



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA DE MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA
LLENADO Y SELLADO DE BOTELLAS DE CERVEZA ARTESANAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: YADIRA MISHELLE CHANGO TOAPANTA
FABIAN ALEXANDER MUZO GUAÑUNA

TUTOR: EDUARDO XAVIER VACA MICHILENA

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Yadira Mishelle Chango Toapanta con cédula de ciudadanía N° 1721487518 y Fabian Alexander Muzo Guañuna con cédula de ciudadanía N° 1725332587; manifestamos que:


Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Yadira Mishelle Chango Toapanta
1721487518



Fabian Alexander Muzo Guañuna
1725332587

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Yadira Mishelle Chango Toapanta con cédula de ciudadanía N° 1721487518 y Fabian Alexander Muzo Guañuna con cédula de ciudadanía N° 1725332587, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titulación sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta tecnológica: “Diseño y simulación de una de máquina automatizada para llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

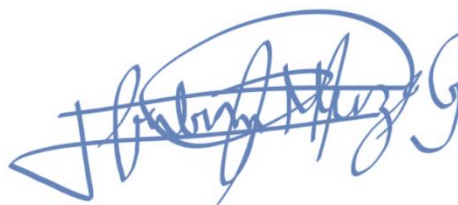
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Yadira Mishelle Chango Toapanta
1721487518



Fabian Alexander Muzo Guañuna
1725332587

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Xavier Vaca Michilena con documento de identificación N° 1721078424, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA DE MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA LLENADO Y SELLADO DE BOTELLAS DE CERVEZA ARTESANAL, realizado por Yadira Mishelle Chango Toapanta con cédula de ciudadanía N° 1721487518 y Fabian Alexander Muzo Guañuna con cédula de ciudadanía N° 1725332587, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena, MSc
1721078424

DEDICTORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación a Yadira, una de las autoras de este trabajo, cuya determinación y valentía han sido verdaderamente inspiradoras. A pesar de los momentos difíciles y la tentación de abandonar, Yadira nunca se rindió. Con lágrimas, sudor y un coraje indomable, persistió hasta alcanzar su anhelado título. Mirando atrás, hace cinco años, puedo ver cuánto ha logrado, y estoy increíblemente orgullosa de ella.

A mis abuelos y segundos padres, Raúl y Leticia, sé que, desde el cielo, Raúl está lleno de orgullo viendo los logros de su nieta. A Leticia, por su amor incondicional y por amarme como una madre, le estoy eternamente agradecida. A ambos les debo el privilegio de contar con mi madre, un ser humano excepcional. Desde el primer día, ella ha estado a mi lado, brindándome apoyo incondicional, alentándome a perseguir mis sueños y enseñándome a volar sola. Madre, este trabajo también es tuyo; es el fruto del esfuerzo compartido, de tu fe constante en mí y en mi capacidad. Siempre estaré agradecida por tu apoyo inquebrantable y por nunca soltar mi mano.

Este trabajo también lleva el sello de mis hermanos, Carlos y Andrés, quienes son mi pilar fundamental para seguir abriéndonos camino en el mundo. Juntos, hemos superado obstáculos y compartidos triunfos, y sé que seguiremos haciéndolo en el futuro.

DEDICTORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi papá Oswaldo y mi mamá Mercedes por su apoyo incondicional, por ser mis guías y mi fuente de fortaleza a lo largo de este viaje académico. Su constante impulso y aliento han sido la fuerza que me ha llevado a superar obstáculos y alcanzar mis metas.

Además, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis queridos abuelitos, especialmente a las dos mujeres extraordinarias abuelita María y Rosa que jugaron un papel fundamental en mi vida durante mi infancia. Aunque una de ellas se adelantó en el camino, su presencia y su amor siguen vivos en mi corazón. Nunca dudaron de mí, siempre estuvieron ahí para brindarme su cariño, su sabiduría y su apoyo incondicional.

Gracias a su amor incondicional y su constante estímulo, hoy puedo decir con orgullo que he alcanzado la culminación de mi carrera universitaria. Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, que siempre han creído en mí y han hecho posible este sueño compartido.

Por todo esto y mucho más, dedico este trabajo de titulación a ustedes, mis amados padres y abuelitos con un profundo agradecimiento y el más sincero amor. Que este humilde gesto sea un pequeño reflejo de la gratitud infinita que les tengo por ser los pilares de mi vida y por haberme guiado con amor y dedicación hacia el éxito. ¡Gracias por todo!

