



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENVASE  
Y SELLADO DE LATAS”

AUTORES

BOLAÑOS NARANJO, JUAN MANUEL

GÓMEZ MASAPANTA, JORGE DAVID

DIRECTOR: ING. ESCOBAR CARVAJAL, LUIS FERNANDO

SANGOLQUÍ

2018



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENVASE Y SELLADO DE LATAS”* ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditar y autorizar a los señores *BOLAÑOS NARANJO JUAN MANUEL* y *GÓMEZ MASAPANTA JORGE DAVID* para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 22 de enero de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Escobar', is written over a horizontal dashed line.

ING. LUIS ESCOBAR  
DIRECTOR



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **BOLAÑOS NARANJO JUAN MANUEL**, con cédula de identidad N° 172151598-7 y **GÓMEZ MASAPANTA JORGE DAVID**, con cédula de identidad N° 172532487-3, declaramos que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENVASE Y SELLADO DE LATAS**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 22 de enero de 2018

-----  
BOLAÑOS NARANJO JUAN MANUEL  
C.I. 172151598-7

-----  
GÓMEZ MASAPANTA JORGE DAVID  
C.I. 172532487-3



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y LA MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **BOLAÑOS NARANJO JUAN MANUEL** y **GÓMEZ MASAPANTA JORGE DAVID**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENVASE Y SELLADO DE LATAS**" cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 22 de enero de 2018

Firma manuscrita en azul de Bolaños Naranjo Juan Manuel.

-----  
BOLAÑOS NARANJO JUAN MANUEL  
C.I. 172151598-7

Firma manuscrita en azul de Gómez Masapanta Jorge David.

-----  
GÓMEZ MASAPANTA JORGE DAVID  
C.I. 172532487-3

## **DEDICATORIA**

Dedico este título de Ingeniero Mecatrónico, a mi madre que me trajo al mundo, me dio una niñez feliz, me enseñó siempre a ser el mejor, me apoyó en todos los proyectos y sueños que he tenido y pese a todos los problemas que se han presentado a lo largo de la vida, jamás se dio por vencida para sacar adelante a sus hijos. Todo su esfuerzo, dedicación y perseverancia me permiten este día, alcanzar este triunfo.

Juan Manuel Bolaños Naranjo.

La culminación exitosa de esta carrera universitaria es un trabajo en conjunto con mi familia. Dedico este título de Ingeniero Mecatrónico a mis padres Aydeé Mercedes y Jorge Ramiro, por su apoyo incondicional que me han brindado en cada paso de mi vida. A mis hermanos Vilma y Raúl por su comprensión cuando puedo llegar a ser una persona estricta, sepan que es por amor. A mis familiares que mostraron su total apoyo en nuestra realización. A Dios por tener planes maravillosos en nosotros, por brindarme tranquilidad en momentos de angustia.

Jorge David Gómez Masapanta.

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, por traerme en este país hermoso, mi Ecuador, por traerme en mi familia, que es la única en la que hubiera querido nacer y por poner en mi camino personas especiales que hacen de mi vida un viaje hermoso y feliz.

A mi madre, por todo lo que ha hecho por mí con el amor más puro, cada día desde que llegué a este mundo. Te debo más de lo que se podría pagar en mil años madre.

A mi padre, que siempre me enseñó a soñar en grande, a ser el jefe, a ser el líder, a ser el capitán, a honrar a mi familia y lo más importante, que no basta soñar, se deben mover las manos para que los proyectos salgan adelante.

A David, Mateo y Raquel, porque son mi equipo ganador en este partido de fútbol que es la vida, nos estamos preparando para cambiar el mundo.

A mi novia Stephanie, que hace de mis días junto a ella un paraíso, me ha enseñado a ser feliz, positivo y perseverante pese a los problemas que se presentan, siempre tiene una alternativa y una solución para todo. Te amo mi guapa.

A mi abuelita María Elena que siempre brindó su apoyo y cariño para el progreso de sus nietos.

A mi amigo Jorge David, que llegó a mi vida en un momento no ideal, pero gracias a sus buenos ejemplos, dedicación y apoyo, hoy podemos compartir este primer logro, el siguiente será ser millonarios.

A los padres de mi amigo Jorge, que confiaron en nosotros y su apoyo fue esencial para el desarrollo del presente proyecto.

A mis tías Lilia, Yolanda, Norma, Mimí y a mi tío Luis por su apoyo desinteresado y con mucho cariño al desarrollo del presente proyecto.

Al Ing. Luis Escobar, por confiar en nuestras capacidades e invitarnos a este gran proyecto.

Juan Manuel Bolaños Naranjo.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por hacer las cosas en su voluntad, permitiéndonos saber elegir la mejor de las decisiones.

A papá y a mamá por confiar siempre en nosotros, y tengan la certeza que haremos el mejor de los esfuerzos para cumplir con nuestros sueños.

Al amor de mi vida Zuleth Vallejo, quien se ha convertido en el complemento de mi vida siendo un gran ejemplo como persona y profesionalmente.

A mi amigo Daniel Zurita, el hombre más veloz que existe, quien se ha convertido en un hermano como persona y profesionalmente.

A mi amigo Juan Manuel Bolaños, por confiar en nuestro talento de hacer cosas increíbles y vamos a ser millonarios conquistando el mundo.

Al Ing. Luis Escobar, por darnos la oportunidad de hacer cosas diferentes.

A esta prestigiosa Universidad, el permitirnos demostrar que somos los mejores.

Jorge David Gómez Masapanta.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1.    Antecedentes.....	1
1.2.    Justificación e Importancia.....	2
1.3.    Alcance .....	2
1.4.    Objetivos.....	2
1.4.1.    Objetivo general.....	2
1.4.2.    Objetivos específicos .....	3
1.5.    Marco teórico.....	3
1.5.1.    Cerveza artesanal .....	3
1.5.2.    Envasado de la cerveza .....	3
1.5.3.    Enlatado de la cerveza.....	5
1.5.4.    Máquinas para alimentos.....	10
1.5.5.    Máquinas comerciales.....	16



<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>DESARROLLO DEL SISTEMA</b> .....	17
2.1. Metodología de diseño .....	17
2.1.1. Requerimientos .....	18
2.1.2. Diseño del sistema .....	18
2.1.3. Diseño específico .....	18
2.1.4. Integración del sistema.....	18
2.1.5. Verificación de las propiedades.....	18
2.1.6. Modelado y análisis de modelos.....	18
2.1.7. Producto.....	18
2.2. Subsistema de Llenado.....	19
2.2.1. Requerimientos .....	19
2.2.2. Diseño.....	19
2.2.3. Materiales .....	22
2.3. Subsistema de Sellado .....	24
2.3.1. Requerimientos .....	24
2.3.2. Diseño.....	24
2.3.3. Material .....	27
2.3.4. Proceso .....	28
2.4. Integración del sistema.....	30
2.4.1. Eléctrico.....	30
2.4.2. Neumático.....	33
2.4.3. Diseño de ejes de sujeción .....	54
2.4.4. Control de la máquina .....	61
2.4.4. Automatización .....	63
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>PRUEBAS, VALIDACIÓN Y RESULTADOS</b> .....	64
3.1. Protocolo de pruebas de la lata .....	64
3.1.1. Fase 1, Examen visual y medidas exteriores .....	65
3.1.2. Fase 2, Fugas .....	66
3.1.3. Fase 3, Desmontaje del cierre .....	67
3.1.4. Fase 4, Mediciones internas.....	67
3.2. Resultados de la lata.....	68

3.2.1. Fase 1, Examen visual y medidas exteriores .....	68
3.2.2. Fase 2, Fugas .....	70
3.2.3. Fase 3, Desmontaje del cierre .....	71
3.2.4. Fase 4, Mediciones internas .....	72
3.3. Protocolo de pruebas para la máquina .....	73
3.3.1. Tiempo de sellado .....	73
3.3.2. Análisis estadístico .....	73
3.4. Resultados de la máquina .....	74
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>75</b>
4.1. Costos Directos .....	75
4.2. Costos Indirectos .....	77
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>79</b>
5.1. Conclusiones .....	79
5.2. Recomendaciones .....	80
5.3. Trabajo futuro .....	80
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Diferencias entre el envasado en lata y botella de vidrio</i>	4
Tabla 2 <i>Máquinas selladoras de los principales fabricantes</i>	16
Tabla 3 <i>Temperatura y presión según el nivel de carbonatación</i>	21
Tabla 4 <i>Tubería para llenado de cerveza</i>	22
Tabla 5 <i>Válvula para llenado de cerveza</i>	23
Tabla 6 <i>Requerimientos para el actuador de ascenso de la lata</i>	25
Tabla 7 <i>Especificaciones del fabricante para la lata cerrada</i>	26
Tabla 8 <i>Materiales para rodillos y mandril de cierre</i>	27
Tabla 9 <i>Recubrimientos superficiales para rodillos y mandril de cierre</i>	27
Tabla 10 <i>Características del mandril y rodillos utilizados</i>	29
Tabla 11 <i>Ponderación de importancia de criterios</i>	30
Tabla 12 <i>Alternativas para la selección del motor</i>	31
Tabla 13 <i>Comparación de criterios para la selección del motor</i>	31
Tabla 14 <i>Prioridad de alternativas para la selección del motor</i>	31
Tabla 15 <i>Características del motor para el giro del mandril</i>	32
Tabla 16 <i>Características de la fuente neumática utilizada</i>	33
Tabla 17 <i>Especificaciones dimensionales de latas de aluminio</i>	35
Tabla 18 <i>Resumen de características del actuador de ascenso</i>	35
Tabla 19 <i>Alternativas para la selección del actuador de ascenso</i>	36
Tabla 20 <i>Comparación de criterios para la selección del actuador de ascenso</i>	36
Tabla 21 <i>Prioridad de alternativas para la selección del actuador de ascenso</i>	36
Tabla 22 <i>Resumen de características del actuador Chanto</i>	37
Tabla 23 <i>Mecanismos de transmisión de fuerza</i>	38
Tabla 24 <i>Resumen de cálculos</i>	44
Tabla 25 <i>Alternativas para la selección de los actuadores</i>	45
Tabla 26 <i>Comparación de criterios para la selección de los actuadores</i>	45
Tabla 27 <i>Prioridad de alternativas para la selección de los actuadores</i>	45
Tabla 28 <i>Resumen de características de los actuadores Parker</i>	46
Tabla 29 <i>Rugosidad absoluta de materiales</i>	48
Tabla 30 <i>Caída de presión en la línea 1</i>	51
Tabla 31 <i>Caída de presión en la línea 2</i>	52
Tabla 32 <i>Caída de presión en la línea 3</i>	53
Tabla 33 <i>Características de simulación</i>	57
Tabla 34 <i>Defectos detectables por inspección visual</i>	65
Tabla 35 <i>Resultados de la inspección visual</i>	68
Tabla 36 <i>Resultados de las medidas exteriores</i>	69
Tabla 37 <i>Resultados de las medidas interiores</i>	73
Tabla 38 <i>Resultados del tiempo de sellado</i>	74
Tabla 39 <i>Costos directos de la estructura</i>	75
Tabla 40 <i>Costos directos de la selladora</i>	76

Tabla 41 <i>Costos Directos Totales</i>	77
Tabla 42 <i>Costos indirectos de máquinas y herramientas</i>	77
Tabla 43 <i>Costos indirectos de mano de obra</i>	78
Tabla 44 <i>Costos Operativos</i>	78
Tabla 45 <i>Total de costos indirectos</i>	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Primeros modelos de lata	5
Figura 2 Easy-Tab	6
Figura 3 Sistema de apertura desde los 80's	6
Figura 4 Cuerpo (a) y tapa (b)	7
Figura 5 Partes del cierre	7
Figura 6 Secuencia de sellado	8
Figura 7 Primera operación	9
Figura 8 Segunda operación	9
Figura 9 Junta permanente	12
Figura 10 Juntas soldadas (a) y Tubería soldada (b)	12
Figura 11 Bordes y perfiles	13
Figura 12 Junta desmontable	13
Figura 13 Zonas de almacenamiento	14
Figura 14 Riesgoso (a) y aceptable (b)	14
Figura 15 Elementos de fijación	15
Figura 16 Macro ciclo modelo V de diseño mecatrónico	17
Figura 17 Sistema de llenado	19
Figura 18 Recipiente de CO2 y barril de cerveza	20
Figura 19 Llenado de balance a) correcto b) incorrecto	21
Figura 20 Barril de cerveza	22
Figura 21 Válvulas de llenado	23
Figura 22 Tapa de la lata	24
Figura 23 Perfil del mandril	24
Figura 24 Posicionamiento antes de la operación	25
Figura 25 Perfiles de rodillos de cierre (a) 1ra operación (b) 2da operación	26
Figura 26 Rectificado de rodillo	28
Figura 27 Rodillos y mandril utilizados	29
Figura 28 Motor para giro del mandril	32
Figura 29 Compresor de aire	33
Figura 30 Actuador de ascenso	37
Figura 31 Mecanismo de palanca	38
Figura 32 Fuerza generada por mecanismo de palanca	39
Figura 33 Disposición a) previo b) durante el cierre	44

Figura 34 Actuadores de ascenso	46
Figura 35 Sistema neumático de la máquina	47
Figura 36 Esquema de fuerzas	54
Figura 37 Deflexión del soporte	54
Figura 38 Análisis estático	55
Figura 39 Simulación del eje de soporte	57
Figura 40 Ciclos de esfuerzo - Resistencia	60
Figura 41 Sistema de potencia	61
Figura 42 Sistema de control	61
Figura 43 Diagrama de flujo del proceso	62
Figura 44 Línea automática de envasado	63
Figura 45 Concepto de la línea automática	63
Figura 46 Lote y muestra para el análisis del sellado	64
Figura 47 Medidas exteriores del cierre	66
Figura 48 Toma de medidas internas	67
Figura 49 Inspección visual	68
Figura 50 Medidas exteriores de la muestra	69
Figura 51 Pruebas de estanqueidad	70
Figura 52 Desmontaje del cierre	71
Figura 53 Pulido de muestras	71
Figura 54 Medidas interiores de la muestra	72
Figura 55 Medidas interiores de la lata 2	72
Figura 56 Subsistemas del proyecto	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **Anexo I Planos**

## RESUMEN

En los últimos años en Ecuador, se ha incrementado la cantidad de bares temáticos y empresas que elaboran cerveza artesanal. Sus productos son comercializados en botellas de vidrio por más de 150 cervecerías artesanales activas en el país. Para reducir la utilización de este envase tradicional, a nivel mundial se está promoviendo una cultura de consumo de bebidas carbonatadas en latas de aluminio. En la Cervecería Artesanal Santa Rosa, se busca darle valor agregado al proceso de envasado que se usa actualmente, además de obtener un beneficio económico mientras cumple con las políticas de responsabilidad social de la empresa. El presente proyecto de diseño y construcción se desarrolló utilizando la metodología de diseño para sistemas mecatrónicos VDI 2206 mientras se emplea la normativa de máquinas para alimentos INEN EN 1672-2. El diseño de la máquina permite su integración en una línea de producción modular y semi industrial de bebidas en lata. De los resultados obtenidos en la evaluación del cierre de la lata y desempeño inicial de la máquina, se puede concluir que el cierre cumple con las medidas especificadas para un correcto cierre.

### Palabras clave

- LATA DE ALUMINIO
- SELLADORA DE LATAS
- CIERRE DOBLE
- NORMA EN 1672-2

## ABSTRACT

In recent years in Ecuador, the number of theme bars and companies that brew craft has increased. Its products are sold in glass bottles by more than 150 craft breweries active in the country. To reduce the use of this traditional packaging, a culture of consumption of carbonated drinks in aluminum cans is being promoted worldwide. Santa Rosa Craft Brewery seeks to add value to the packaging process currently used, in addition to obtaining an economic benefit while complying with the company's social responsibility policies. The present design and construction project was developed using the design methodology for VDI 2206 mechatronic systems while using the food machine standards INEN EN 1672-2. The design of the machine allows its integration into a modular and semi-industrial production line of canned beverages. From the results obtained in the evaluation of the closure of the can and initial performance of the machine, it can be concluded that the closure complies with the specified measures for a correct closure.

### Key words

- ALUMINUM CAN
- CAN SEAMER
- DOUBLE SEAM
- STANDART EN 1672-2

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. Antecedentes**

En Ecuador, en los últimos años, se ha incrementado la cantidad de bares temáticos y empresas que elaboran cerveza artesanal. Actualmente, existen más de 150 cervecerías artesanales activas en el país. Sus productos son comercializados en botellas de vidrio (Orozco, 2017).

Las botellas de vidrio son envases frágiles, que se pueden destruir fácilmente y comprometer la integridad de los consumidores. Son sensibles a la luz solar, causando la degradación del producto al cabo de periodos cortos de tiempo. Además, facilitan el acceso a microorganismos y oxígeno que dañan el producto.

Para reducir la utilización de botellas de vidrio, a nivel mundial se está promoviendo una cultura de consumo de bebidas en lata. En el mercado de la cerveza artesanal de América del Norte, la utilización de este tipo de envases ha ido en aumento en los últimos años. Es importante tener en cuenta que la gestión de las cervezas en latas es un 30% más barata que de las envasadas en vidrio (Brune, 2016).

Dentro del objetivo 10 del PNBV se plantea impulsar la transformación de la matriz productiva. Esta supone una interacción con la frontera científico-técnica, en la que se producen cambios estructurales que direccionan las formas tradicionales del proceso y la estructura productiva actual hacia nuevas formas de producir.

Uno de los principales objetivos de la Carrera en Ingeniería Mecatrónica es aportar con el desarrollo de dispositivos y elementos que mejoren la calidad de vida de la ciudadanía. El ingeniero Mecatrónico formado en la ESPE, debe diseñar equipos y sistemas mecatrónicos utilizando herramientas computacionales y satisfaciendo requisitos de calidad, seguridad y economía tomando en cuenta códigos y normas técnicas nacionales e internacionales.

Los estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica han desarrollado proyectos como: máquina automática empacadora de huevos, máquina automática deshidratador de frutas, secadora de cacao, empacadoras de chocolate, sistema automático de clasificación de peces, entre otros.



Los proyectos mencionados brindan información importante sobre normas, procesos de construcción y diseño de máquinas que manejen alimentos.

La empresa patrocinadora de este proyecto de titulación es Lainbori S.A., que está dedicada a la construcción de infraestructura en el campo de las telecomunicaciones. En la actualidad se encuentra ampliando su campo de acción a soluciones de ingeniería, por lo que propone desarrollar este primer proyecto en el área de Mecatrónica.

## **1.2. Justificación e Importancia**

En respuesta a los inconvenientes descritos en los antecedentes, se plantea darle valor agregado al proceso de envasado que se utiliza actualmente. Reemplazando las botellas de vidrio por latas de aluminio, ya que este método de envasado permite tener un sellado hermético que mantiene el producto en buen estado, mayor cantidad de tiempo en percha y menor vulnerabilidad ante microorganismos, oxígeno o luz solar. El aluminio es un metal 100% reciclable, característica que permite cumplir políticas de responsabilidad social de la empresa. Además, se mejora el proceso y se reduce el tiempo de producción.

