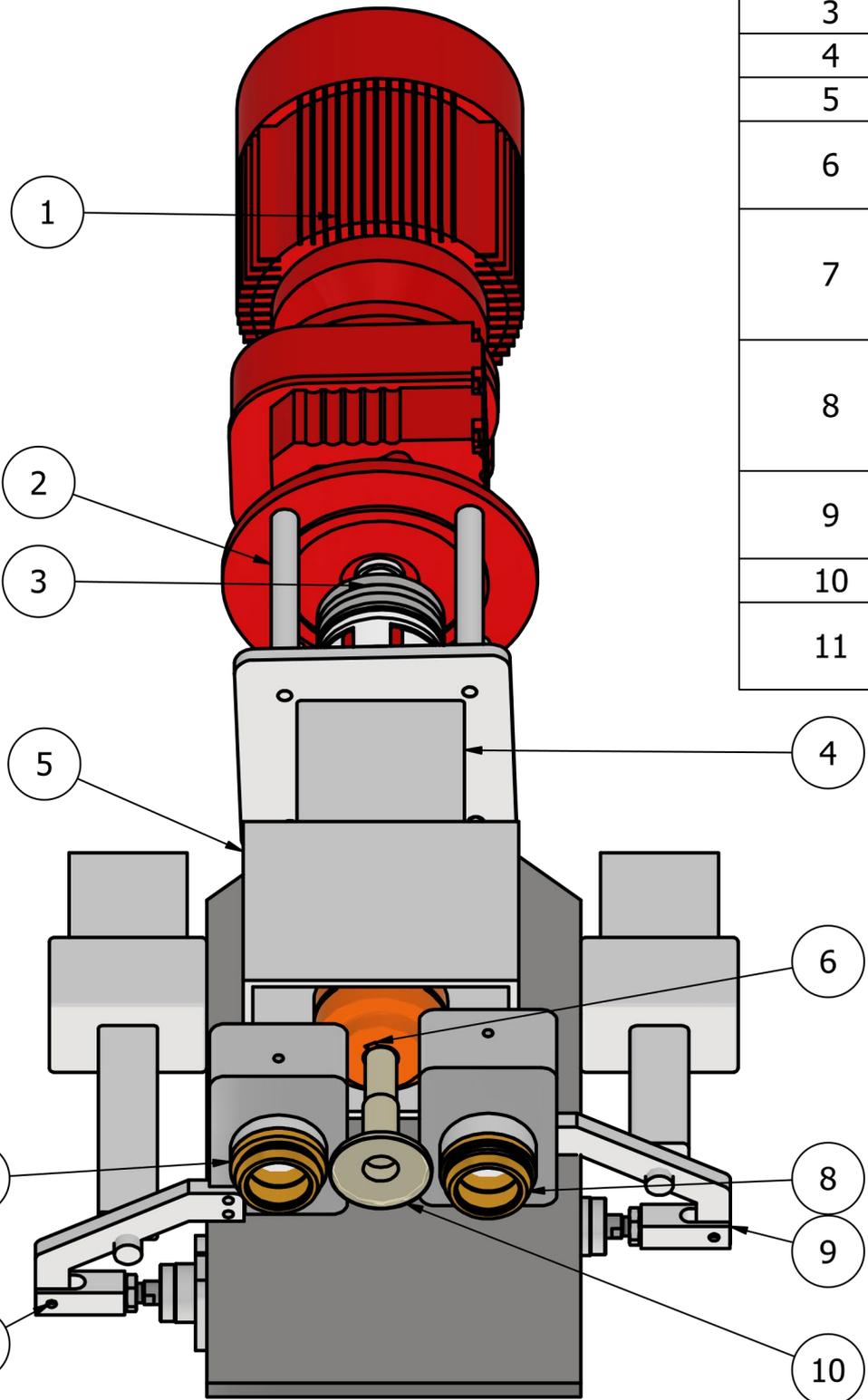
Autores: Xavier García Carlos Jimenez		Fecha: 8/2/2023		Sistema de posicionamiento	
		Tamaño A	Escala: 2 : 5		