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes han sido mi roca y mi fuente de inspiración a lo largo de este viaje académico. A mi madre, mi padre y mis hermanos, les debo un reconocimiento especial por su constante apoyo y aliento, por estar siempre presentes y darme fuerzas para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. A mis adorados compañeros peludos, Lulú y Horus, les agradezco por ser mis fieles confidentes en las noches de estudio y por su incondicional compañía.

Quiero extender mi gratitud a mis queridos tíos, César, María y Xavier, cuya presencia y apoyo han sido un pilar fundamental en esta travesía académica. También quiero reconocer a una persona muy especial, cuya identidad prefiero mantener en el anonimato, pero que ha sido una luz en mi vida, brindándome su sabiduría, comprensión y aliento para seguir adelante.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado en cada paso del camino, les agradezco por su amistad, su ánimo y su inquebrantable apoyo. A Tito Aguilar, mi guía en esta travesía llamada vida, le agradezco por su sabio consejo y amistad sincera.

No puedo olvidar agradecer al Ing. Xavier Vaca, nuestro tutor, por su paciencia, aliento y orientación durante todo el proceso de titulación. Su guía ha sido invaluable en este camino hacia la culminación de este proyecto.

Finalmente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Diego Zapata, cuyo apoyo incondicional y compromiso han sido fundamentales para superar los desafíos y alcanzar este logro. Su dedicación como docente y amigo ha dejado una marca indeleble en mi camino hacia el éxito académico. Sin el respaldo de cada uno de ustedes, este logro no habría sido posible. Estoy eternamente agradecido por su presencia y apoyo en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres y hermanas, quienes han sido mi mayor apoyo y guía a lo largo de mi camino. Su amor incondicional, sus consejos y su constante aliento han sido los pilares sobre los cuales he construido cada uno de mis logros. A mis queridas hermanas, les agradezco especialmente por su confianza en mí y por ser mis compañeras de vida. Ellas han sido mi inspiración, mis confidentes y mis cómplices en cada aventura. Su presencia ha iluminado mi camino y su amor ha sido mi mayor fortaleza.

También quiero extender mi gratitud a mis tíos, Nicolás y Elsy, quienes siempre han creído en mí y han depositado sus esperanzas en mi futuro. El apoyo constante que me han dado y las palabras de ánimo que siempre me han dicho han sido como un remedio reconfortante en los momentos difíciles.

No puedo dejar de reconocer la influencia positiva de mi primo, Carlos Andrés, quien ha sido más que un familiar, ha sido un segundo padre para mí. Sus enseñanzas, su ejemplo de vida y su inquebrantable apoyo han sido fundamentales en mi desarrollo personal y profesional. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis amigos, quienes han sido mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles. Cada palabra de aliento, cada acto de amistad, ha sido como un faro de esperanza en los días más sombríos, y por eso siempre les estaré agradecido de todo corazón.

Este trabajo de titulación es también un tributo a cada una de las personas que han dejado una huella imborrable en mi vida. Su amor, su apoyo y su amistad han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, a pesar de los desafíos y las adversidades.

Que este pequeño gesto de agradecimiento sea un reflejo de mi profunda gratitud y un recordatorio de que nunca habría llegado tan lejos sin el amor y el apoyo de cada uno de ustedes. ¡Gracias por estar siempre a mi lado y por ser parte de mi historia!

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	4
FORMUACIÓN DEL PROBLEMA	4
JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN	4
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPITULO 1	6
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	6
1.1 Estado del arte	6
1.2 Cerveza Artesanal	8
1.2.1 Definición.....	8
1.2.2 Procesamiento de elaboración.....	8
1.2.3 Propiedades de la cerveza artesanal.....	9
1.2.4 Propiedades de carbonatación de la cerveza.....	12
1.2.5 Proceso de envasado.....	12
1.2.6 Tipo de envase.....	13
1.2.7 Técnicas de llenado en envases de vidrio.....	14
1.2.8 Técnica de sellado en envases de vidrio.....	16