El presente proyecto, auspiciado por Lainbori S.A., busca brindar beneficio a la empresa Santa Rosa Cerveza Artesanal. La cual busca mejorar su productividad y la comercialización de sus productos al público. Dándoles un valor agregado al proceso en mejoras de tiempo de producción y calidad.

## **1.3. Alcance**

Una máquina selladora de latas de aluminio con tamaños de cuerpo estándar de 12, 16 y 24 oz y tapa estándar 202 (52 mm de diámetro), cumpliendo la norma ecuatoriana INEN EN 1672-2. La máquina debe sellar 30 latas por minuto y estar diseñada de forma modular para ser implementada en una línea de producción semi industrial de bebidas en lata.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y construir una máquina selladora de latas de aluminio de 12, 16 y 24 oz, cumpliendo la norma INEN EN 1672-2.

### **1.4.2. *Objetivos específicos***

- Diseñar y construir los rodillos de cierre y mandril de acuerdo a los requerimientos establecidos para un sellado adecuado de la lata.
- Diseñar la máquina para su integración en una línea de producción modular semi industrial de bebidas en lata.
- Realizar la selección y diseño de partes mecánicas y eléctricas que conforman la máquina mediante criterios de diseño adecuados según la Norma Ecuatoriana INEN EN 1672-2.

## **1.5. Marco teórico**

### **1.5.1. *Cerveza artesanal***

La cerveza es una bebida de bajo contenido alcohólico resultante de fermentar el mosto (elaborado con malta de cebada, lúpulo y agua) mediante levadura seleccionada.

La producción industrial masiva de cerveza inicia a finales del siglo XVIII, utilizando siempre una receta básica y procesos económicamente viables, como por ejemplo la gasificación externa que reduce notablemente el tiempo de producción.

Además, se le agregan químicos y conservantes que ayudan al almacenamiento prolongado, manteniendo sus características. De esta manera se obtiene una cerveza con calidad y sabor constantes por lo que se considera un producto de escala industrial.

La cerveza artesanal, a diferencia de la cerveza industrial, se caracteriza por no utilizar químicos ni aditivos artificiales, además de ser elaborada mediante tareas manuales en pequeñas cantidades y con variaciones a la receta del maestro cervecero para obtener una extensa gama de sabores y aromas (Premier, 2014).

### **1.5.2. *Envasado de la cerveza***

El calor, la luz y el oxígeno son los tres elementos que pueden alterar el sabor y la calidad de la cerveza, por lo cual, es importante que tenga un envase que la proteja. Además, el envase determina varios factores como la portabilidad y el costo del producto. En la Tabla 1 se muestra las diferencias entre el envasado en lata y botella de vidrio para la cerveza.

**Tabla 1**  
*Diferencias entre el envasado en lata y botella de vidrio*

<b>Variable</b>	<b>Lata</b>	<b>Botella de vidrio</b>
<b>Luz</b>	El envase metálico bloquea el paso de los rayos ultravioletas.	El cristal permite el paso de los rayos ultravioletas, que puede degradar alguno de sus componentes. ( Cuanto más oscuro sea el cristal, más protege la cerveza)
<b>Sabor</b>	Sabor a metal que en realidad es olor a metal identificado al beber directamente de la lata.	Algunas empresas embotellan con azúcar para que realice una segunda fermentación en la botella, mejorando su sabor con el paso del tiempo.
<b>Calor</b>	Se enfría rápido y se calienta rápido.	Requiere más tiempo de enfriamiento, pero soporta más tiempo fría.
<b>Oxígeno</b>	Cerrado herméticamente.	Cerrado herméticamente.
<b>Conservación</b>	Fácil de almacenar y puede permanecer más tiempo.	Frágil y soporta menos tiempo que la cerveza enlatada.
<b>Portabilidad</b>	Las latas son admitidas en la mayoría de lugares y eventos.	Las botellas de cristal presentan restricciones de acceso. Ej.: estadios, conciertos, playas, etc.
<b>Precio</b>	Barata.	Costosa.
<b>Reciclaje</b>	La lata de aluminio presenta las facilidades de prensado, embalado y enviado a fundición.	Su manipulación conlleva peligro, ya que corre riesgo de rotura y puede generar cortes a los operarios del reciclaje.
<b>Durabilidad</b>	Las latas son más duraderas que el vidrio en su manipulación.	Las botellas de cristal se destruyen con facilidad, por ser de un material frágil.
<b>Distribución</b>	Eficiente y de costo reducido.	Eficiente pero de alto costo.
<b>Peso unitario</b>	Aproximado 15 g.	15 a 30 veces más, se refleja en costos de transporte y almacenamiento adicionales.

**Fuente:** (Millán, 2016)

### 1.5.3. Enlatado de la cerveza

#### a) Latas

Durante la segunda guerra mundial, las raciones alimenticias de los soldados eran enviadas en botes de hojalata para facilitar el almacenamiento y conservación en tiempos de austeridad. Al identificar la gran utilidad que tuvo este envase surge una innovación, enfocándolos netamente al área de conservación de alimentos.

En 1935 surge la primera lata comercial para cerveza, en New Jersey. Era la primera cerveza comercial en venderse dentro de una lata cerrada a presión, siendo un éxito total con ventajas como: más ligera y fácil de trasportar.

En la Figura 1 se muestran los intentos planteados para resolver problemas de fuga de contenido, alteración del sabor por el barniz de revestimiento y sistemas de apertura. Las variaciones permitieron notables mejoras al tradicional envase de hojalata.



**Figura 1 Primeros modelos de lata**

Fuente: (Gutiérrez, 2012)

En 1948 se comercializa las primeras bebidas enlatas de refrescos y dos años después se retiró el producto por no cumplir sus expectativas. Ya en 1959 empresas del sector de bebidas carbonatadas tomaron un gran riesgo y con temor a las reacciones de sus consumidores, debutaron nuevamente con el envase de aluminio.

A finales de los 60's surge el mejoramiento en el proceso de producción de los envases. Inicialmente se transforma una lámina metálica en un envase cilíndrico por medio de una soldadura de costura, el envase está formado por tres piezas principales (tapa, cuerpo y base). En un nuevo intento de mejora al proceso, se planteó un método llamado extrusión por impacto, el cual con una lámina de acero se obtiene la materia prima dando lugar a dos piezas esenciales (tapa y cuerpo), de esta manera se genera un gran ahorro del material, llegando incluso a la adopción de esta idea por otras industrias como lo son aerosoles, alimentos, entre otros.

Inicialmente, Ernie Frazee propone su sistema de apertura denominado Stay-Tab el cual fue adoptado en la década de los 60's y el más utilizado de la época. En la Figura 2 se observa este sistema de apertura.



**Figura 2 Easy-Tab**

Fuente: (Gutiérrez, 2012)

En los años 80's y el mecanismo Stay-Tab sufre una evolución denominada Easy-Tab como se muestra en la Figura 3, siendo el sistema utilizado hasta la actualidad, este permite que el abridor se quede en la tapa de la lata sin desprenderse, facilitando de esta manera su reciclado. La industria de la cerveza y refrescos logró un marcado desarrollo a su sistema de envases.

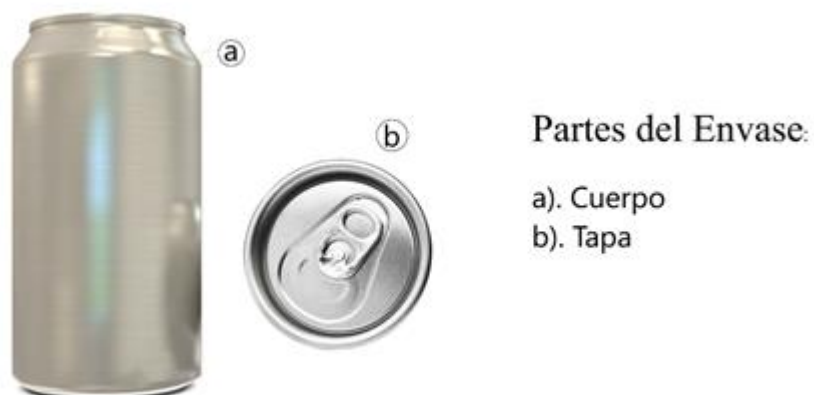


**Figura 3 Sistema de apertura desde los 80's**

Fuente: (Gutiérrez, 2012)

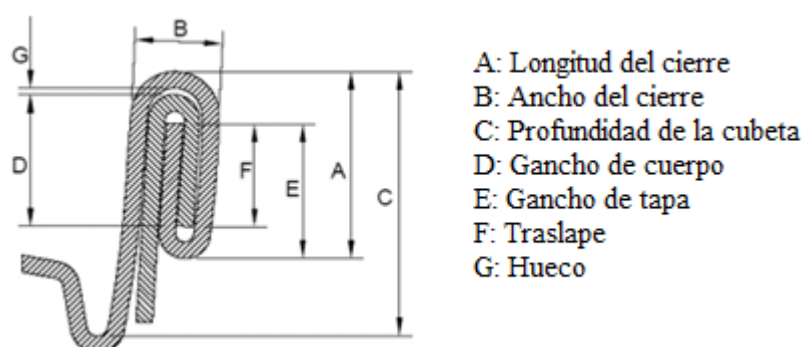
### ***b) Partes de la lata***

La lata de aluminio para bebidas está compuesta de dos partes, el cuerpo y la tapa, que se pueden observar en la Figura 4.



**Figura 4** Cuerpo (a) y tapa (b)

Después del proceso de sellado, la lata queda herméticamente cerrada. La costura que se forma entre el cuerpo y la tapa se denomina cierre y sus dimensiones se muestran en la Figura 5.



**Figura 5** Partes del cierre

Fuente: (MPMA, 2004)

### ***c) Importancia del sellado***

El cierre de la lata de aluminio debe ser hermético para evitar la corrosión del envase y la contaminación bacteriológica o alteración del producto almacenado. Debe tener características mecánicas suficientes para soportar, en condiciones normales, el proceso de llenado, manipulación, transporte y almacenaje.

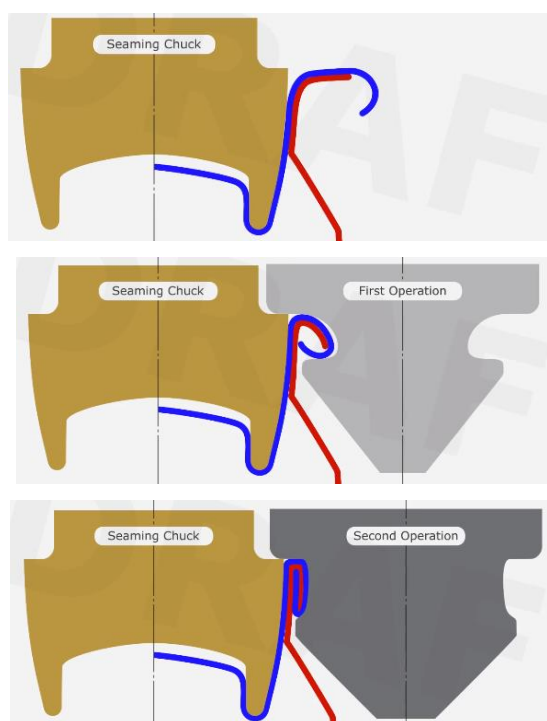
#### *d) Descripción del sellado*

Se trata de un proceso de deformado del aluminio, que consta fundamentalmente de dos operaciones. Para lograr la estanqueidad se precisa la utilización de una goma o compuesto, que va depositada sobre la parte interna de la tapa; después de realizada la operación de sellado a través de los rodillos de cierre, queda alojada en el interior de la costura permitiendo su hermeticidad al medio ambiente.

#### *e) Operación de sellado*

El cierre se efectúa según el esquema de la Figura 6, y se descompone en 3 pasos sucesivos:

- Colocación de la lata entre la base regulable y el mandril.
- Primera operación de sellado.
- Segunda operación de sellado.



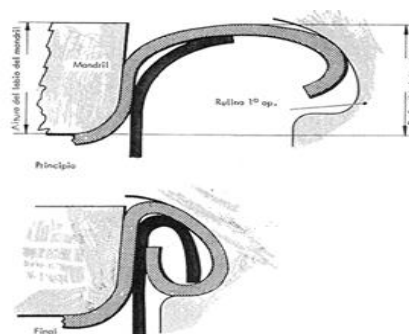
**Figura 6 Secuencia de sellado**

Fuente: (Valderas, 2010)

La compresión permite evitar el movimiento relativo del envase respecto al mandril de cierre, permitiendo la transformación progresiva de la pestaña de la lata base y tapa durante el sellado.

### *f) Primera operación de sellado*

Durante la primera operación, la pestaña de la tapa se pliega de manera suave sobre la pestaña del cuerpo de la lata, se doblan, formando unos ganchos muy holgados, dejando espacio entre sus paredes. En la Figura 7 se representan en dos secuencias el principio y final de este paso.

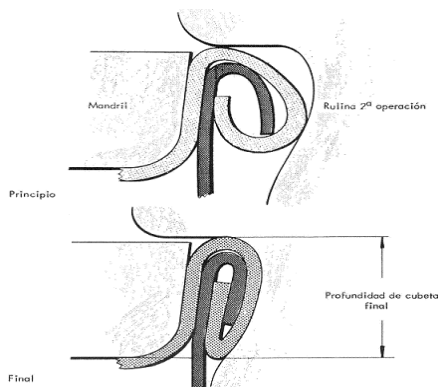


**Figura 7 Primera operación**

Fuente: (Valderas, 2010)

### *g) Segunda operación de sellado*

Una vez realizada la primera operación, se emplea un segundo rodillo de cierre para comprimir las cinco capas de aluminio que se forman (dos de la tapa y tres de la lata base), para dar lugar a la costura hermética deseada. La operación de apretado y aplastamiento de los ganchos de la tapa y la lata base entre sí, se realiza de forma progresiva. La Figura 8 muestra el principio y final de esta tarea. La operación descrita, da al cierre la resistencia mecánica y estanqueidad suficiente para soportar con garantías, y en condiciones normales de uso, las diversas etapas del proceso de fabricación y distribución del envasado.



**Figura 8 Segunda operación**

Fuente: (Valderas, 2010)



#### ***h) Evaluación y Aceptabilidad del Cierre***

La evaluación del cierre es la metodología empleada para juzgar su aceptabilidad. Está relacionada con las especificaciones y requerimientos que el fabricante de la lata indica. Estas varían para cada formato y tipo de envase. Para realizar la evaluación de un cierre, se debe cumplir con la tabla de especificaciones (MPMA, 2004).

Con frecuencia, un cierre aparentemente normal y dentro de especificaciones en sus medidas exteriores, presenta una serie de defectos que lo hacen incorrecto al efectuar un análisis más completo.

Por medio de la evaluación adecuada, es posible garantizar o no la hermeticidad del mismo. El examen de un cierre comprende cuatro fases que aportan abundante información cualitativa y cuantitativa. Estas son:

1ª Fase: Examen visual y Medidas Exteriores.

2ª Fase: Detección de fugas.

3ª Fase: Desmontaje y/o Seccionado del cierre.

4ª Fase: Medidas Interiores directas e indirectas y Defectos Internos.

#### ***1.5.4. Máquinas para alimentos***

Toda máquina diseñada para estar expuesta a productos alimenticios, debe cumplir características establecidas en normas de alimentos. En el Ecuador la norma que rige el diseño de estas máquinas es INEN EN 1672-2, la cual define tres áreas en la producción de alimentos con diferentes requisitos de higiene.

- Zona de contacto con alimentos
- Zona expuesta a salpicaduras
- Zona sin contacto con alimentos

Esta normativa está basada en la norma europea que ha sido elaborada bajo un mandato dirigido a CEN (Comité Europeo de Normalización) por la comisión europea junto con la Asociación Europea de Libre Comercio y aprobada por CEN 2005-02-14, incluyendo la modificación por CEN 2008-12-29. Esta normativa existe en tres versiones oficiales: alemán, francés e inglés (CEN, 2015).

La norma establece los requisitos de higiene comunes aplicables a la maquinaria utilizada en la preparación y procesamiento de alimentos destinados al consumo humano y, cuando corresponda, al consumo animal, para eliminar o minimizar el riesgo de contagio, infección, enfermedad o lesión causado por los alimentos.

Además identifica los peligros propios de la utilización de la maquinaria para el procesado de alimentos, y describe métodos de diseño e información para la eliminación o reducción de estos riesgos (CEN, 2015). A continuación, se presentan los puntos de interés para el presente proyecto.

#### ***a) Higiene***

Las condiciones de higiene son parámetros importantes a tomar en cuenta en la generación de maquinaria de procesamiento de alimentos. Para tener un alto índice de higiene se debe cumplir las siguientes condiciones:

- Diseño y re diseño con materiales y sustancias no peligrosas.
- Salvaguardar las condiciones higiénicas.
- Información clara del uso y mantenimiento de la máquina.
- Los procedimientos operativos de la máquina están acorde a la capacidad del personal.
- Descripción de las prácticas de higiene recomendadas para el uso de la máquina.
- Descripción del uso de equipo de protección para el manejo de la máquina.

#### ***b) Requisitos generales de materiales de construcción***

Todos los materiales que componen la máquina, deben cumplir las siguientes características básicas:

- Superficies y revestimientos duraderas y de fácil limpieza.
- Susceptibles a agentes desinfectantes.
- Resistente al agrietamiento, roturas, desprendimiento y abrasión.

#### ***c) Materiales en el área de alimentos***

Además de los requisitos generales descritos en el apartado 1.5.4 c), en condiciones de uso previstas, los materiales serán:

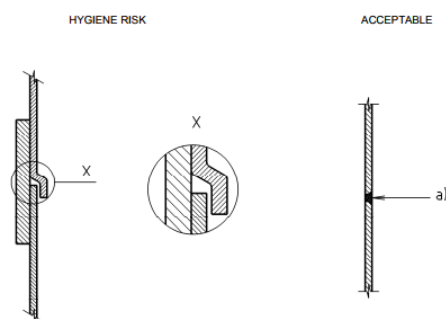
- Resistente a la corrosión
- No tóxicos
- No absorbentes
- Impedir la transferencia de olores indeseados, colores y manchas.
- Impedir la contaminación de los alimentos.

#### d) Superficies en el área de alimentos

La superficie que se encuentre en contacto con alimentos en lo posible debe ser lisa, continua y sellada, además su diseño debe facilitar la limpieza y desinfección cuando sea necesario. Cabe mencionar que los alimentos ya procesados no deben retornar o tener contacto con los alimentos que van a ser procesados. Estos requisitos de higiene también se aplican a piezas que se desmontan (CEN, 2015).

#### e) Juntas permanentes

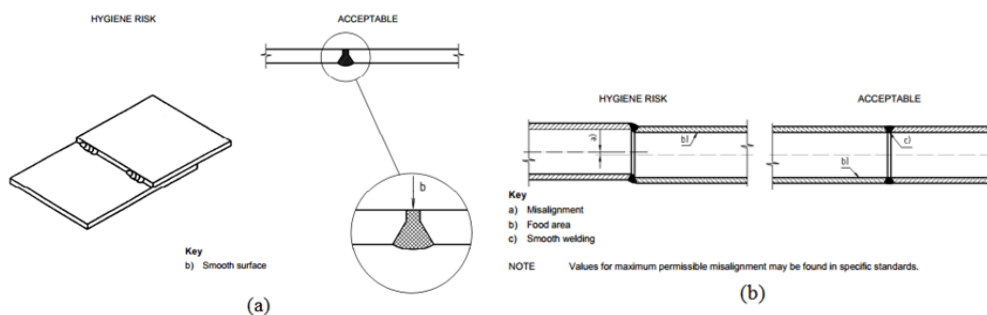
Las juntas deben estar selladas totalmente y no deben tener huecos, grietas, resaltos o salientes. Si no se puede cumplir estos requerimientos, la solución adecuada es facilitar la limpieza y desinfección. En la Figura 9 se muestra la comparación de una junta que no es aceptable para máquinas de alimentos y una junta que cumple los requerimientos mencionados.