TABLA DE PARTES

ITEM NO.	COMPONENTE
1	Motorreductor
2	Sosten del motor
3	Rotex GS 28 19
4	Caja de la base
5	Caja del Mandril
6	Acoplamiento del eje
7	Rola de la primera Operación
8	Rola de la segunda Operación
9	Pistón neumático primera rulina
10	Mandril
11	Pistón neumático segunda rulina



Autores:  
Xavier García  
Carlos Jimenez

Fecha:  
8/2/2023

Sistema de Sellado



Tamaño  
A

Escala:  
2: 7

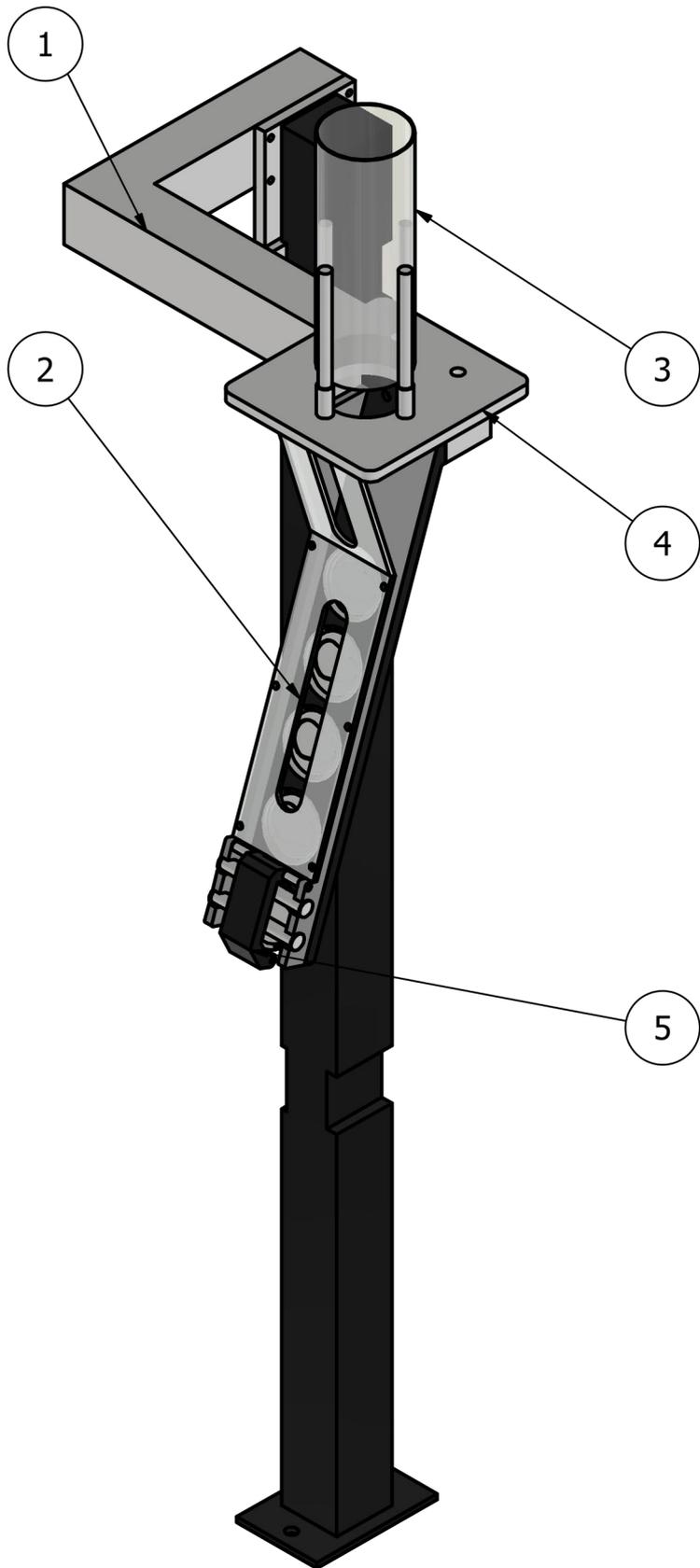
Unidades  
mm

Revisado por:  
Carlos Saldarriaga, Ph.D.