**Figura 9 Junta permanente**

Fuente: (CEN, 2015)

Si se utiliza aporte de material como una soldadura, ésta debe ser rebaja y pulida para obtener una superficie suave como se observa en la Figura 11 (a). En el caso de tubería soldada se debe respetar la disposición geométrica de la Figura 11 (b). (CEN, 2015)

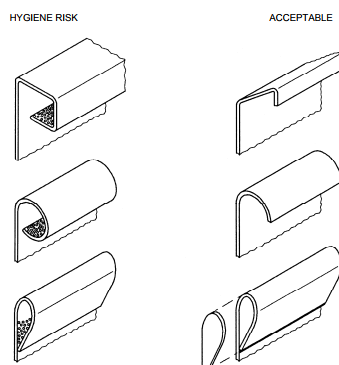


**Figura 10 Juntas soldadas (a) y Tubería soldada (b)**

Fuente: (CEN, 2015)

### f) Bordes y perfiles de la máquina

En el diseño de la Figura 11 se puede observar el acabado de bordes y perfiles. El borde superior brinda rigidez al componente, pero a la vez proporciona superficies propensas a la acumulación de sustancias no higiénicas. Cuando se utilice este método de construcción se debe procurar la utilización de extremos abiertos que faciliten el drenaje y evite la acumulación de líquidos o particulado. (CEN, 2015)

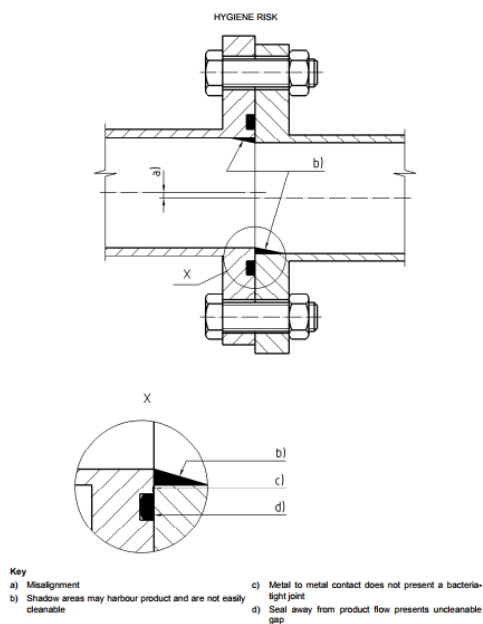


**Figura 11 Bordes y perfiles**

Fuente: (CEN, 2015)

### g) Juntas desmontables

Las juntas desmontables deben ser herméticas y cuando son acopladas, se debe evitar la formación de zonas que acumulen líquidos y sólidos que comprometan la higiene de los alimentos, como se muestran en la Figura 12.

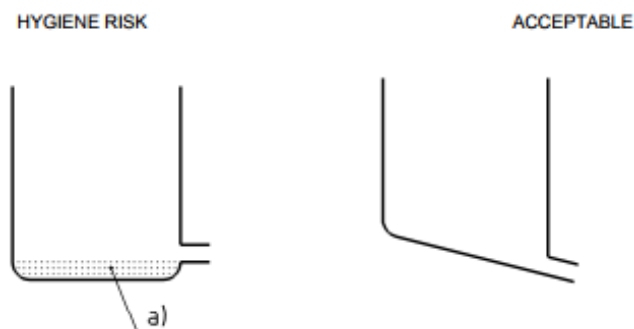


**Figura 12 Junta desmontable**

Fuente: (CEN, 2015)

### *h) Drenaje*

Las zonas de almacenamiento deben facilitar el drenaje y no tener espacios que acumulen líquidos o particulado como se observa en la Figura 13 (CEN, 2015).

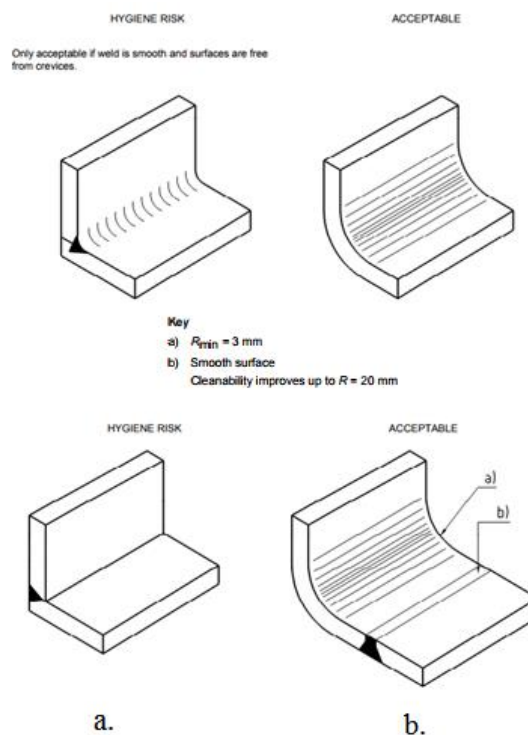


**Figura 13 Zonas de almacenamiento**

Fuente: (CEN, 2015)

### *i) Ángulos internos y esquinas*

Los ángulos y esquinas internas deben estar construidas de manera que permita su fácil limpieza y desinfección. En la Figura 14 (a) se puede observar una esquina con alto riesgo higiénico a diferencia de la Figura 14 (b) que es aceptable para la norma (CEN, 2015).



**Figura 14 Riesgoso (a) y aceptable (b)**

Fuente: (CEN, 2015)

### g. Paneles, cubiertas y puertas

Estas partes deben tener la forma que evite la entrada y/o acumulación de cualquier residuo, siendo de fácil limpieza y de ser necesario su desinfección.

### h. Dispositivos de control

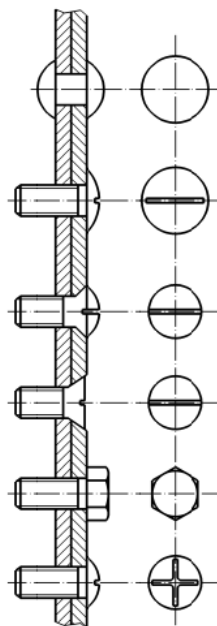
Son las áreas de la maquinaria o artículos que netamente no tiene contacto con los alimentos ej. tablero de control, interfaces, etc.

### i. Zonas de salpicadura

Para el diseño y construcción de la zona de salpicaduras, se debe mantener los principios aplicados en el área de alimentos. Los alimentos que llegan a zonas de salpicaduras no deben volver al proceso. Siempre y cuando no se afecte al alimento del proceso principal se puede ser menos riguroso en:

- Acabado de superficies, permitiendo mayor índice de rugosidad.
- Ángulos internos y esquinas, siempre y cuando puedan ser desinfectados.
- En cojinetes, sello, ejes, etc. que sean parte de una zona de salpicadura pueden usar lubricante de grado no alimenticio siempre y cuando no exista influencia adversa sobre los alimentos del proceso principal.

En la Figura 15 se muestran los elementos de fijación aceptables para el área de salpicaduras de la máquina.



**Figura 15 Elementos de fijación**

Fuente: (CEN, 2015)

## j. Área no alimentaria

Además de cumplir los requisitos generales, se debe utilizar material resistente a la corrosión. Las superficies del área no alimentaria deben ser limpiadas y desinfectadas cuando sea necesario y sin causar influencia adversa sobre el alimento. El equipo debe estar diseñado y construido de tal manera que impida la retención de humedad, proliferación de parásitos y la acumulación de sólidos o líquidos. El diseño debe facilitar la inspección, mantenimiento, limpieza y desinfección cuando sea necesario.

### 1.5.5. Máquinas comerciales

Los principales fabricantes de máquinas envasadoras de latas trabajan en países desarrollados de América y Europa, comercializan la línea completa de envasado con capacidades de producción industrial y semi-industrial como se muestra la Tabla 2.

**Tabla 2**  
*Máquinas selladoras de los principales fabricantes*

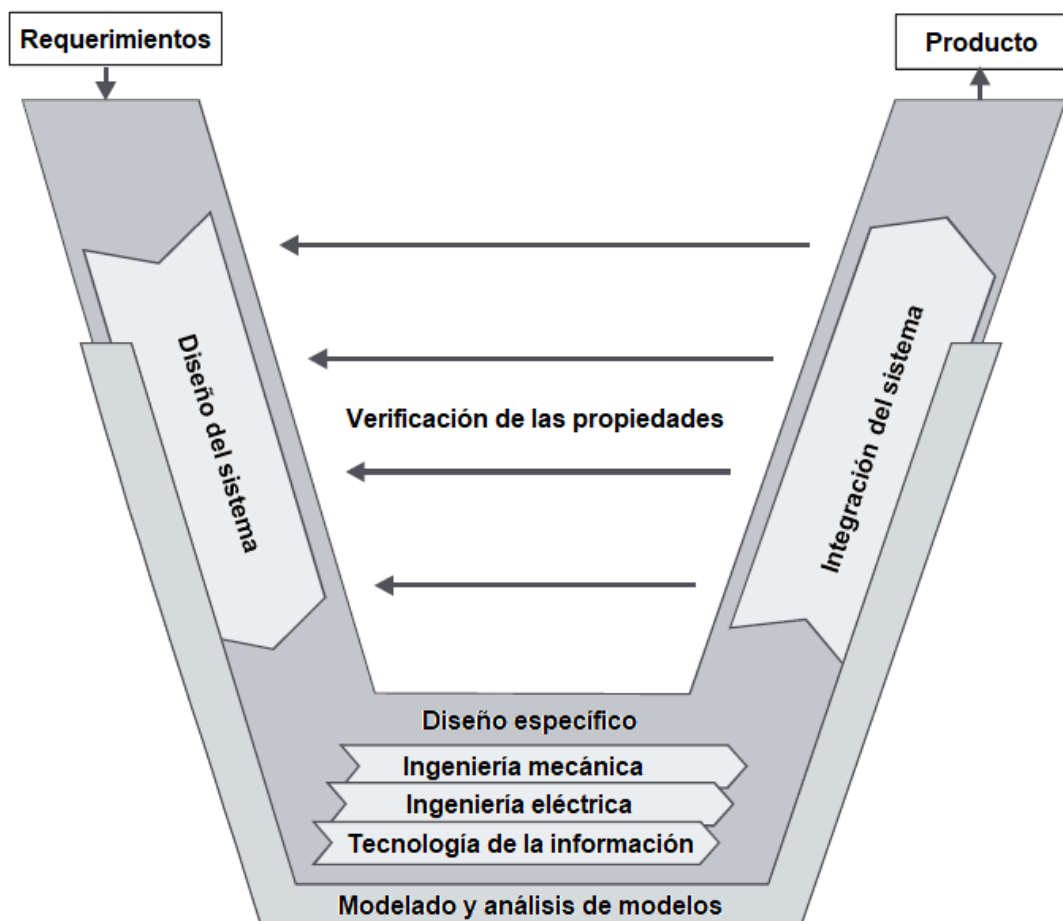
<b>Máquina</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad</b>
<b>Lincan <sup>TM</sup> 65</b>	American Beer Equipment	EEUU	65 latas por minuto
<b>ACS X2</b>	Cask Brewing Systems	Canadá	75 latas por minuto
<b>WGC 600</b>	Wild Goose Canning	EEUU	88 latas por minuto
<b>CraftBloc <sup>TM</sup></b>	Palmer Canning Systems	EEUU	300 latas por minuto
<b>Lehui's craft canning equipment</b>	Lehui Craft	EEUU	300 latas por minuto
<b>181S</b>	Pneumatic Scale Angelus	EEUU	3000 latas por minuto

## CAPÍTULO II

### DESARROLLO DEL SISTEMA

#### 2.1. Metodología de diseño

El presente proyecto se ha desarrollado utilizando la metodología de diseño para sistemas mecatrónicos VDI 2206. Esta norma se enfoca en realizar un diseño concurrente, que permite integrar los conocimientos de la ingeniería mecatrónica durante todas las etapas del proyecto. En la Figura 16 se muestra el modelo V que se cumple con esta metodología.



**Figura 16 Macro ciclo modelo V de diseño mecatrónico**

Fuente: (VDI-2206, 2004)

A continuación, se explican las fases que sigue el modelo V de la Figura 16, para realizar un correcto diseño del sistema mecatrónico.



### ***2.1.1. Requerimientos***

El punto de partida del modelo V, consiste en tomar el objetivo definido, especificarlo de manera más precisa y describirlo en forma de requerimientos. Estos requerimientos forman la medida con la cual se evalúa el producto posterior.

### ***2.1.2. Diseño del sistema***

El objetivo es establecer un concepto de solución entre dominios que describa las principales características operativas físicas y lógicas del futuro producto. Para este propósito, la función general de un sistema se divide en subfunciones principales, evaluando y probando el rendimiento de la función, en el contexto del sistema.

### ***2.1.3. Diseño específico***

Sobre la base del concepto de solución desarrollado conjuntamente, el diseño adicional se lleva a cabo por separado en los dominios implicados. Se requieren cálculos más detallados para garantizar el desempeño de la función.

### ***2.1.4. Integración del sistema***

Los resultados de los dominios individuales se integran para formar un sistema general, para permitir que se evalúe la interacción.

### ***2.1.5. Verificación de las propiedades***

El progreso realizado con el diseño debe verificarse constantemente en función del concepto de solución especificado y los requerimientos. Se debe garantizar que las propiedades reales del sistema coincidan con las propiedades deseadas del sistema.

### ***2.1.6. Modelado y análisis de modelos***

Las fases descritas están acompañadas por el estudio de las propiedades del sistema con la ayuda de modelos y herramientas computarizadas para la simulación.

### ***2.1.7. Producto***

El resultado de un macro ciclo continuo es el producto. En este caso, un producto no significa exclusivamente el producto final realmente existente, sino la concreción creciente del producto futuro (madurez del producto). Los grados de madurez son, por ejemplo, la muestra de laboratorio, la muestra funcional, el producto piloto, etc.

## 2.2. Subsistema de Llenado

### 2.2.1. Requerimientos

El subsistema de llenado se diseña para llenar latas de aluminio con tamaños de cuerpo estándar de 12, 16 y 24 oz, y altura según la tapa estándar 202 (52 mm de diámetro).

### 2.2.2. Diseño

BA (Brewers Association) establece los parámetros para un correcto proceso de llenado y dispensado de cerveza en cualquier tipo de envases (BA, 2011).

El esquema general para el correcto llenado de cerveza que se muestra en la Figura 17, está compuesto de los siguientes elementos:

- Recipiente presurizado de CO<sub>2</sub>
- Barriles de cerveza para el lote a envasar
- Válvula para controlar el caudal
- Dispensador final tipo tobera.



**Figura 17 Sistema de llenado**

**Fuente:** (BA, 2011)

Para obtener una cerveza con características ideales, se debe balancear el sistema de llenado. Los parámetros que influyen en el balance son:

- Temperatura de la cerveza
- Presión aplicada
- Resistencia en las líneas
- Nivel de carbonatación de la cerveza.

***a) Temperatura de la cerveza***

Se debe tener en cuenta que la temperatura de la cerveza debe ser real. Debido al tiempo requerido para que un barril de cerveza llegue a estabilizarse a la temperatura del refrigerador, la temperatura de la cerveza puede diferir con la establecida en el termostato (BA, 2011).

***b) Presión aplicada***

Para llevar la cerveza hasta el dispensador, se conecta directamente el recipiente presurizado de CO<sub>2</sub> a los barriles de cerveza como se observa en la Figura 18.



**Figura 18 Recipiente de CO<sub>2</sub> y barril de cerveza**

***c) Resistencia***

La resistencia proviene de los componentes de todo el sistema y los cambios en la elevación a medida que la cerveza fluye del barril al dispensador.

***d) Nivel de carbonatación de la cerveza***

La carbonatación de la cerveza se mide en unidades de "volúmenes de CO<sub>2</sub>". Por ejemplo, 2,5 volúmenes de CO<sub>2</sub>, significa que se han disuelto 2,5 barriles de CO<sub>2</sub> sin comprimir en un barril de cerveza. Los niveles de carbonatación en cervezas típicas van de 2.2 a 2.8 volúmenes de CO<sub>2</sub>, pero los valores pueden variar desde 1.2 a 4.0 en cervezas especiales (BA, 2011).

**e) Balance**

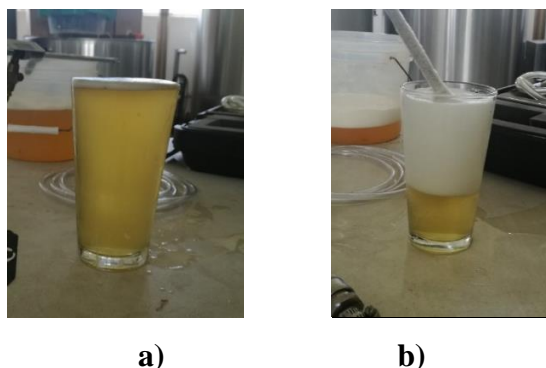
El valor de carbonatación requerida se establece según el tipo de la cerveza que se envasa en cada lote. Para obtener el balance ideal, se varía la temperatura y la presión del CO<sub>2</sub> según la Tabla 3, obteniendo la combinación de parámetros para un correcto proceso de llenado y posterior envasado.

**Tabla 3**  
**Temperatura y presión según el nivel de carbonatación**

Carbonatación	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
Temperatura [ °C ]	Presión de CO <sub>2</sub> [ psi ]									
2	6.1	7.1	8.2	9.2	10.2	11.3	12.3	13.4	14.4	15.5
3	7.0	8.1	9.2	10.3	11.3	12.4	13.5	14.5	15.6	16.7
4	8.0	9.1	10.2	11.3	12.4	13.5	14.6	15.7	16.8	17.9

Fuente: (BA, 2011)

Si el llenado se realiza con el balance correcto, la cerveza no se espuma, minimizando el desperdicio del producto y aumentando la velocidad de llenado. Para el llenado de latas de aluminio es primordial mantener el balance durante todo el envasado del lote para que las características sean uniformes en todas las latas. En la Figura 19 se observa la diferencia entre un envase de prueba llenado con un balance correcto (carbonatación ideal) e incorrecto (exceso de carbonatación).



**Figura 19 Llenado de balance a) correcto b) incorrecto**

El valor ideal de carbonatación para la cerveza envasada es 2.5, de acuerdo a la receta utilizada por el maestro cervecero de la empresa. La temperatura de la cerveza en el cuarto de enfriamiento es de 4 [°C], por lo tanto, la presión de CO<sub>2</sub> debe ser 12.4 [psi] acorde a los valores de la Tabla 3.

### 2.2.3. Materiales

#### a) Tuberías

Para la conexión de los componentes del proceso de llenado, los materiales ideales de tubería se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
*Tubería para llenado de cerveza*

Material	Diámetro	Resistencia	Volumen
Vinyl	3/8"	0.20 lbs/ft	3/4 oz/ft
Vinyl	1/2"	0.025 lbs/ft	1-1/3 oz/ft
Recubierto especial	1/4"	0.30 lbs/ft	1/3 oz/ft
Recubierto especial	5/16"	0.10 lbs/ft	1/2 oz/ft
Recubierto especial	3/8"	0.06 lbs/ft	3/4 oz/ft
Inoxidable	1/4"	1.20 lbs/ft	1/6 oz/ft
Inoxidable	5/16"	0.30 lbs/ft	1/3 oz/ft
Inoxidable	3/8"	0.12 lbs/ft	1/2 oz/ft

Fuente: (BA, 2011)

El material seleccionado para el presente proyecto es Vinyl de 3/8", debido a la disponibilidad en el mercado.

#### b) Recipientes

Los barriles para cerveza son provistos por la empresa, con capacidad para 50 litros, como se muestra en la Figura 20.



**Figura 20** Barril de cerveza

### c) Válvulas

Las válvulas de paso entre los barriles de cerveza y el dispensador, satisfacen las características de la Tabla 5 para cumplir los requerimientos del presente proyecto.

**Tabla 5**  
**Válvula para llenado de cerveza**

Característica	Valor
Diámetro interior	3/8"
Material	Material de grado alimenticio
Mando	Eléctrico
Servicio	Abrir/ cerrar

Las válvulas utilizadas en el presente proyecto cumplen con las características especificadas y se muestran en la Figura 21.



**Figura 21 Válvulas de llenado**

Las válvulas de llenado tienen una bobina de activación que funciona con un voltaje de 24 VDC, lo que permite su integración al sistema automático de control.

## 2.3. Subsistema de Sellado

### 2.3.1. Requerimientos

El subsistema de sellado fue diseñado para cerrar latas de aluminio con tamaños de cuerpo estándar de 12, 16 y 24 oz, y tapa estándar 202 (52 mm de diámetro).

### 2.3.2. Diseño

MPMA (The Metal Packaging Manufacturers Association) establece que, para un correcto sellado de este tipo de latas, se debe realizar un cierre doble, definido en el apartado 1.5.3 (MPMA, 2004).

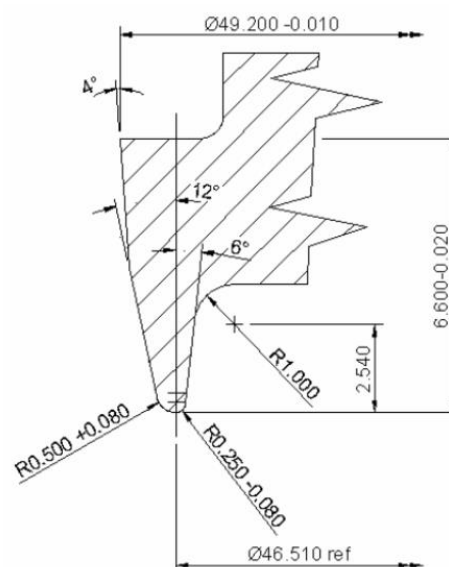
Para realizar el proceso de cierre doble, es necesario un mandril que permite una adecuada sujeción de la lata para el proceso. Debe ajustarse a la geometría de la tapa que se muestra en la Figura 22.



**Figura 22 Tapa de la lata**

Fuente: (MPMA, 2004)

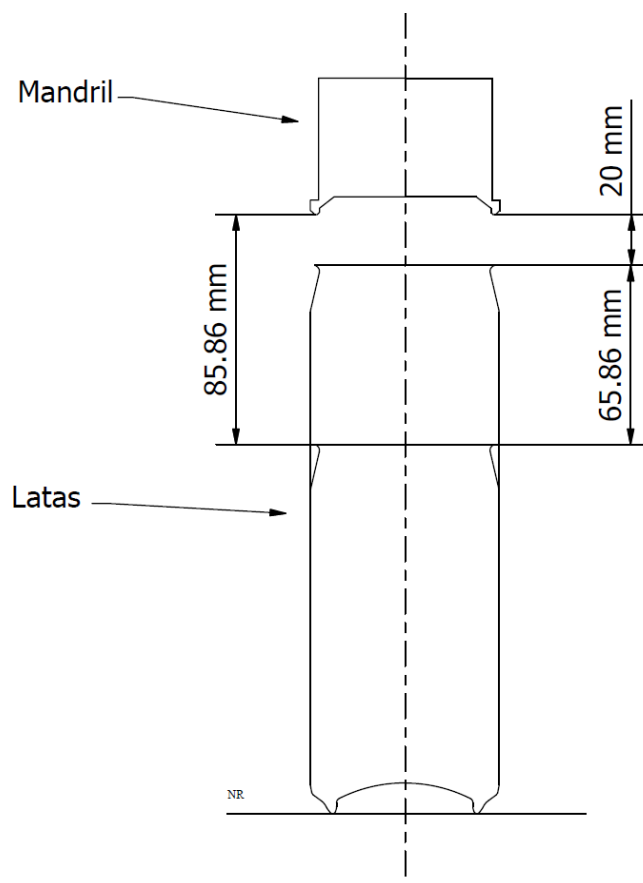
Las dimensiones ideales para el mandril en el perfil de la Figura 23, acorde a la forma de la tapa estándar 202 (52 mm de diámetro) (MPMA, 2004).



**Figura 23 Perfil del mandril**

Fuente: (MPMA, 2004)

La lata se acopla al mandril, por medio del actuador vertical, para su posterior operación de cierre. La distancia que recorre el actuador para posicionar la lata, es la diferencia de alturas que hay entre las 2 latas consideradas para el sellado, como se muestra en la Figura 24. Durante las dos operaciones de cierre, la lata y la tapa deben ser presionadas hacía el mandril con una fuerza de 100 lb (MPMA, 2004).



**Figura 24 Posicionamiento antes de la operación**

Considerando las alturas de las latas utilizadas para el proceso y la fuerza recomendada por el fabricante, los requerimientos para el actuador de ascenso de la lata se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6**  
*Requerimientos para el actuador de ascenso de la lata*

Requerimiento	Valor
Fuerza de empuje necesaria	100 [lb]
Carrera mínima necesaria	85.86 [mm]



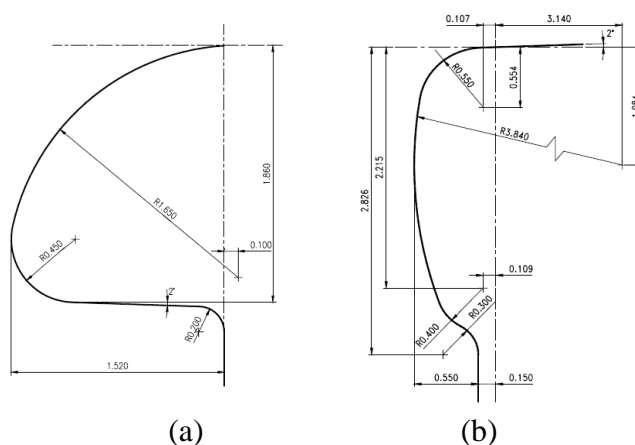
Al finalizar las dos operaciones de cierre, las especificaciones geométricas de la lata deben cumplir con los valores mostrados en la Tabla 7.

**Tabla 7**  
*Especificaciones del fabricante para la lata cerrada*

Parámetro	Especificación del fabricante	Figura
B Ancho del cierre	$0.043 \pm 0.002$ in	
C Profundidad de la cubeta	$0.270 \pm 0.005$ in	
D Gancho de cuerpo	$0.065 \pm 0.010$ in	
E Gancho de tapa	0.053 in Min.	
F Traslape	0.035 in Min.	
Hermeticidad	95-100 %	

Fuente: (MPMA, 2004)

Para llevar la lata a las medidas de la Tabla 7, los rodillos de cierre deben tener los perfiles mostrados en la Figura 25, además de requerir una fuerza de 70 lb y 65 lb para la primera y segunda operación respectivamente (MPMA, 2004).



**Figura 25** Perfiles de rodillos de cierre  
(a) 1ra operación (b) 2da operación

Fuente: (MPMA, 2004)

### 2.3.3. *Material*

La industria de conserva de alimentos en lata, exige rigurosas características para los rodillos y mandriles de cierre. (Imeta, 2017) El material de fabricación debe presentar un desgaste mínimo, para que se mantenga un correcto cierre a lo largo de todo el lote envasado, los materiales usualmente utilizados se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8**  
*Materiales para rodillos y mandril de cierre*

<b>Material</b>	<b>Característica principal</b>
Acero inoxidable estándar AISI 440	Utilizado en la mayoría de las aplicaciones.
Acero tipo Cromax	Utilizado en la fabricación de mandriles en presencia de productos alimenticios con alto nivel de acidez.
Acero inoxidable sinterizado M390	Su estructura molecular ofrece una mayor dureza y resistencia al desgaste y a la corrosión respecto a AISI 440.
Aleación de cromo y cobalto	Ofrece propiedades de resistencia al desgaste y a la corrosión en condiciones de trabajo extremas.

**Fuente:** (Imeta, 2017)

El mandril y los rodillos generalmente son tratados con los recubrimientos superficiales de la Tabla 9 para mejorar sus características.

**Tabla 9**  
*Recubrimientos superficiales para rodillos y mandril de cierre*

<b>Recubrimiento</b>	<b>Característica principal</b>
Deposición de vapor químico	Permite una excelente adherencia al acero base y elevada resistencia al desgaste y a la corrosión.
Cromado impregnado de diamantes	Permite un reducido coeficiente de fricción en la superficie y evita la adherencia.
Cromado	Presenta buena resistencia al desgaste y bajo coeficiente de fricción.
Carburo de tungsteno	Aporta resistencia al desgaste y la propiedad de ejercer roce con las partes con las que entra en contacto.

**Fuente:** (Imeta, 2017)

### **2.3.4. Proceso**

#### **a) Torneado**

Para llegar a los perfiles del mandril y rodillos especificados en el apartado 2.3.2. se requiere una herramienta de torneado más pequeña a las herramientas convencionales. Las geometrías de los rodillos de cierre poseen dimensiones menores a 1.5 [mm] que es la mínima medida en el mercado nacional. (Sandvik, 2017).

Las tolerancias son de centésimas de milímetro dificultando la manufactura. Una máquina de control numérico ofrece dicha precisión en el movimiento de la herramienta, pero el inconveniente del proceso de maquinado está en la herramienta especializada requerida. La herramienta debe tener la forma del perfil de cada rodillo y mandril, por lo que, debe ser manufacturada a la medida.

#### **b) Rectificado cilíndrico**

Posterior al torneado, el proceso de rectificado cilíndrico permite mejorar la tolerancia dimensional y se obtiene un acabado superficial de gran calidad. Debido a que la remoción de material en el rectificado cilíndrico es relativamente pequeña, se utiliza para dar las características de bajas tolerancias requeridas en estas piezas de precisión.

En la Figura 26 se observa el proceso de rectificado cilíndrico utilizado por la mayoría de empresas manufactureras de rodillos y mandriles de cierre.



**Figura 26 Rectificado de rodillo**

Fuente: (Imeta, 2017)

Debido a la falta de disponibilidad de herramientas especializadas para la manufactura, en el presente proyecto, se ha implementado el mandril y los rodillos de cierre disponibles en el mercado internacional, los cuales presentan las características de la Tabla 10.

**Tabla 10**  
*Características del mandril y rodillos utilizados*

	<b>Dimensión</b>	<b>Material</b>	<b>Acabado superficial</b>
<b>Mandril</b>	Perfil para tapa tipo 202	Aleación de cobalto	Deposición de vapor químico en nitruro de titanio
<b>Rodillo de la primera operación</b>	Perfil para tapa tipo 202	Aleación de cobalto	Deposición de vapor químico en óxido de aluminio
<b>Rodillo de la segunda operación</b>	Perfil para tapa tipo 202	Aleación de cobalto	Deposición de vapor químico en óxido de aluminio

Fuente: (PSAngelus, 2017)

En la Figura 27 se observa los rodillos y el mandril implementados en el presente proyecto.



**Figura 27** Rodillos y mandril utilizados

Los rodillos son los componentes limitantes de la máquina ya que deben ser cambiados después de realizar 50000 cierres. (Cask, 2017)

## 2.4. Integración del sistema

### 2.4.1. Eléctrico

#### a) Motor del mandril

Para efectuar el giro del mandril, los requerimientos del motor se enlistan a continuación:

- La máquina debe funcionar en cualquier punto de la red doméstica del país a 110 [V] y 60 [Hz].
- La velocidad de giro debe ser al menos 900 [rpm], para realizar la correcta homogenización del cierre. (MPMA, 2004)
- El torque en el eje del mandril debe ser al menos 1.39 [lb-ft], por lo que el motor debe tener una potencia igual o superior a 0.45 [Hp]. (MPMA, 2004)
- El acople debe ser de brida frontal para cumplir la disposición geométrica de la línea de producción.
- El motor debe ser resistente a la salpicadura de cerveza.

La selección del motor se realiza con la ayuda de la matriz de Holmes o de priorización que es una herramienta para la selección de opciones, basado en la ponderación de diferentes alternativas y la aplicación de criterios para la toma de una decisión (EAE, 2017). Para la selección del motor se determinó como criterios a evaluar: características técnicas, costo y disponibilidad en el mercado.

Dando como ponderación para la evaluación de los criterios de 10 a la más importante, 5 si son igualmente importante y 1 a la menos importante. Mientras que para la evaluación de las alternativas se consideró una escala de 1 a 10, siendo 10 el valor atribuido a una alternativa con mejor característica ante ese factor.

**Tabla 11**  
*Ponderación de importancia de criterios*

<b>Importancia</b>	<b>Valor</b>
Más importante	10
Igualmente importante	5
Menos Importante	1

Las alternativas para la selección de motor se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12**  
*Alternativas para la selección del motor*

A	B	C	D
Motive C71	WEG C71	Siemens C71	Baldor C71

La comparación de importancia de los criterios se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13**  
*Comparación de criterios para la selección del motor*

	Características	Costo	Disponibilidad	TOTAL	%
Características	-	10	1	11	33.33%
Costo	1	-	1	2	6.06%
Disponibilidad	10	10	-	20	60.61%
				33	

Para determinar el orden de prioridad de las alternativas se utiliza la Tabla 14.

**Tabla 14**  
*Prioridad de alternativas para la selección del motor*

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS				ALTERNATIVAS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Características	33.33	10	10	10	10	333	333	333	333
Costo	6.06	5	8	7	4	30	48	42	24
Disponibilidad	60.61	3	10	4	4	180	600	240	240
$\Sigma$	100	<b>Escala de 1 al 10</b>				243	981	615	377
						ORDEN DE PRIORIDAD			
						4	1	2	3

Analizando los resultados de la matriz de Holmes que se puede observar en la Tabla 14 se puede establecer que:

- El costo es el criterio de menor importancia para la selección del motor.
- Todas las alternativas cumplen las características técnicas requeridas.
- La disponibilidad en el mercado es el factor determinante para el orden de prioridad de alternativas en la selección del motor.

Debido al análisis de prioridad realizado, se utilizó el motor WEG de la Figura 28 como la solución más acertada para el presente proyecto.



**Figura 28 Motor para giro del mandril**

En la Tabla 15 se compara las características técnicas requeridas con las del motor utilizado, validando su correcto funcionamiento dentro del sistema.

**Tabla 15**  
*Características del motor para el giro del mandril*

Característica	Valor requerido	Valor utilizado
<b>Tensión</b>	110 [V]	110 [V]
<b>Frecuencia</b>	60 [Hz]	60 [Hz]
<b>Velocidad</b>	900 [rpm]	1700 [rpm]
<b>Potencia nominal</b>	0.45 [Hp]	0.5 [Hp]
<b>Acople</b>	Brida frontal	Brida frontal
<b>Tipo de carcasa</b>	Cerrada	Cerrada
<b>Protección polvo y agua</b>	-	IP55

### 2.4.2. Neumático

#### a) Fuente

El presente proyecto se desarrolla en base a la norma INEN EN 1672-2:2006. La norma establece el uso de un sistema que permita almacenar energía de una manera limpia, estéril, sin desprendimiento de residuos, fácil limpieza y con asepsia alimentaria. El sistema neumático brinda mencionados beneficios. Los requerimientos de la empresa para el diseño y construcción de la máquina indican el uso del compresor actualmente disponible en la planta de producción. Las características del mismo se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16**  
*Características de la fuente neumática utilizada*

Característica	Valor utilizado
Tensión	110 [V]
Frecuencia	60 [Hz]
Presión	6 [Bar]
Almacenamiento	28 [lts]
Potencia nominal	2 [Hp]
Caudal	222 [l/min]
Transporte	Móvil
Salida	Acople rápido de ¼ in

En la Figura 29 se muestra la fuente neumática utilizada en el presente proyecto, disponible en la planta de producción.



**Figura 29** Compresor de aire



**b) Actuador de ascenso de la lata**

De acuerdo a la Tabla 6, la fuerza requerida por el mandril, para la sujeción de la lata durante el sellado es 100 [lb]. Se llevó este valor al sistema internacional.

$$F_{req} = 100 [Lb] * \frac{1 [Kg - f]}{2.205 [Lb]} * \frac{9.8 [N]}{1 [Kg - f]}$$

$$F_{req} = 444.44 [N]$$

La máquina fue diseñada para operar con el sistema de aire comprimido que dispone el área de producción de la empresa, según 0, literal a).

*Presión de la Fuente: 6 [Bar]*

$$P_{fuente} = 6 [Bar] * \frac{100000 [Pa]}{1 [Bar]}$$

$$P_{fuente} = 600000 [Pa]$$

Se calculó el diámetro necesario del actuador neumático.

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$\pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F}{P}$$

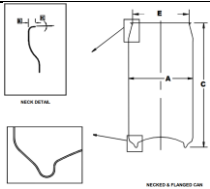
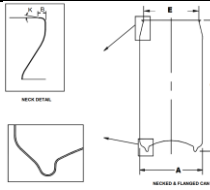
$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 444.44 [N]}{\pi * 600000 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}}$$

$$D = 0.03071 [m] = 30.71 [mm]$$

El diámetro nominal mínimo es 30.71 [mm]. Debido a la disponibilidad en catálogos se utiliza un actuador de 40 [mm] de diámetro. Para el dimensionamiento de la carrera del actuador, se tomó en cuenta las dimensiones de la Tabla 17.

**Tabla 17**  
*Especificaciones dimensionales de latas de aluminio*

<b>Modelo del envase</b> (End Size/Diameter x Height)	<b>Esquema</b>	<b>Dimensión de interés</b>
<b>202/211 x 413</b> <b>12 Oz</b>		Altura de la lata con bridas $C=122,22\pm 0,38$ [mm]
<b>202/211 x 603</b> <b>16 Oz</b>		Altura de la lata con bridas $C=152.88\pm 0,38$ [mm]

La carrera del actuador para el ascenso de las latas es igual a 85.86 [mm], según el apartado 2.3.2. Debido a la disponibilidad en catálogos, se utiliza un actuador de carrera de 100 [mm]. En la Tabla 18 se muestra el resumen de características del actuador de ascenso.