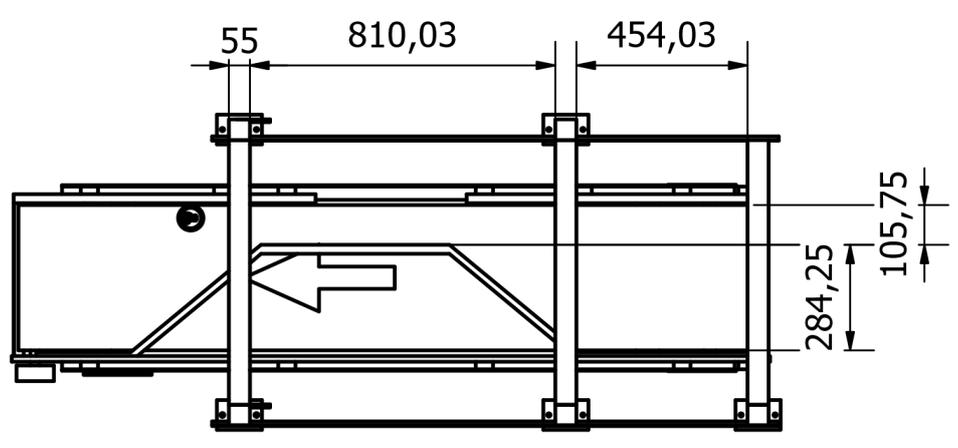
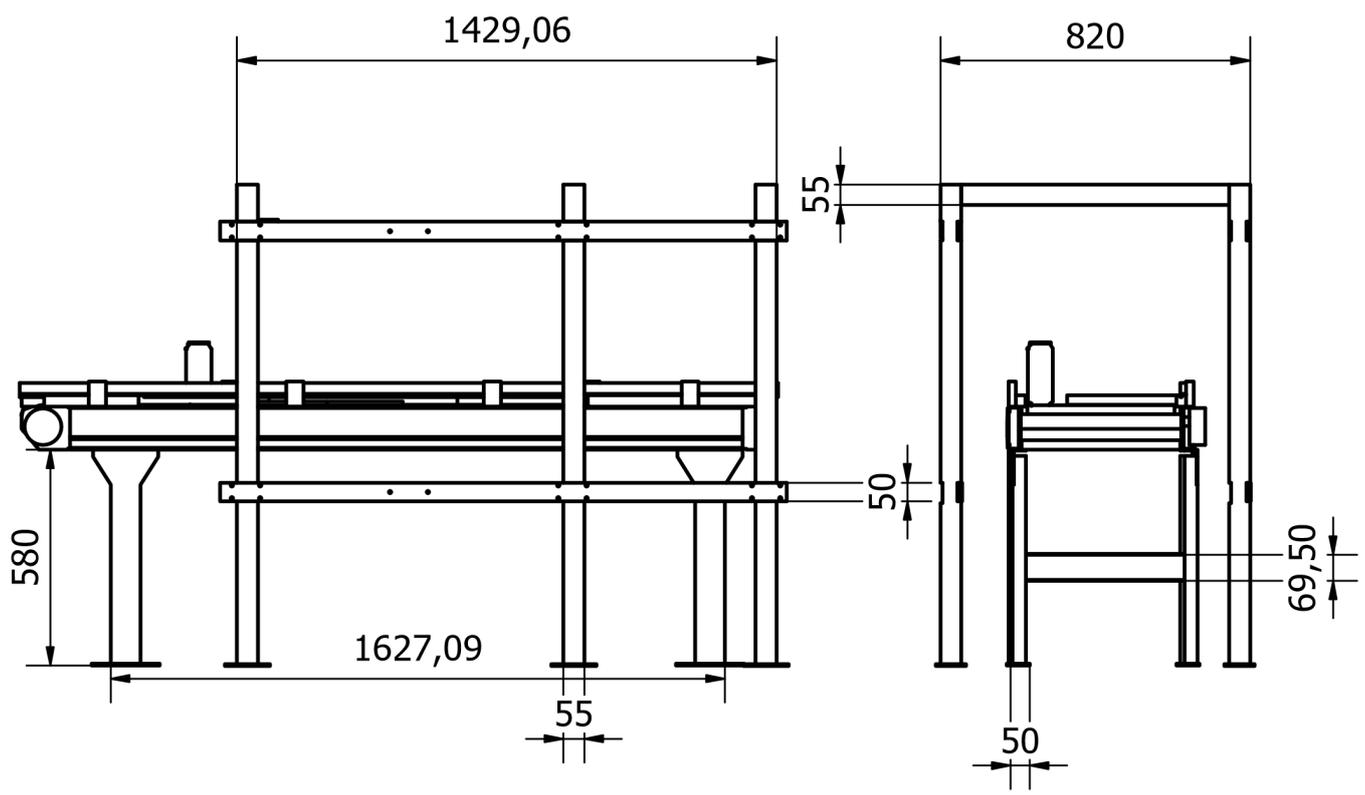


TABLA DE PARTES	
ITEM NO.	COMPONENTE
1	Base forma L
2	Tapa de vidrio
3	Embudo de tapas
4	Platina dispensadora
5	Sosten de tapa

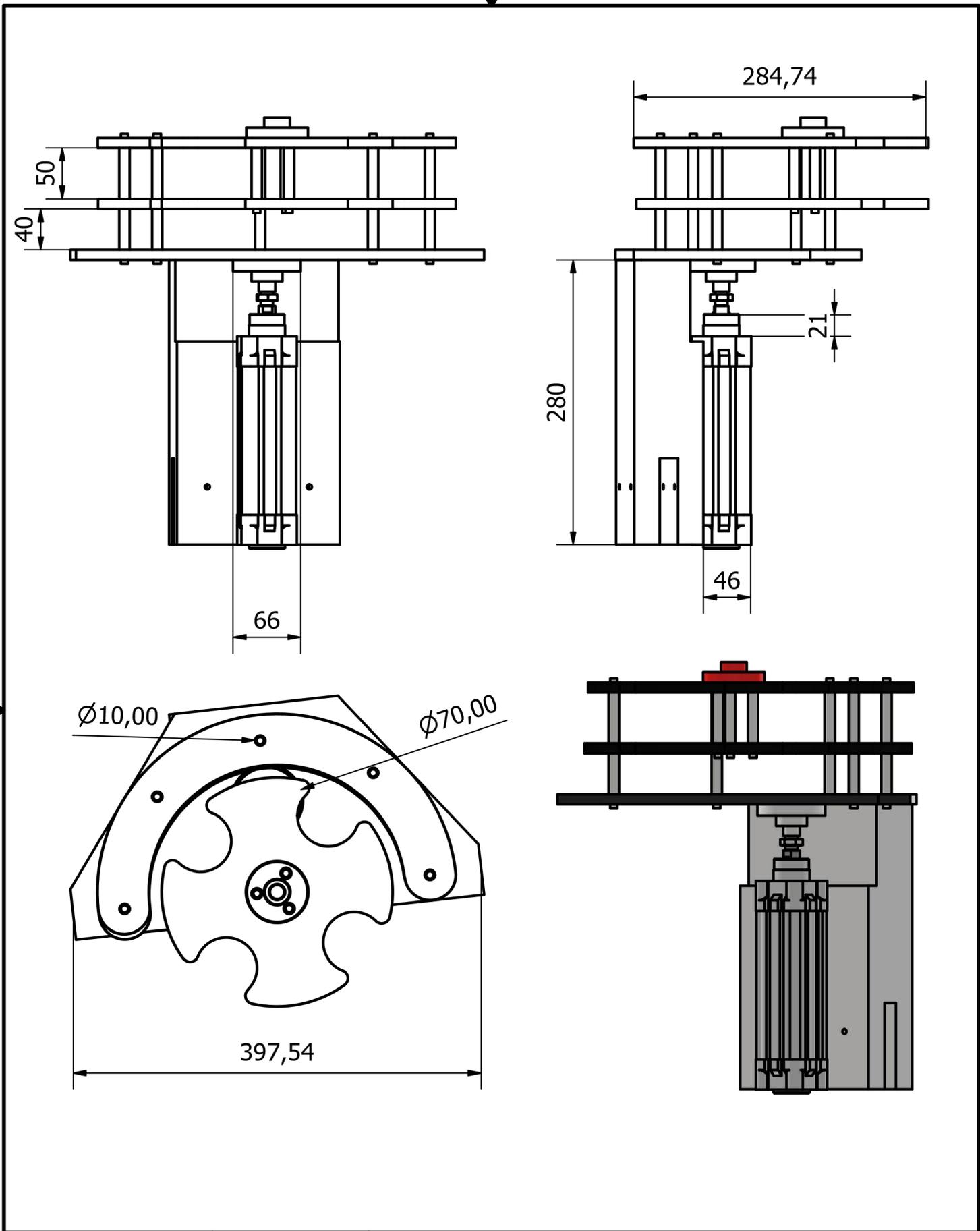


Autores: Xavier García Carlos Jimenez	Fecha: 8/2/2023	Dispensador de tapas		
---	--------------------	----------------------	--	--