**Tabla 18**  
*Resumen de características del actuador de ascenso*

<b>Características</b>	<b>Calculado</b>	<b>Comercial</b>
Diámetro	30.71 [mm]	40 [mm]
Carrera	85.86 [mm]	100 [mm]
Tipo	Doble efecto	Doble efecto
Material	Grado alimenticio	Inox - Grado Alimenticio
Fuente	Neumático	Neumático

Para la selección del actuador de ascenso se utiliza la matriz de Holmes y la ponderación explicadas en el apartado 2.4.1 literal a). Las alternativas para la selección se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19**  
*Alternativas para la selección del actuador de ascenso*

A	B	C	D
Chanto 40 x 100	Parker 40 x 100	FESTO 40 x 100	SMC 40 x 100

La comparación de importancia de los criterios se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20**  
*Comparación de criterios para la selección del actuador de ascenso*

	Características	Costo	Disponibilidad	TOTAL	%
Características	-	10	1	11	33.33%
Costo	1	-	1	2	6.06%
Disponibilidad	10	10	-	20	60.61%
				33	

Para determinar el orden de prioridad de las alternativas se utiliza la Tabla 21.

**Tabla 21**  
*Prioridad de alternativas para la selección del actuador de ascenso*

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS				ALTERNATIVAS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Características	33.33	10	10	10	10	333	333	333	333
Costo	6.06	8	5	5	5	48	30	30	30
Disponibilidad	60.61	9	7	6	6	590	420	360	360
$\Sigma$	100	<b>Escala de 1 al 10</b>				971	783	723	726
						<b>ORDEN DE PRIORIDAD</b>			
						1	2	4	3

Analizando los resultados de la matriz de Holmes que se puede observar en la Tabla 21 se puede establecer que:

- El costo es el criterio de menor importancia para la selección del actuador de ascenso.
- Todas las alternativas cumplen las características técnicas requeridas.
- La disponibilidad en el mercado es el factor determinante para el orden de prioridad de alternativas en la selección del actuador de ascenso.

Debido al análisis de prioridad realizado, se utilizó el actuador Chanto de la Figura 30 como la solución más acertada para el presente proyecto.



**Figura 30 Actuador de ascenso**

En la Tabla 22 se observa las características técnicas del actuador Chanto, que son las requeridas según el diseño.

**Tabla 22**  
*Resumen de características del actuador Chanto*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Diámetro	40 [mm]
Carrera	100 [mm]
Tipo	Doble efecto
Material	Inox - Grado Alimenticio
Fuente	Neumático

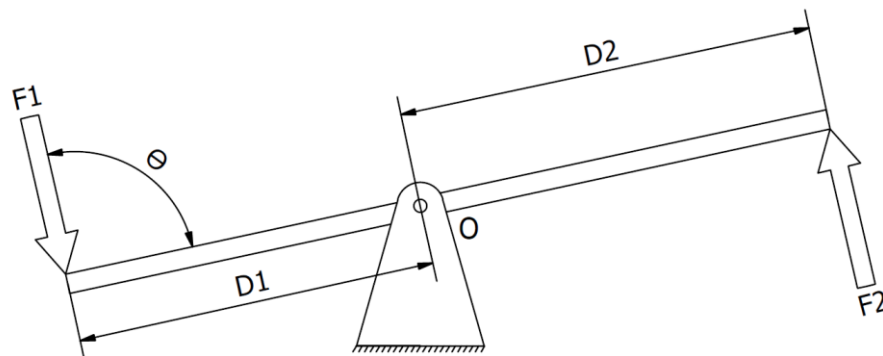
**c) Rodillos de cierre**

De acuerdo al apartado 2.3.2, los rodillos de cierre requieren una fuerza de 70 lb y 65 lb para la primera y segunda operación respectivamente. Existen diversos tipos de mecanismos de transmisión de fuerza que se mencionan en la Tabla 23.

**Tabla 23**  
**Mecanismos de transmisión de fuerza**

<b>Rotacional</b>	Ruedas de Fricción
	Sistema de ruedas de correa
	Engranajes
	Trenes de poleas de correa
<b>Lineal</b>	Polea fija
	Polea Móvil
	Polipasto
	Palanca

Uno de los mecanismos utilizados en este tipo de máquinas es de transmisión de fuerza por palanca. Se utiliza debido a la facilidad de montaje, optimización de recursos en su fabricación, espacio reducidos de trabajo. Además, permite un diseño más sencillo para la transmisión de fuerza en función de las distancias de la barra, como se observa en la Figura 31.



**Figura 31 Mecanismo de palanca**

Para la maximización de la capacidad del mecanismo de palanca, se analizó la relación del torque con el ángulo de inclinación.

$$T = F * D * \text{sen}(\theta)$$

Donde:

$F$  = Fuerza

$D$  = Longitud de brazo

$\theta$  = inclinación entre ejes

Mientras el ángulo de inclinación sea  $90^\circ$ , el valor del torque será el máximo. De esta manera se obtendrá la máxima fuerza aplicada al rodillo de cierre en el sistema de palanca.

Para determinar la fuerza necesaria del actuador se realiza la sumatoria de momentos alrededor del eje de rotación del sistema de palanca de la Figura 32.

$$\sum M_0 = 0$$

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

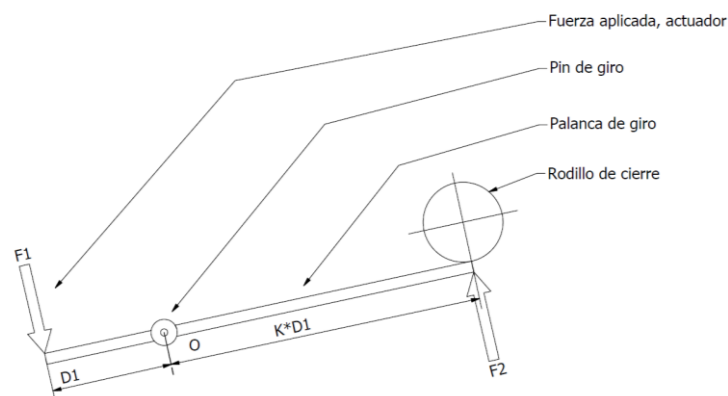
$$F_1 = F_2 * \frac{D_2}{D_1}$$

$$K = \frac{D_2}{D_1} \rightarrow F_1 = F_2 * K$$

Donde:

$F_1$ : Fuerza generada por la acción de la palanca al rodillo

$F_2$ : Fuerza aplicada por el actuador



**Figura 32 Fuerza generada por mecanismo de palanca**

Se comparó los casos en que la palanca actuó con una ganancia de  $K=1$ ,  $K=2$  y  $K=3$ . Si el valor de  $K$  es mayor que 3, la máquina excede el tamaño de los requerimientos. Se identificó la ventaja mecánica para los valores de  $K=2$  y  $K=3$  durante la ejecución de la operación de cierre.

La fuerza requerida por el rodillo de cierre para la primera operación se transforma a medidas internacionales.

$$F_{req} = 70 [Lb] * \frac{1 [Kg - f]}{2.205 [Lb]} * \frac{9.8 [N]}{1 [Kg - f]}$$

$$F_{req} = 311.11 [N]$$

Se utilizó un factor de seguridad de 2 (Budynas & Nisbett, 2008).

$$F_1 = F_{req} * \beta$$

$$F_1 = 311.11 [N] * 2$$

$$F_1 = 622.22 [N]$$

El actuador debe ser capaz de generar la fuerza necesaria por la primera operación utilizando el suministro neumático de  $P = 6 [Bar]$  establecido en el apartado 0. a).

$$F_1 = F_2 * K$$

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

Se realiza el análisis con un factor  $K = 2$ .

$$F_2 = \frac{622.22 [N]}{2} = 311.11 [N]$$

*Presión de la Fuente de aire comprimido = 6 [Bar]*

$$P_{fuente} = 6 [Bar] * \frac{100000 [Pa]}{1 [Bar]} = 600000 [Pa]$$

Se determinó el diámetro del actuador para  $K = 2$ .

$$P = \frac{F_2}{A} \text{ y } A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \frac{F_2}{P} \rightarrow \pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_2}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 311.11 [N]}{\pi * 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}}$$

$$D = 0.02569 [m] \cong 25.69 [mm]$$

El diámetro del actuador es de al menos 25.69 [mm]. Debido a la disponibilidad en el mercado, se utilizó un actuador de diámetro igual a 30 [mm].

Se realiza el análisis con un factor  $K = 3$ .

$$F_2 = \frac{622.22[N]}{3} = 207.41 [N]$$

Se determinó el diámetro del actuador para  $K = 3$ .

$$P = \frac{F_2}{A} \text{ y } A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \frac{F_2}{P} \rightarrow \pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 207.41 [N]}{\pi * 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}} = 0.01859 [m] = 18.59 [mm]$$

El diámetro del actuador es de al menos 18.59 [mm]. Debido a la disponibilidad en los catálogos se utiliza un de diámetro igual a 20 [mm].



La fuerza requerida por el rodillo de cierre para la segunda operación se transforma a medidas internacionales.

$$F_{req} = 65 [Lb] * \frac{1 [Kg - f]}{2.205 [Lb]} * \frac{9.8 [N]}{1 [Kg - f]}$$

$$F_{req} = 288.88 [N]$$

Se utilizó un factor de seguridad de 2 (Budynas & Nisbett, 2008).

$$F_1 = F_{req} * \beta$$

$$F_1 = 288.88 [N] * 2$$

$$F_1 = 577.77 [N]$$

El actuador debe ser capaz de generar la fuerza necesaria por la primera operación utilizando el suministro neumático de  $P = 6 [Bar]$  establecido en el apartado 0. a).

$$F_1 = F_2 * K$$

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

Se realizó el análisis con un factor  $K = 2$ .

$$F_2 = \frac{577.77 [N]}{2}$$

$$F_2 = 288.88 [N]$$

*Presión de la Fuente de aire comprimido = 6 [Bar]*

$$P_{fuente} = 6 [Bar] * \frac{100000 [Pa]}{1 [Bar]}$$

$$P_{fuente} = 600000 [Pa]$$

Se determinó el diámetro del actuador para  $K = 2$ .

$$P = \frac{F_2}{A} \text{ y } A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \frac{F_2}{P} \rightarrow \pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F_2}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 288.88 [N]}{\pi * 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}} = 0.02476 [m] = 24.76 [mm]$$

El diámetro del actuador es de al menos 24.76 [mm]. Debido a la disponibilidad en el mercado, se utilizó un actuador de diámetro igual a 30 [mm].

Se realizó el análisis con un factor  $K = 3$ .

$$F_2 = \frac{577.77[N]}{3} = 192.59 [N]$$

Se determinó el diámetro del actuador para  $K = 3$ .

$$P = \frac{F_2}{A} \text{ y } A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

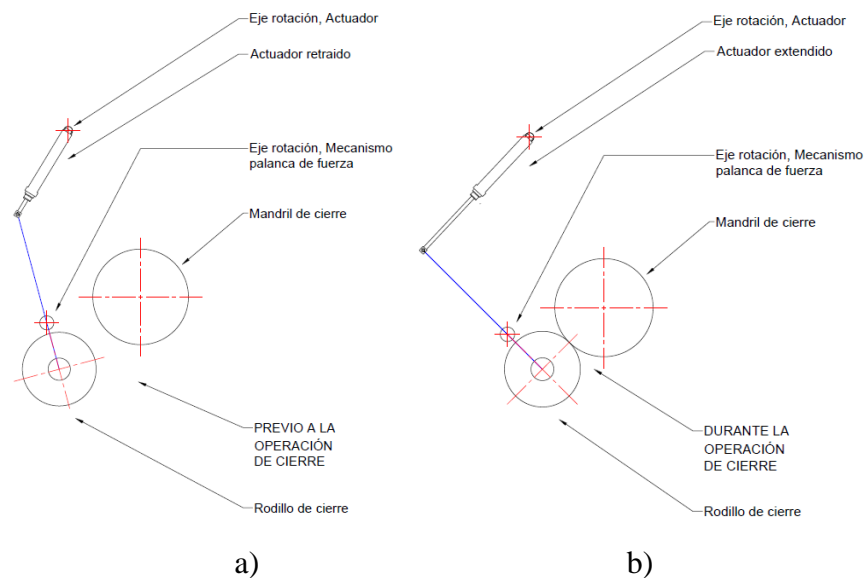
$$A = \frac{F_2}{P}$$

$$\pi * \frac{D^2}{4} = \frac{F_2}{P}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}} = \sqrt{\frac{4 * 192.59[N]}{\pi * 600000 \left[\frac{N}{m^2}\right]}} = 0.01995 [m] = 19.95 [mm]$$

El diámetro del actuador es de al menos 19.95 [mm]. Debido a la disponibilidad en los catálogos se utiliza un de diámetro igual a 20 [mm].

Para determinar la carrera de los actuadores que brindan la fuerza a los rodillos se debe superar la distancia de 5 [mm] como se observa en la Figura 33 . Esta distancia es la mínima que debe separarse el rodillo después de realizar el cierre, para que la lata pueda salir del proceso evitando colisiones.



**Figura 33 Disposición a) previo b) durante el cierre**

En la Tabla 24 se muestra el resumen de cálculos realizados para el diseño de los actuadores neumáticos.

**Tabla 24**  
**Resumen de cálculos**

	<b>Fuerza requerida</b>	<b>Diámetro con K=2</b>	<b>Diámetro con K=3</b>
<b>Primera operación</b>	311.11 [N]	25.69 [mm]	18.59 [mm]
<b>Segunda operación</b>	288.88 [N]	24.76 [mm]	19.95 [mm]
<b>Resultado</b>	El diámetro del actuador debe ser igual a 20 [mm]. La carrera del actuador debe ser al menos 5 [mm].		

Para la selección se utiliza la matriz de Holmes y la ponderación explicadas en el apartado 2.4.1 literal a). Las alternativas para la selección se muestran en la Tabla 25 y la comparación de importancia de los criterios se muestra en la Tabla 26.

**Tabla 25**  
*Alternativas para la selección de los actuadores*

A	B	C	D
Chanto 20 x 40	Parker 20 x 40	FESTO 20 x 25	SMC 20 x 25

**Tabla 26**  
*Comparación de criterios para la selección de los actuadores*

	Características	Costo	Disponibilidad	TOTAL	%
<b>Características</b>	-	10	1	11	33.33%
<b>Costo</b>	1	-	1	2	6.06%
<b>Disponibilidad</b>	10	10	-	20	60.61%
				33	

Para determinar el orden de prioridad de las alternativas se utiliza la Tabla 27.

**Tabla 27**  
*Prioridad de alternativas para la selección de los actuadores*

FACTORES	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS				ALTERNATIVAS			
		A	B	C	D	A	B	C	D
<b>Características</b>	33.33	10	10	10	10	333	333	333	333
<b>Costo</b>	6.06	8	7	7	7	48	42	42	42
<b>Disponibilidad</b>	60.61	5	8	5	5	300	480	300	300
<b>Σ</b>	100	<b>Escala de 1 al 10</b>				681	855	675	675
						<b>ORDEN DE PRIORIDAD</b>			
						2	1	3	3

Analizando los resultados de la matriz de Holmes que se puede observar en la Tabla 27 se puede establecer que:

- El costo es el criterio de menor importancia para la selección del actuador de ascenso.
- Todas las alternativas cumplen las características técnicas requeridas.
- La disponibilidad en el mercado es el factor determinante para el orden de prioridad de alternativas en la selección del actuador de ascenso.

Debido al análisis de prioridad realizado, se utilizó los actuadores Parker de la Figura 34 como la solución más acertada para el presente proyecto.



**Figura 34 Actuadores de ascenso**

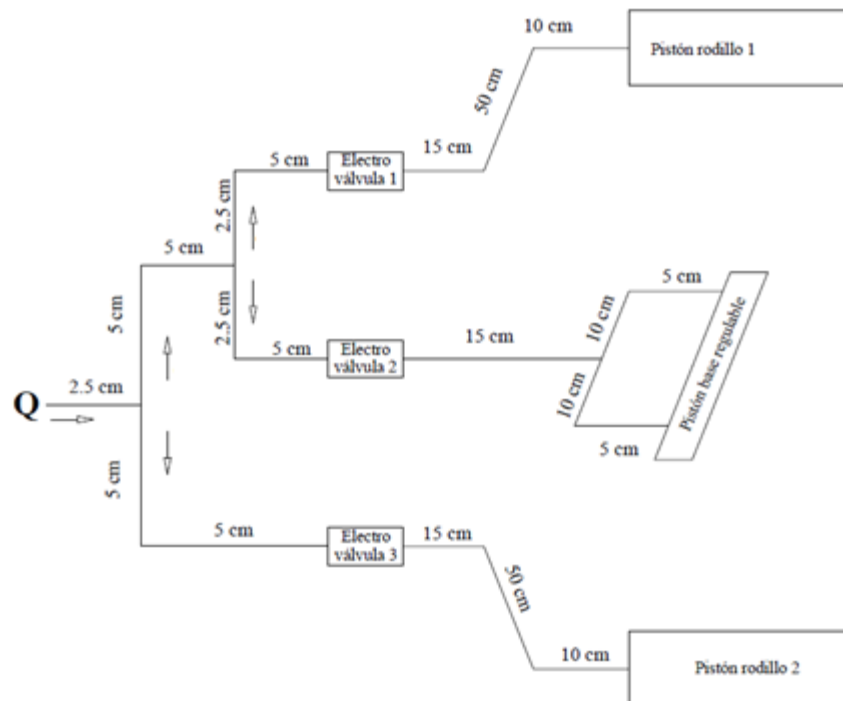
En la Tabla 28 se observa las características técnicas de los actuadores Parker, que son las requeridas según el diseño.

**Tabla 28**  
*Resumen de características de los actuadores Parker*

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Diámetro	20 [mm]
Carrera	40 [mm]
Tipo	Doble efecto
Material	Inox - Grado Alimenticio
Fuente	Neumático

**d) Caída de presión del sistema**

En la Figura 35 se muestra el diagrama del sistema neumático de la máquina para calcular la caída de presión. El sistema está compuesto de tres líneas que deben ser estudiadas independientemente.



**Figura 35 Sistema neumático de la máquina**

Los datos necesarios para realizar el cálculo se muestran a continuación:

*Diámetro de la tubería:*  $D = 5 * 10^{-3} [m]$

*Peso específico del aire:*  $\delta = 12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]$

*Rugosidad:*  $\varepsilon = 1.5 * 10^{-6} [m]$

*Viscosidad dinámica del fluido:*  $\mu = 17.4 * 10^{-6} \left[ \frac{N}{m^2} * s \right]$

*Presión del compresor:*  $6 [Bar] \cong 6 [MPa]$

*Flujo volumétrico:*  $Q = 0.08 \left[ \frac{m^3}{min} \right] \cong 1.333 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

Se determina la velocidad del flujo de aire.

$$Q = V * A$$

*Q: Flujo volumétrico*

*V: Velocidad el fluido*

*A: Área de la sección de tránsito del fluido*

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{1.333 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\frac{\pi * (5 * 10^{-3} [m])^2}{4}}$$

$$V = 67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Se identifica la rugosidad de la manguera de acuerdo a la Tabla 29.