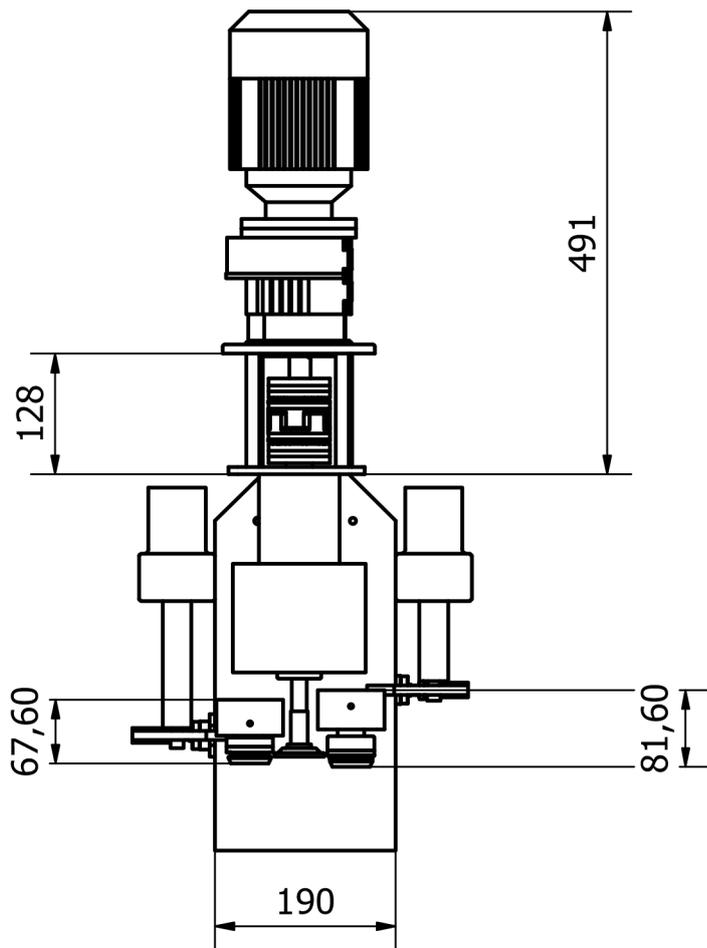
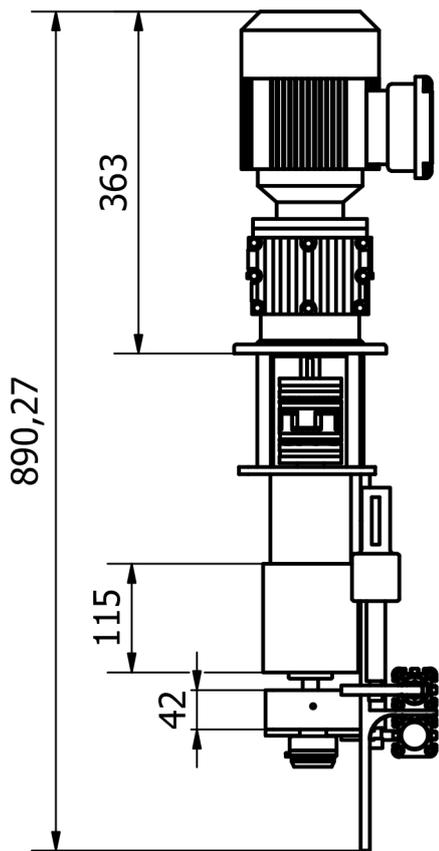
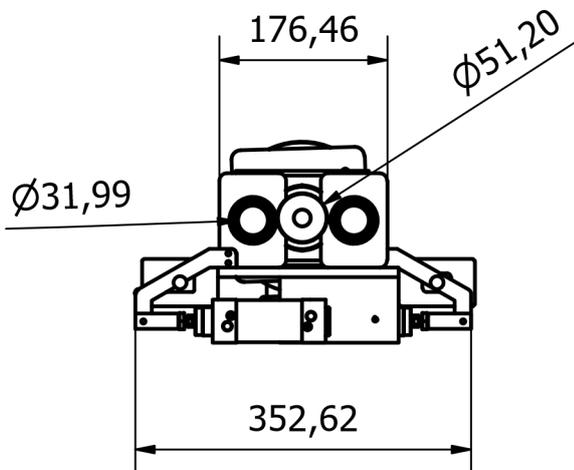
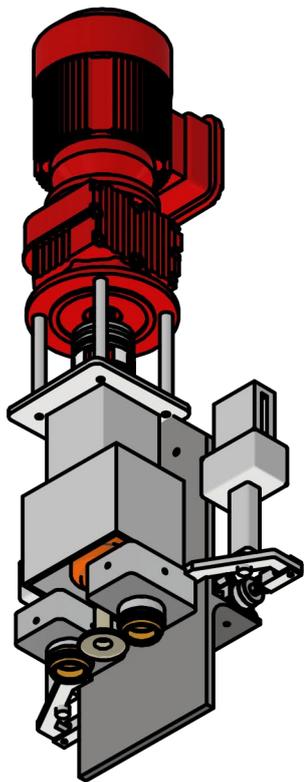
	Tamaño A	Escala: 1 : 5	Unidades mm	Revisado por: Carlos Saldarriaga, Ph.D
--	-------------	------------------	----------------	---



Autores: Xavier García Carlos Jimenez	Fecha: 8/2/2023	<b>Estructura</b>			
		Tamaño A	Escala: 1 : 20	Unidades mm	Revisado por: Carlos Saldarriaga, Ph.D



Autores: Xavier García Carlos Jimenez		Fecha: 8/2/2023	Sistema posicionador			
		Tamaño A	Escala: 1 : 5	Unidades mm	Revisado por: Carlos Saldarriaga, Ph.D.	



Autores: Xavier García Carlos Jimenez	Fecha: 8/2/2023	Sistema rotatorio			
	Tamaño A	Escala: 1 : 8	Unidades mm	Revisado por: Carlos Saldarriaga, Ph.D.	