**Tabla 29**  
***Rugosidad absoluta de materiales***

<b>Material</b>	<b>[mm]</b>
Plástico (PU, PE, PVC)	0.0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01
Tubos estirados de acero	0.0024
Tubos de latón o cobre	0.0015
Fundición revestida de cemento	0.0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024
Fundición centrifugada	0.003
Fundición asfaltada	0.06 – 0.18
Fundición	0.12 – 0.60
Acero comercial y soldado	0.03 – 0.09
Hierro forjado	0.03 – 0.09
Hierro galvanizado	0.06 – 0.24
Madera	0.18 – 0.90
Hormigón	0.3 - 3.0

**Fuente:** (Núñez & Valdiviezo, 2014)

El material de manguera utilizada es poliuretano.

$$\varepsilon_{manguera} = 0.0015 \text{ (mm)} \cong 1.5 * 10^{-6} [m]$$

Se determina la caída de presión en cada línea que alimenta a los actuadores neumáticos.

### Línea 1:

Se calcula el peso específico del fluido.

$$\delta = \rho * g$$

$\delta$ : *Peso específico*

$\rho$ : *densidad*

$g$ : *gravedad*

$$\rho = \frac{\delta}{g} = \frac{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]}{9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}$$

$$\rho = 1.293 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]$$

Se calcula el número de Reynolds del fluido para la línea 1.

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu}$$

$\rho$ : *densidad del fluido*

$V$ : *Velocidad del fluido*

$D$ : *diámetro de la tubería*

$\mu$ : *viscosidad dinámica del fluido*

$$Re = \frac{1.293 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 5 * 10^{-3} [m] * \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{4}}{17.4 * 10^{-6} \left[ \frac{N}{m^2} * s \right]}$$

$$Re = 6306.07$$



Se determina el coeficiente de fricción.

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$D$ : Diámetro interno de la tubería

$\varepsilon$ : rugosidad de la tubería

$Re$ : número de Reynolds del fluido

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{1.5 * \frac{10^{-6} [m]}{5} * 10^{-3} [m]}{3.7} + \frac{5.74}{(6306.07)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.035721$$

Se utiliza la ecuación de Navier-Stokes para determinar la pérdida en la línea 1.

$$\begin{aligned} \frac{P_{compresor}}{\delta} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} - f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{(V/4)^2}{2g} &= \frac{P_{L1}}{\delta} + Z_2 + \frac{V^2}{2g} \\ \frac{6 * 10^5 [Pa]}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} - 0.035721 * \frac{94.5 * 10^{-2} [m]}{5 * 10^{-3} [m]} * \frac{\left( \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{4} \right)^2}{2 * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \\ &= \frac{P_{L1}}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} + 50 * 10^{-2} [m] \end{aligned}$$

$$47352.2 [m] - 99.222 [m] = \frac{P_{L1}}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} + 50 * 10^{-2} [m]$$

$$P_{L1} = 598736.174 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 0.598736 [MPa]$$

La caída de presión de la línea 1 se muestra en la Tabla 30.

**Tabla 30**  
*Caída de presión en la línea 1*

Presión	Pérdida porcentual
Compresor 0.6 [MPa]	0.001264 [MPa] 0.211 %
Pérdida 0.598736 [MPa]	

**Línea 2:**

Se calcula el número de Reynolds del fluido para la línea 2.

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.293 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 5 * 10^{-3} [m] * \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{4}}{17.4 * 10^{-6} \left[ \frac{N}{m^2} * s \right]}$$

$$Re = 6306.07$$

Se determina el coeficiente de fricción.

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{1.5 * \frac{10^{-6} [m]}{5} * 10^{-3} [m]}{3.7} + \frac{5.74}{(6306.07)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.035721$$

Se utiliza la ecuación de Navier-Stokes para determinar la pérdida en la línea 2.

$$\frac{P_{compresor}}{\delta} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} - f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{(V/4)^2}{2g} = \frac{P_{L2}}{\delta} + Z_2 + \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{6 * 10^5 [Pa]}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} - 0.035721 * \frac{54.5 * 10^{-2} [m]}{5 * 10^{-3} [m]} * \frac{\left( \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{4} \right)^2}{2 * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}$$

$$= \frac{P_{L2}}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} + 50 * 10^{-2} [m]$$

$$47352.2 [m] - 57.223 [m] = \frac{P_{L2}}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} + 50 * 10^{-2} [m]$$

$$P_{L2} = 599268.318 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 0.599268318 [MPa]$$

La caída de presión de la línea 2 se muestra en la Tabla 31.

**Tabla 31**  
**Caída de presión en la línea 2**

Presión	Pérdida porcentual
Compresor 0.6 [MPa]	0.000732 [MPa] 0.122 %
Pérdida 0.599268318 [MPa]	

### Línea 3:

Calculo del número de Reynolds del fluido para la línea 3

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} = \frac{1.293 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 5 * 10^{-3} [m] * \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{2}}{17.4 * 10^{-6} \left[ \frac{N}{m^2} * s \right]} =$$

$$Re = 12612.1$$

Se determina el coeficiente de fricción.

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{1.5 * \frac{10^{-6}[m]}{5} * 10^{-3} [m]}{3.7} + \frac{5.74}{(12612.1)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.029661$$

Se utiliza la ecuación de Navier-Stokes para determinar la pérdida en la línea 3.

$$\frac{P_{compresor}}{\delta} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} - f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{(V/4)^2}{2g} = \frac{P_{L2}}{\delta} + Z_2 + \frac{V^2}{2g}$$

$$\begin{aligned} \frac{6 * 10^5 [Pa]}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} - 0.029661 * \frac{94.5 * 10^{-2} [m]}{5 * 10^{-3} [m]} * \frac{\left( \frac{67.889 \left[ \frac{m}{s} \right]}{2} \right)^2}{2 * 9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \\ = \frac{P_{L2}}{12.671 \left[ \frac{N}{m^3} \right]} + 50 * 10^{-2} [m] \end{aligned}$$

$$P_{L2} = 595817.574 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 0.595817574 [MPa]$$

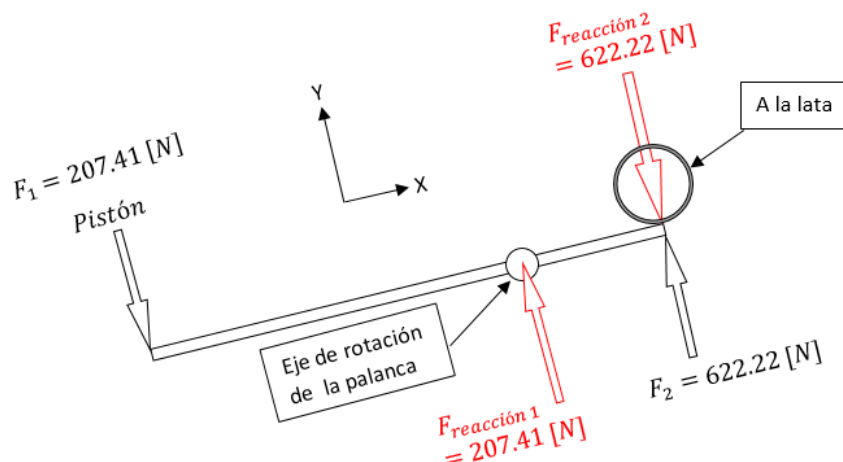
La caída de presión de la línea 3 se muestra en la Tabla 32.

**Tabla 32**  
*Caída de presión en la línea 3*

Presión		Pérdida porcentual	
Compresor	0.6 [MPa]	0.004182 [MPa]	0.6971 %
Pérdida	0.595817574 [MPa]		

### 2.4.3. Diseño de ejes de sujeción

Las fuerzas y reacciones presentes en el accionamiento de la operación de sellado se observan en la Figura 36.

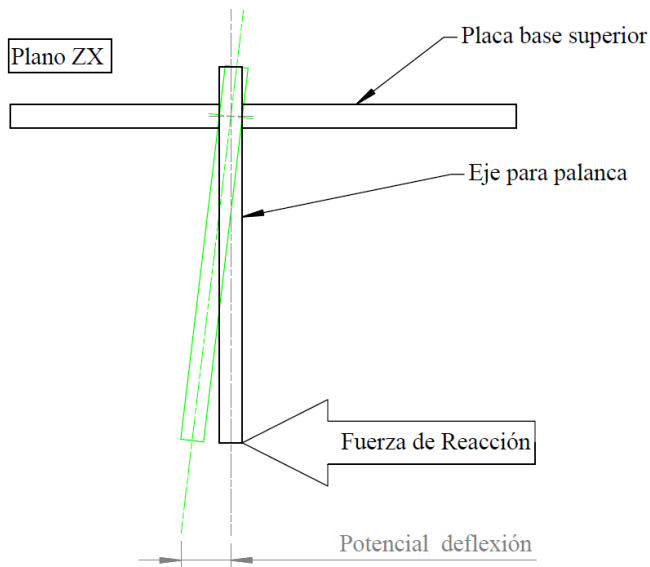


**Figura 36 Esquema de fuerzas**

En el plano  $XY$ , la fuerza que actúa sobre el eje de rotación de la palanca es:

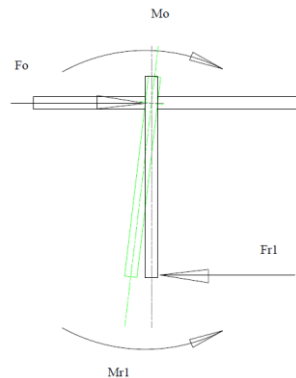
$$F_{r1} = 207.41 \text{ [N]}$$

La longitud de eje de palanca es 76 [mm] y su material es acero inoxidable, por lo que su módulo de elasticidad es  $E=234 \text{ [GPa]}$ . En la Figura 37 se observa la deflexión del soporte en el plano  $ZX$ .



**Figura 37 Deflexión del soporte**

Se realiza un análisis estático como el de la Figura 38, ya que al ejecutar la operación el eje permanece inmóvil.



**Figura 38 Análisis estático**

Se realiza la sumatoria de momentos en el punto de soporte.

$$\sum M_o = 0$$

$$-M_o + M_{r1} - F_{r1} * z = 0$$

$$-0 + M_{r1} - 207.41[N] * 0.076[m] = 0$$

$$M_{r1} = 15.763 [Nm]$$

Se aplica la ecuación general de flexión para vigas de sección irregular.

$$EI \frac{\partial^2 \delta}{\partial x^2} = M$$

$$EI \frac{\partial^2 \delta}{\partial z^2} = M_{r1} - F * z$$

$$EI \frac{\partial \delta}{\partial z} = M_{r1} * z - F * \frac{z^2}{2} + C_1$$

$$EI \delta = M_{r1} * \frac{z^2}{2} - F * \frac{z^3}{6} + C_1 * z + C_2$$

Se aplica condiciones de borde.

$$\delta = 0 \text{ si, } z = 0$$

$$EI \frac{\delta}{z} = M_{r1} * \frac{z^2}{2} - F * \frac{z^3}{6} + C_1 * z + C_2$$

$$0 = 0 - 0 + 0 + C_2 \rightarrow C_2 = 0$$

$$\theta = 0 \text{ si, } z = 0$$

$$EI \frac{\partial \delta}{\partial z} = M_{r1} * z - F * \frac{z^2}{2} + C_1$$

$$EI\theta = M_{r1} * z - F * \frac{z^2}{2} + C_1$$

$$0 = 0 - 0 + C_1 \rightarrow C_1 = 0$$

$$\therefore EI\delta = M_{r1} * \frac{z^2}{2} - F * \frac{z^3}{6}$$

$$EI\delta = M_{r1} * \frac{z^2}{2} - F * \frac{z^3}{6}$$

$$\delta = \frac{M_{r1} * \frac{z^2}{2} - F * \frac{z^3}{6}}{EI}; \quad I_{s\_circular} = \frac{1}{64} * \pi * D^2$$

Se analiza la deflexión máxima que tendría el extremo del eje con  $z = 0.076$  [m].

$$\delta = \frac{15.763 [Nm] * \frac{(0.076[m])^2}{2} - (207.41[N]) * \frac{(0.076[m])^3}{6}}{234 * 10^6 [Pa] * \frac{1}{64} * \pi * (0.012[m])^2}$$

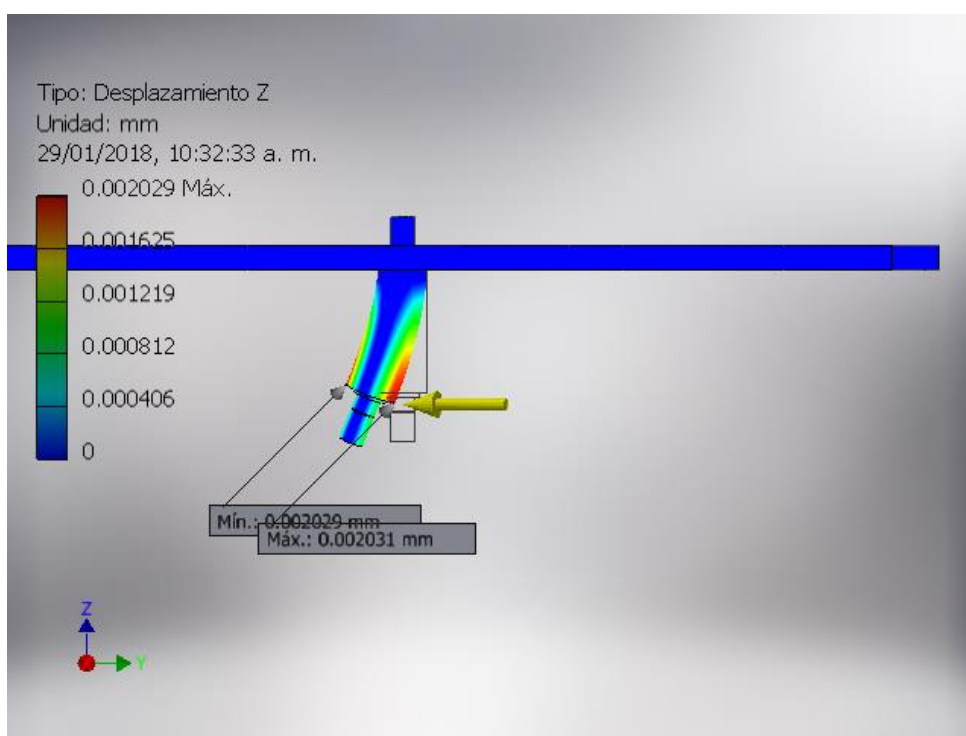
$$\delta = 0.00183 [mm]$$

Para validar los cálculos se realiza una simulación en software CAE. Las características del material utilizadas para la simulación se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33**  
*Características de simulación*

Característica	Valor
Material	Acero Inoxidable
Densidad de masa	8 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia máxima a tracción	540 MPa
Módulo de Young	193 GPa
Coefficiente de Poisson	0.3 su
Módulo cortante	74.2308 GPa

En la Figura 39 se observa los resultados de deformación en el eje durante la operación de cierre.



**Figura 39 Simulación del eje de soporte**

El valor de deformación es de 0.002029 [mm], valor equivalente al 4 % del valor de error permisible para el ancho de cierre que es la medida afectada por esta deflexión.



Se calcula el esfuerzo máximo del eje.

$$\sigma_{max} = \frac{My}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{15.763 [Nm] * 0.006 m}{\frac{1}{64} \pi (0.0012 m)^2}$$

$$\sigma_{max} = 1.338 [MPa]$$

El esfuerzo mínimo es 0 [MPa] ya que el eje se encuentra sin cargas. A partir del esfuerzo máximo y mínimo se calcula el esfuerzo medio y el esfuerzo de amplitud.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{1.338 [MPa] - 0 [MPa]}{2} = 0.669 [MPa]$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{1.338 [MPa] + 0 [MPa]}{2} = 0.669 [MPa]$$

Se identifica el valor de resistencia última a la tensión del material del eje en acero inoxidable. (Budynas & Nisbett, 2008)

$$S_{ut} = 568 [MPa]$$

Se utiliza los factores según (Budynas & Nisbett, 2008), para calcular el límite de resistencia a la fatiga.

Factor de modificación de la condición superficial

$$k_a = a S_{ut}^b = 4.51(568)^{-0.265} = 0.84$$

Factor de modificación de tamaño.

$$k_b = 1.24d^{-0.107} = 1.24 (12)^{-0.107} = 0.95$$

Factor de modificación de carga

$$k_c = 1$$

Factor de modificación de temperatura

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad

$$k_e = 1 - 0.08 Z_a = 1 - 0.08 (1.645) = 0.87$$

Factor de modificación de efectos varios

$$k_f = 1$$

Se calcula el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

$$S_e = (0.84)(0.95)(1)(1)(0.87)(1)[(0.5)(568)]$$

$$S_e = 197.17 \text{ MPa}$$

Se calcula a y b.

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0.87 * 568)^2}{197.17} = 1238.5 [\text{MPa}]$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{f S_{ut}}{S_e} \right) = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{0.87 * 568}{197.17} \right) = -0.133$$

Se calcula en número de ciclos para la vida finita.

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{0.669}{1 - \frac{0.669}{568}} = 0.6697 [MPa]$$

$$N = \left( \frac{0.669}{1238.5} \right)^{-1/0.133} = 3.6(10)^{24}$$

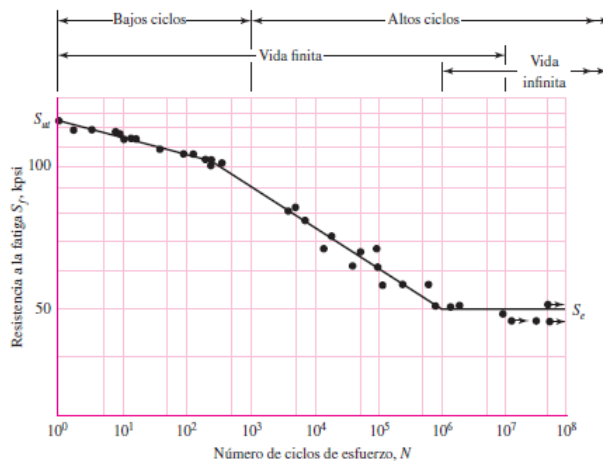
Se calcula el factor de seguridad utilizando la línea de Goodman modificada para vida infinita.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{FS}$$

$$\frac{0.669}{197.17} + \frac{0.669}{568} = \frac{1}{FS}$$

$$FS = 217$$

De acuerdo al diagrama de la Figura 40 Ciclos de esfuerzo - Resistencia, el eje soporta una vida infinita de ciclos.

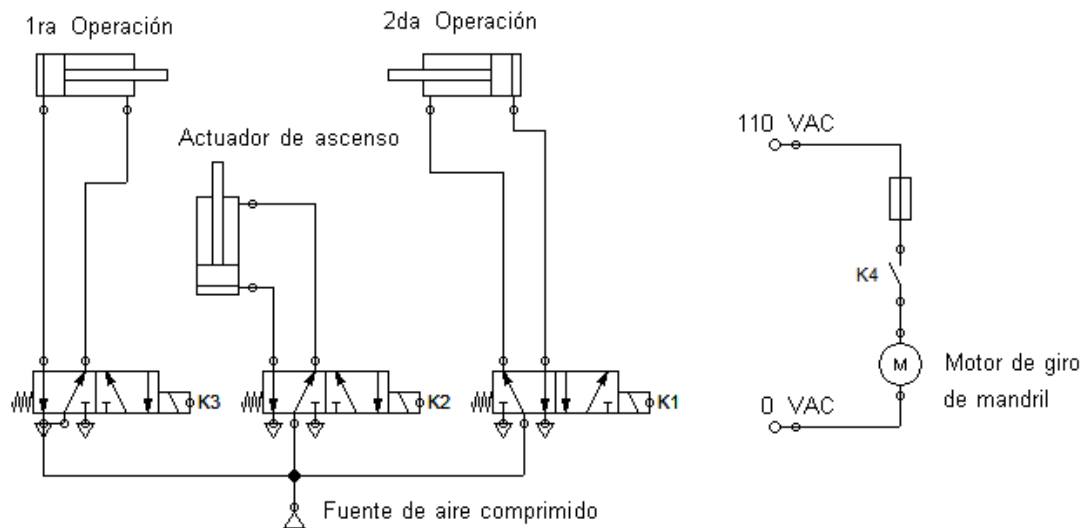


**Figura 40 Ciclos de esfuerzo - Resistencia**

### 2.4.4. Control de la máquina

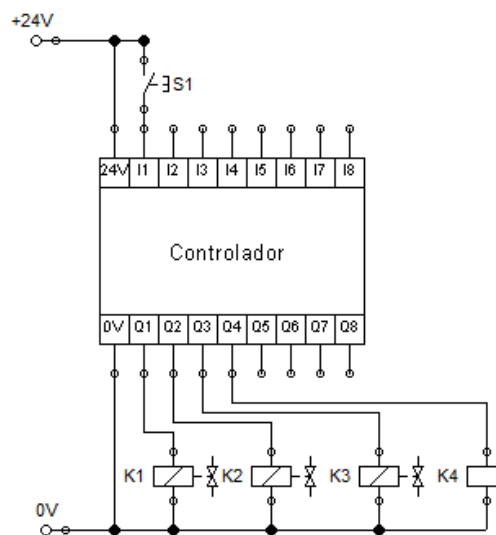
#### a) Esquema

El esquema de la Figura 41 representa el sistema de potencia de la máquina, compuesto de tres actuadores neumáticos y un actuador eléctrico.



**Figura 41 Sistema de potencia**

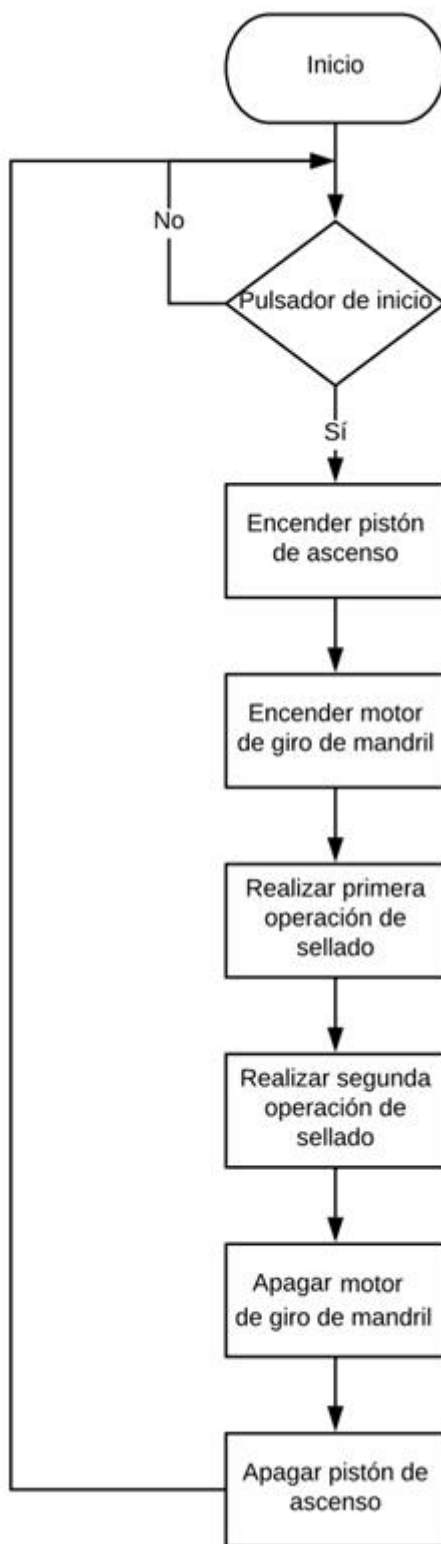
El esquema de la Figura 42 muestra el sistema de control. Está conformado por el pulsador S1 que da inicio a la secuencia de sellado, y de las bobinas de accionamiento K1, K2, K3 y K4 que activan el actuador de la primera operación, el actuador de la segunda operación, el actuador de ascenso y el motor de giro de mandril respectivamente.



**Figura 42 Sistema de control**

**b) Diagrama de flujo**

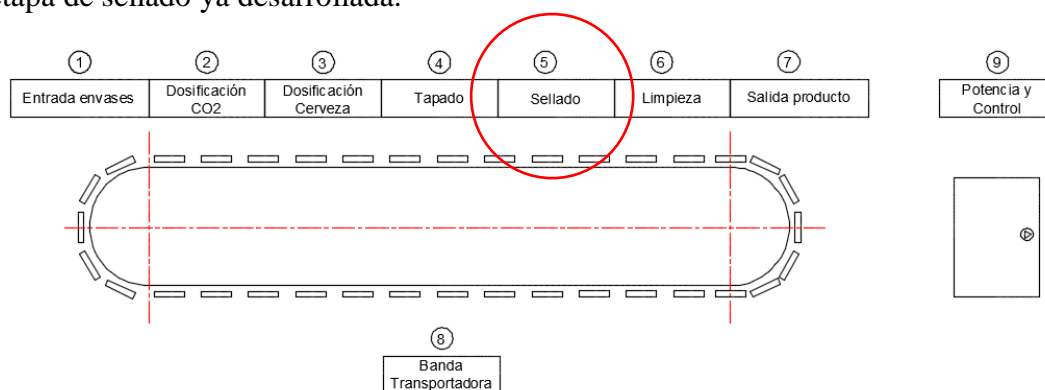
El diagrama de flujo de la Figura 43 describe el programa en el controlador, que permite realizar el proceso de sellado de latas.



**Figura 43 Diagrama de flujo del proceso**

#### 2.4.4. Automatización

En el presente proyecto se ha diseñado y construido una máquina de sellado y envasado de latas de aluminio semiautomática, para ser implementada en una línea automática de envasado de cerveza. En el diagrama de la Figura 44, se observa la etapa de sellado ya desarrollada.



**Figura 44 Línea automática de envasado**

Se ha realizado un diseño modular permitiendo integrar una línea automática en un trabajo futuro. La línea pretende cubrir la demanda nacional de producción de la empresa durante 10 años. En la figura se observa el diseño conceptual de la línea automática a desarrollarse en el trabajo futuro.



**Figura 45 Concepto de la línea automática**

## CAPÍTULO III

### PRUEBAS, VALIDACIÓN Y RESULTADOS

#### 3.1. Protocolo de pruebas de la lata

Para determinar un correcto sellado, se comparó las dimensiones del cierre obtenido con las especificadas por el fabricante de la lata. El examen del cierre está comprendido de cuatro fases que aportan información cualitativa y cuantitativa.

De acuerdo a la norma NTE INEN ISO 2859-1:2009 de procedimientos de muestreo para inspección por atributos, para validar un lote de 140 envases, se debe tomar una muestra de 6 elementos. Una lata o menos del total de la muestra pueden tener defectos durante la evaluación, quedando validada la calidad de todo el lote (INEN, 2012). En la Figura 46 se muestra el lote realizado y la muestra seleccionada para la validación del sellado.


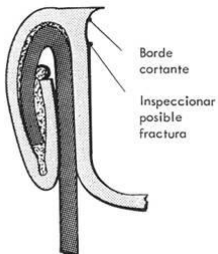
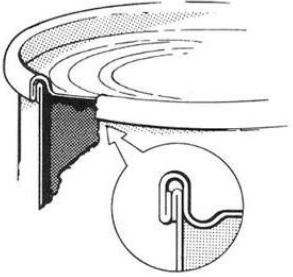
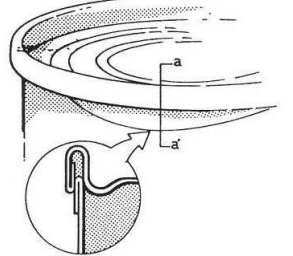


**Figura 46** Lote y muestra para el análisis del sellado

### 3.1.1. Fase 1, Examen visual y medidas exteriores

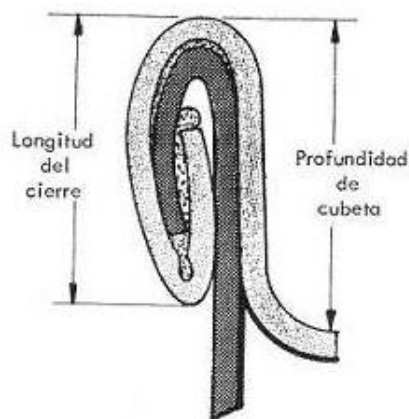
El procedimiento de inspección visual consiste en identificar defectos exteriores en el cierre mediante observación y tacto directo. (Valderas, 2010) Los defectos que se pueden encontrar mediante inspección visual se describen en la Tabla 34.

**Tabla 34**  
*Defectos detectables por inspección visual*

Defecto	Descripción	Imagen
Patinaje	Se detecta este defecto por un mayor espesor de cierre y una ligera deformación del fondo del envase.	
Borde cortante	Presencia de una arista viva en la parte interior de la cumbre del cierre.	
Falso cierre	Fallo en el traslape entre el gancho de cuerpo y el de fondo.	
Pestaña aplastada	Este defecto presenta la pestaña doblada contra el cuerpo, sin que se enrolle con el gancho del fondo.	



El procedimiento para obtener las medidas exteriores comprende la obtención de la longitud del cierre y la profundidad de la cubeta. Se toma la medida en tres puntos de la lata formando un triángulo equilátero para obtener un promedio y comparar con las especificaciones del fabricante. En la Figura 47 se muestra a detalle las medidas a tomar.



**Figura 47 Medidas exteriores del cierre**

**Fuente:** (Valderas, 2010)

### **3.1.2. Fase 2, Fugas**

Independientemente del análisis del cierre por destrucción del mismo, se debe verificar en otras muestras complementarias, la ausencia de fugas y por tanto la estanqueidad adecuada de los envases. La técnica del bote vacío consiste en utilizar aire a presión en dos posibles variantes, descritas a continuación.

- Por medio de un cabezal, se suministra aire a presión dentro del envase, aplicando al mismo tiempo con la ayuda de una brocha, agua jabonosa en los cierres. Si existe fugas de aire a través de los mismos se formarán burbujas en el punto exacto de la fuga.
- Sumergir totalmente el envase dentro de un depósito con agua, y apretarlo. Si el cierre es defectuoso o presenta poros se produce un burbujeo, debido a la salida del aire a través de los poros.

Estos procedimientos se usan para muestrear lotes, pero en líneas de fabricación envases se emplean otras técnicas para verificar la estanqueidad en el 100% de la producción.

### 3.1.3. Fase 3, Desmontaje del cierre

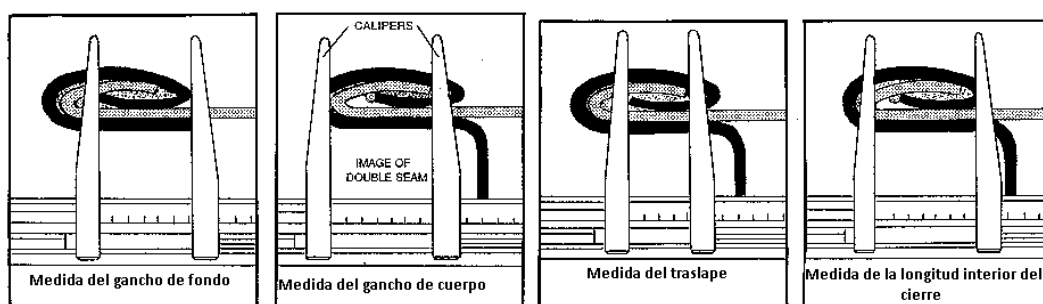
Para determinar una serie de factores claves para la integridad del cierre, tales como grado de apretado, ganchos de cuerpo, fondo, entre otros, hace falta desmontar el mismo. Se prepara el cierre para su estudio siguiendo la secuencia:

1. Corte y extracción del panel central del fondo.
2. Corte de dos secciones opuestas del cierre.
3. Doblar hacia atrás las secciones producidas y separarlas del envase.
4. Uniformizar los bordes de las secciones con papel de lija fina.
5. Colocar las secciones en el proyector para evaluación.
6. Desprender los tramos cortados el gancho del fondo, para el estudio independiente de ambos ganchos.

La superficie del tramo cortado, presentará un aspecto áspero y con rebabas por la acción de la sierra, es necesario suavizar y uniformizar la sección con la ayuda de un papel de lija fino antes de llevar sobre el proyector este fragmento y visualizarlo para su evaluación.

### 3.1.4. Fase 4, Mediciones internas

La observación en el proyector permiten tomar valores directos de las longitudes de ganchos, mediante una adecuada colocación del cierre, por medio de la lectura que los brazos móviles muestran en la regla graduada como se muestra en la Figura 48.



**Figura 48 Toma de medidas internas**

Fuente: (Valderas, 2010)

### 3.2. Resultados de la lata

Se realizó el protocolo de pruebas establecido en el apartado 0 y se presentan los resultados obtenidos.

#### 3.2.1. Fase 1, Examen visual y medidas exteriores

En la Figura 49, se observa las 6 latas de la muestra durante la inspección visual realizada.



**Figura 49 Inspección visual**

Los resultados obtenidos en el procedimiento de inspección visual se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35**  
**Resultados de la inspección visual**

<b>Defecto analizado</b>	<b>Resultado</b>
Patinaje	0 latas de la muestra presentan esta condición.
Borde cortante	0 latas de la muestra presentan esta condición.
Falso cierre	0 latas de la muestra presentan esta condición.
Pestaña aplastada	0 latas de la muestra presentan esta condición.

El procedimiento para obtener las medidas exteriores se realizó en todas las latas de la muestra como se observa en la Figura 50.



**Figura 50 Medidas exteriores de la muestra**

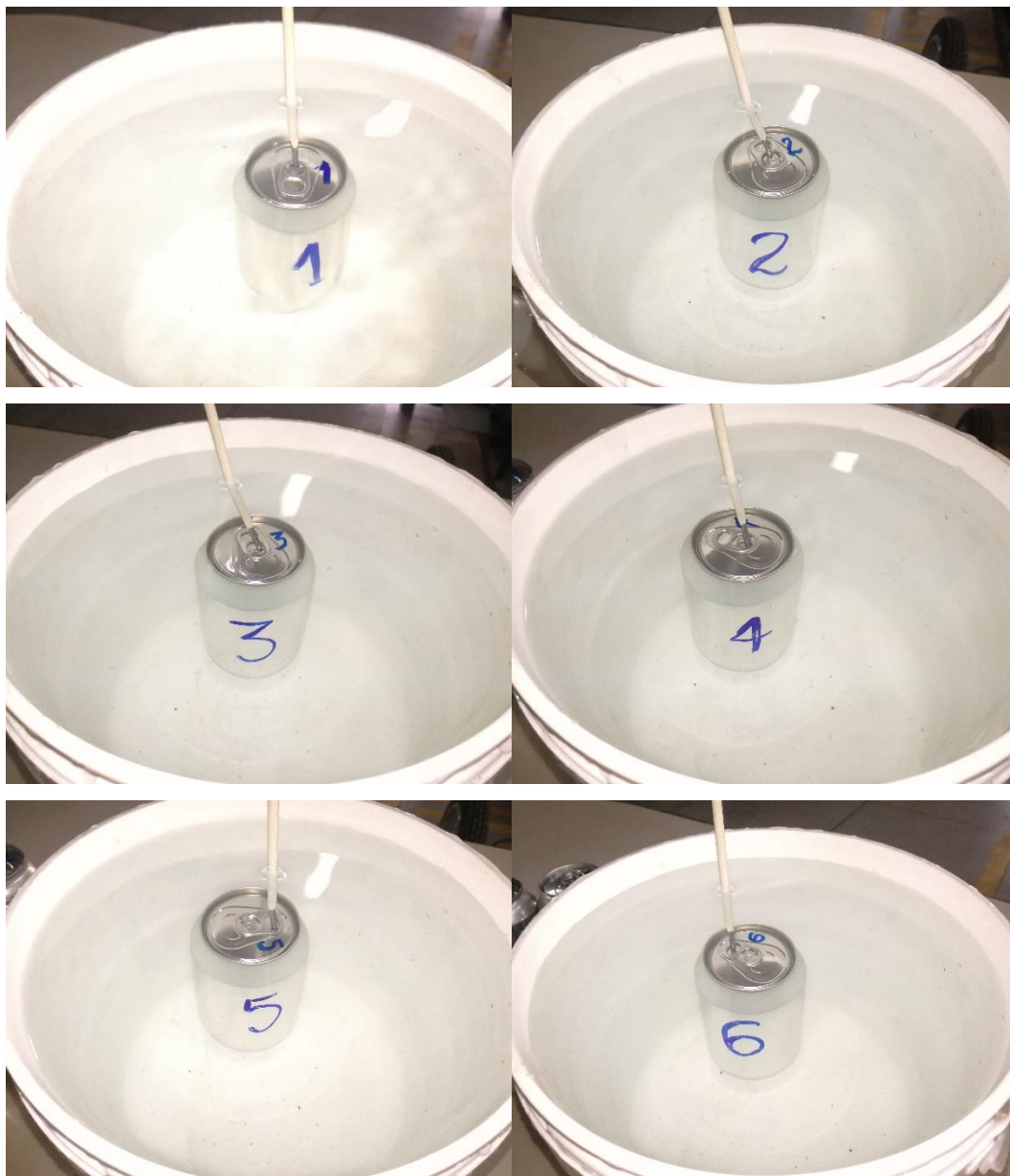
Los resultados obtenidos en el procedimiento para obtener medidas exteriores se presenta en la Tabla 36.

**Tabla 36**  
*Resultados de las medidas exteriores*

<b>Medida</b>	<b>Longitud del cierre</b>	<b>Error</b>	<b>Profundidad de la cubeta</b>	<b>Error</b>
Referencia	2.5 mm	$\pm 0.15$ mm	6.858 mm	$\pm 0.127$ mm
Lata 1	2.52 mm	0.02 mm	6.95 mm	0.092 mm
Lata 2	2.52 mm	0.02 mm	6.75 mm	0.108 mm
Lata 3	2.55 mm	0.05 mm	6.85 mm	0.008 mm
Lata 4	2.55 mm	0.05 mm	6.90 mm	0.042 mm
Lata 5	2.60 mm	0.10 mm	6.90 mm	0.042 mm
Lata 6	2.55 mm	0.05 mm	6.90 mm	0.042 mm
<b>Resultado</b>	Todas las latas de la muestra cumplen con la medida referencia.			

### 3.2.2. Fase 2, Fugas

El procedimiento para evaluar la presencia de fugas se realizó en todas las latas de la muestra como se observa en la Figura 51.



**Figura 51 Pruebas de estanqueidad**

Del total de latas de la muestra evaluadas, ninguna presenta fugas ni derrames durante la cuarta etapa del procedimiento de evaluación.

### 3.2.3. Fase 3, *Desmontaje del cierre*

El procedimiento que se observa en la Figura 52, para realizar el desmontaje del cierre, se realizó en todas las latas de la muestra.



**Figura 52 Desmontaje del cierre**

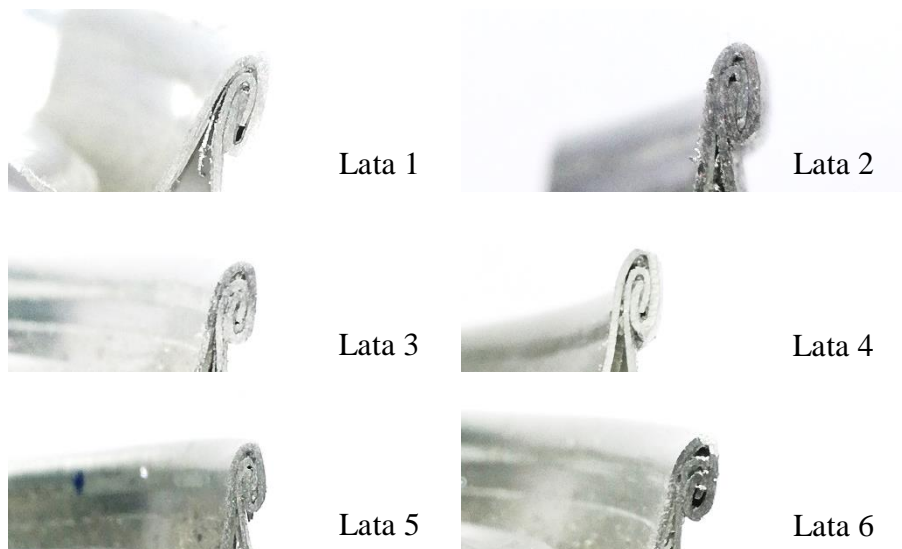
La superficie del tramo cortado, presentó un aspecto áspero y con rebabas por la acción del disco de corte, fue necesario suavizar y uniformizar la sección con la ayuda de un papel de lija fino, como se muestra en la Figura 53, para su posterior análisis.



**Figura 53 Pulido de muestras**

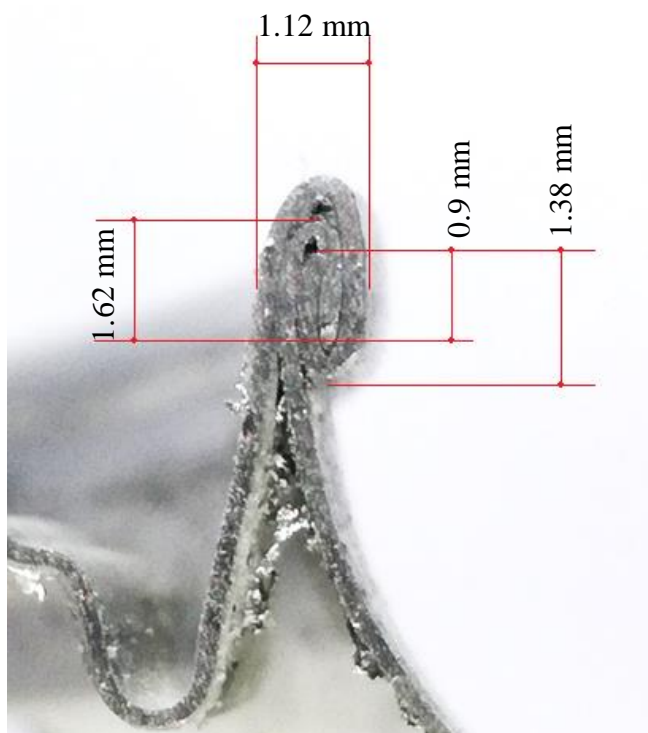
### 3.2.4. Fase 4, Mediciones internas

El procedimiento para obtener las medidas internas se realizó en todas las latas de la muestra como se observa en la Figura 54.



**Figura 54 Mediciones interiores de la muestra**

En la Figura 55 se muestra las medidas internas obtenidas de la lata 2.



**Figura 55 Mediciones interiores de la lata 2**

Los resultados obtenidos en el procedimiento para obtener medidas interiores se presenta en la Tabla 37.

**Tabla 37**  
**Resultados de las medidas interiores**

Medida	Ancho del cierre [mm]	Error [mm]	Gancho de cuerpo [mm]	Error [mm]	Gancho de tapa [mm]	Error [mm]	Traslape [mm]	Error [mm]
Ref	1.1	0.05	1.65	0.25	1.35	0.05	0.889	0.05
Lata 1	1.09	0.01	1.6	0.05	1.36	0.01	0.89	0.001
Lata 2	1.12	0.02	1.62	0.03	1.38	0.03	0.9	0.011
Lata 3	1.12	0.02	1.62	0.03	1.38	0.03	0.92	0.031
Lata 4	1.1	0.00	1.62	0.03	1.4	0.05	0.92	0.031
Lata 5	1.13	0.03	1.65	0.00	1.38	0.03	0.91	0.021
Lata 6	1.14	0.04	1.6	0.05	1.38	0.03	0.9	0.011
<b>Resultado</b>	Cumplen con la medida referencia.							

### 3.3. Protocolo de pruebas para la máquina

#### 3.3.1. Tiempo de sellado

Para determinar el tiempo de sellado de la máquina, se midió el intervalo entre el instante en la que la lata sube desde el nivel de referencia hacia el mandril, hasta el momento en el que regresa a la misma posición después del proceso de cierre. Se debe tener en cuenta que el tiempo actual de sellado depende de la habilidad del operario ya que la máquina es semiautomática, una vez integrado el sistema, los tiempos se reducirán.

#### 3.3.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico para determinar el tiempo de sellado de un lote. Se obtuvo el tiempo de sellado de una muestra según la norma NTE INEN ISO 2859-1:2009 de procedimientos de muestreo para inspección por atributos, para validar un lote de 140 envases.



### 3.4. Resultados de la máquina

En la Tabla 38 se muestra los resultados obtenidos de las mediciones de tiempo de sellado de la muestra estudiada. Los datos obtenidos dependen del operario al realizar la tarea, una vez integrado el sistema, deberían reducirse.

**Tabla 38**  
*Resultados del tiempo de sellado*

<b>Medida</b>	<b>Tiempo de sellado</b>
Lata 1	1.9 s
Lata 2	1.8 s
Lata 3	2.1 s
Lata 4	2.2 s
Lata 5	2.0 s
Lata 6	1.9 s
Promedio	1.98 s

El promedio de sellado es de 1.98 segundos por lata, lo que da un total de 30 latas por minuto cumpliendo el alcance del proyecto y los requerimientos de producción de la empresa.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS ECONÓMICO

En el análisis económico del presente proyecto se consideran dos aspectos, los cuales ayudan a determinar cuál es el costo del desarrollo de un producto, estos son:

- Costos directos
- Costos indirectos

#### 4.1. Costos Directos

Son aquellos costos de materiales que tienen relación directa con el producto terminado, en este caso constituyen los elementos necesarios para construir y ensamblar la parte mecánica, eléctrica, electrónica y de control de la máquina (Castaño, 2009).

El desglose de los valores correspondientes a la etapa de la estructura y de la selladora se muestran en la Tabla 39 y Tabla 40 respectivamente.

**Tabla 39**  
*Costos directos de la estructura*

Nº	Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal	Costo Total + IVA 12%
1	Tubo Acero Inox 304 (1 1/2x1.5)	3	\$62.55	\$187.65	\$189.15
2	Disco de corte 4 1/ x 1 mm INOX	4	\$1.65	\$6.608	\$7.40
3	Lija en Grata 1.4 in 80x30 GR. 80	1	\$11.5	\$11.5	\$11.50
4	R-60 308L de 1/18 5/64 ESAB Kg	1	\$16.25	\$16.25	\$18.20
5	R-60 308L de 1/18 5/64 ESAB unidades	10	\$0.714	\$7.14	\$8.00
6	R-60 308L de 1/18 5/64 ESAB Kg	0.67	\$20.53	\$13.75	\$15.41
				Total	\$ 249.66

**Tabla 40**  
**Costos directos de la selladora**

Nº	Elementos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal	Costo Total + IVA 12%
1	Cilindro Mini ISO 20 x 0040 mm	2	\$84.58	\$169.16	\$170.51
2	Válvula solenoide 1/4 5-2 24 VDC	2	\$34.60	\$69.20	\$69.75
3	Acople recto 8 mm x 1/4 MPT	6	\$1.34	\$8.04	\$8.10
4	Silenciador plano 1/8 PT	4	\$0.80	\$3.20	\$3.23
5	Acople rápido 8 mm	3	\$1.68	\$5.04	\$5.08
6	Regulador de caudal 8 mm x 1/8 MPT	4	\$5.89	\$23.56	\$23.75
7	Tubo PU 8 x 5mm blue	5	\$2.60	\$13.01	\$13.11
8	Herramienta UNC 205-16	2	\$7.15	\$14.30	\$16.02
9	Rodamientos 6801-2RS	8	\$3.35	\$26.80	\$30.02
10	Acople recto 8 mm x 1/4 MPT	1	\$1.34	\$1.34	\$1.50
11	Piezas fabricadas con corte de agua	1	\$53.73	\$53.73	\$60.18
12	Material para columnas	1	\$10.00	\$10.00	\$11.20
13	Rodamientos axiales	2	\$13.00	\$26.00	\$29.12
14	Pines de sujeción	1	\$19.65	\$19.65	\$19.65
15	Pernos de anclaje	1	\$2.32	\$2.32	\$2.60
16	Rodillos y mandril	3	\$396	\$1118	\$1350
				Total	\$1813.81

En la Tabla 41 se muestran los costos directos totales de la máquina construida en el presente proyecto.

**Tabla 41**  
*Costos Directos Totales*

Etapa	Costo
<b>Estructura</b>	\$249.66
<b>Selladora</b>	\$1813.81
<b>Total</b>	\$2063.47

#### 4.2. Costos Indirectos

Estos costos indirectos se definen como erogaciones que no se pueden localizar de forma precisa en una unidad producida, por lo que se absorben en la producción con base en el prorrateo (López, 2004). En la Tabla 42, la Tabla 43 y la Tabla 44 se muestran los costos de máquinas y herramientas, costos indirectos de mano de obra y costos operativos respectivamente.

**Tabla 42**  
*Costos indirectos de máquinas y herramientas*

Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total + IVA 12%
<b>Brocas</b>	7		\$51,50
<b>Grata</b>	1	\$8,00	\$8,00
<b>Disco de corte</b>	1	\$4,00	\$4,00
<b>Silicona Roja</b>	2	\$3,50	\$7,00
<b>Consumibles para soldadura</b>	3	\$8,06	\$24,18
<b>Estaño</b>	5	\$0,50	\$2,50
<b>Pasta de soldar y cautín</b>	1	\$5,50	\$5,50
<b>Cinta Taipe</b>	2	\$0,85	\$1,70
<b>Pulimento para Inox.</b>	1	\$10,00	\$10,00
<b>Cinta Gris</b>	1	\$4,00	\$4,00
<b>TOTAL</b>			\$118,38

**Tabla 43**  
*Costos indirectos de mano de obra*

<b>Detalle</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Costo/hora</b>	<b>Costo Total</b> <b>+ IVA 12%</b>
Ingeniería y Diseño	60 horas	\$12.00 /h	\$ 806.40
Construcción	160 horas	\$8.00 /h	\$ 1433.60
Programación y Control	20 horas	\$12.00 /h	\$ 268.80
<b>Total</b>			<b>\$ 1218.80</b>

**Tabla 44**  
*Costos Operativos*

<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
<b>Agua Potable</b>	\$5,00
<b>Energía Eléctrica</b>	\$45,00
<b>Internet</b>	\$23,00
<b>Transporte</b>	\$50,00
<b>Total \$123,00</b>	

El costo total de costos indirectos se muestran en la Tabla 45 *Total de costos indirectos* para la consolidación del presente proyecto en un periodo de seis meses.

**Tabla 45**  
*Total de costos indirectos*

<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
<b>Materiales</b>	\$118,38
<b>Mano de Obra</b>	\$1218.80
<b>Costos Operativos</b>	\$123,00
<b>Total \$1460.18</b>	

El costo total de la fabricación de la máquina, incluyendo el total de costos directos e indirectos es de \$3523.65 incluyendo los costos de ingeniería.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

#### 5.1. Conclusiones

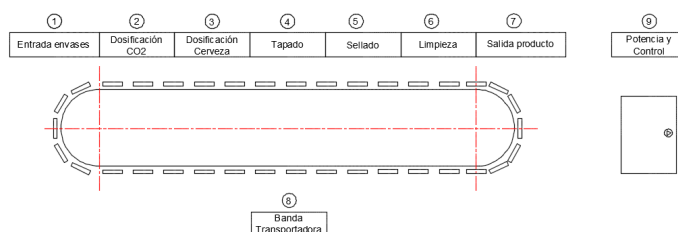
- Se diseñó y construyó una máquina selladora de latas de aluminio con tamaños de cuerpo estándar de 12, 16 y 24 oz y tapa estándar 202 (52 mm de diámetro). Se utilizó materiales y diseño sanitario asegurando la asepsia del proceso para cumplir la norma ecuatoriana INEN EN 1672-2.
- Se realizó todas las fases de evaluación del cierre de la lata establecidas por MPMA (The Metal Packaging Manufacturers Association) a una muestra de 6 latas para un lote de 140 latas según la norma NTE INEN ISO 2859-1:2009, obteniendo 0 defectos en el cierre de las latas evaluadas.
- Se diseñó los rodillos de cierre y mandril de acuerdo a los requerimientos establecidos para un sellado adecuado de la lata y se planteó el proceso de fabricación y acabado superficial requerido. La inversión de herramientas, maquinaria y procesos especiales, no justifica su fabricación para una sola máquina, por lo que fueron adquiridos de una empresa especializada en su producción.
- Los valores ideales para el balance correcto de la cerveza más vendida de la empresa son: carbonatación igual a 2.5 [VCO<sub>2</sub>/V], temperatura de la cerveza en el cuarto de enfriamiento igual a 4 [°C] y presión de CO<sub>2</sub> igual a 12.4 [psi].
- Se analizó las caídas de presión en el sistema, obteniendo un valor máximo en la línea 3 de 0.5958 [MPa], equivalente al 0.697 % de la presión de la fuente, lo cual no representa una pérdida significativa para el correcto cierre de las latas.
- La deflexión máxima del eje del soporte del sistema es 0.002029 [mm], valor equivalente al 4 % del valor de error permisible para el ancho de cierre, esta medida no influye en el correcto cierre de las latas.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda estudiar el mecanismo de sellado por levas, el cual permitirá dar mayor robustez al proceso. Teniendo en cuenta la variación económica que este cambio puede implicar.
- Evaluar la posibilidad de utilizar actuadores eléctricos que no dependan de una fuente de aire comprimido.

## 5.3. Trabajo futuro

En el presente proyecto se ha diseñado y construido una máquina de sellado de latas de aluminio para ser implementada en una línea automática completa de envasado como la del esquema de la Figura 56.



**Figura 56 Subsistemas del proyecto**

Para construir la línea, es necesario, desarrollar los subsistemas enlistados a continuación, excepto el subsistema de sellado que fue desarrollado en el presente proyecto.

- Entrada de envases: Ingreso de latas vacías de aluminio a la línea de producción.
- Dosificación CO<sub>2</sub>: Generación de un ambiente de CO<sub>2</sub>.
- Llenado: Llenado de envases con el producto.
- Tapado: Colocación de la tapa sobre el cuerpo de la lata.
- Sellado: Sellado hermético (deformación de material), uniendo la tapa y base del envase.
- Limpieza: Enjuague de la superficie exterior del envase.
- Salida Producto: Salida del producto final.
- Banda transportadora: Sistema de transporte de latas durante todas las etapas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABE. (12 de Septiembre de 2016). *American Beer Equipment*. Obtenido de <http://americanbeerequipment.com/portfolio-archive/lincan-systems/>
- BA. (2011). *Draught beer quality manual*. Boulder: Brewers Association.
- Brune, J. (30 de Noviembre de 2016). *Food News Latam*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de <http://www.foodnewslatam.com/paises/89-peru/6380-%C2%BFcerveza-en-botella-o-lata-2.html>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Cask. (2017). *Cask Global Canning Solutions*. Obtenido de <http://www.cask.com/about/>
- Castaño, O. J. (Enero de 2009). *Contabilidad de costo*. Obtenido de Contabilidad de costo: <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/Libro-44-Curso-costos-y-presupuestos.pdf>
- CEN. (2015). *Maquinaria para el procesado de alimentos Parte 2: Requisitos de Higiene*. Recuperado el 23 de Agosto de 2017, de [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte\\_inen\\_en\\_1672-2.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte_inen_en_1672-2.pdf)
- EAE. (6 de Enero de 2017). *EAE Business school*. Obtenido de <https://retos-directivos.eae.es/que-es-y-como-elaborar-una-matriz-de-priorizacion/>
- Gutiérrez, P. (04 de Mayo de 2012). *Fayer Wayer*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <https://www.fayerwayer.com/2012/05/el-origen-de-la-lata-de-bebida/>
- Imeta. (2017). *Mandriles y rodillos*. Parma: Imeta Srl.
- INEN. (2012). *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos*. Quito: Instituto ecuatoriano de normalización.
- López, R. R. (Febrero de 2004). *Costos I*. Obtenido de [http://www.cucea.udg.mx/include/publicaciones\\_drupal/pdfs/costos1.pdf](http://www.cucea.udg.mx/include/publicaciones_drupal/pdfs/costos1.pdf)
- Millán, A. (1 de Febrero de 2016). *Verema*. Obtenido de <https://www.verema.com/blog/cervezas/1335838-historia-latas-cerveza-mejor-lata-botella>
- MPMA. (2004). *Beer and Carbonated Soft Drink Cans*. Reino Unido: The Metal Packaging Manufacturers Association.
- Núñez, A., & Valdiviezo, F. (2014). *Implementación de un banco de pruebas para la medición de caudal en flujo cerrado*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Orozco, M. (13 de Septiembre de 2017). Miembro de la sociedad ecuatoriana de cerveceros artesanales. (J. Gómez, Entrevistador, & M. Orozco, Editor) Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <http://www.secaecuador.com>
- Palmer. (2017). *Palmer Canning System*. Obtenido de <http://www.palmercanning.com/about/our-team/>
- Premier, V. (30 de Agosto de 2014). *Vino Premier*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de <https://devinosconcarla.vinopremier.com/diferencias-entre-una-cerveza-artesanal-e-industrial/>



- PSAngelus. (2017). *Chuck and Rolls*. Ohio: Barry Wehmiller.
- Sandvik. (2017). *Mecanizado de piezas pequeñas*. Estocolmo.
- Valderas, A. (2010). *Mundo latas*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, de <http://www.mundolatas.com/informacion%20tecnica/Teoria%20Del%20Cierr e%20%201%20Parte.htm>
- VDI-2206. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*. Düsseldorf.