1.3. Normativa para la construcción de maquinaria para alimentos.....	16
1.3.1 Materiales usados en la construcción de maquinaria alimenticia.....	17
1.4. Tipos de uniones entre elementos	18
1.4.1 Unión por Soldadura.....	18
1.5. Elementos en un sistema de automatización industrial.....	18
1.5.1 Pantalla HMI	18
1.5.2 PLC.....	19
1.6. Máquina usada en la industria para el proceso de embotellado	20
1.6.1 Selladora y envasadora de líquidos	20
CAPÍTULO 2.....	21
ANÁLISIS DE SECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	21
2.1. Análisis de alternativas para la máquina de llenado y sellado	21
2.1.1. Alternativa 1: Producción Lineal.....	21
2.1.2. Alternativa 2: Máquina Rotativa	22
2.1.3. Alternativa 3: Máquina Semiautomática	23
2.1.4. Cuadro de selección de alternativas de la máquina	24
2.1.5. Análisis y resultado de los parámetros de selección de alternativa para la máquina	25
2.2. Materiales	26
2.2.1. Material para los elementos estructurales.....	26
2.2.2. Métodos de unión entre elementos	27
2.2.3. Selección de procesos de soldadura para componentes de acero AISI 304...	28

2.2.4.	Selección de controladores	30
2.2.5.	Selección de electroválvula 5/2	30
2.2.6.	Selección de motor paso a paso	31
2.2.7.	Selección de compresor	32
CAPÍTULO 3.....		33
DISEÑO, ENSAMBLAJE Y SIMULACIÓN.....		33
3.1.	Parte experimental de llenado y sellado de cerveza artesanal.....	33
3.2.	Diseño de la máquina.....	35
3.3.	Estructura.....	37
3.4.	Sistema de llenado.....	37
3.4.1.	Válvula	37
3.4.2.	Tubería.....	38
3.4.3.	Sensor de presión.....	38
3.4.4.	Electroválvula.....	39
3.4.5.	Masa total de las válvulas y soporte de válvulas	41
3.4.6.	Tornillo de potencia	41
3.4.7.	Selección del tornillo de potencia.....	42
3.4.8.	Selección de la Tuerca del tornillo de potencia	44
3.4.9.	Sensor inductivo	45
3.4.10.	Peso de los envases	46
3.4.11.	Porta envases.....	47

3.4.12.	Motor	47
3.4.13.	Selección del motor a pasos.....	48
3.4.14.	Selección del Drive	49
3.4.15.	Banda	50
3.4.16.	Chumaceras.....	50
3.4.17.	Selección de chumaceras:	50
3.4.18.	Chumacera B:	51
3.4.	Sistema de Tapado	52
3.4.1.	Diseño del sistema neumático	53
3.4.2.	Cilindro neumático de doble efecto.....	53
3.4.3.	Válvulas neumáticas	54
3.4.4.	Final de Carrera	54
3.4.5.	Unidad FRL	55
3.4.6.	Compresor	55
3.4.7.	Tiempo de separación de los cilindros de doble efecto	58
3.4.8.	Conexión neumática cilindros- porta boquilla.....	59
3.5.	Tipos de conexiones.....	60
3.5.1.	Soldadura	60
3.5.2.	Pernos	60
3.7.	Diseño del control de la máquina	61
3.7.1.	Controlador PLC S7 1200	61

3.7.2.	Explicación de los elementos de control	62
3.7.3.	Algoritmo de programación del PLC Y HMI	63
3.7.4.	Diagrama de flujo de la máquina.....	69
CAPÍTULO 4.....		71
ANÁLISIS Y RESULTADO		71
4.1.	Análisis estático para elementos sometidos a esfuerzos.....	71
4.1.1.	Análisis estático del soporte de las válvulas.....	71
4.1.2.	Análisis estático de la estructura de la máquina	73
4.1.3.	Análisis de la capacidad de llenado y tapado de la máquina.....	74
4.1.4.	Producción de cerveza artesanal.....	75
4.2.	Análisis de costo	76
4.2.1.	Costo directo.....	76
4.2.2.	Costos indirectos	79
4.2.3.	Justificación de costos	79
4.2.4.	Análisis económico	80
4.2.5.	Flujo de caja	81
4.2.6.	VAN (VALOR ACTUL NETO) Y TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)	81
4.2.7.	Retorno de inversión.....	82
Conclusiones y recomendaciones		83
Conclusión		83
Recomendación		84

REFERENCIAS	85
--------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama del proceso de elaboración de cerveza [11].....	9
Figura 2 Flujograma de la Cerveza Artesanal.	9
Figura 3 Carbonatación de la cerveza artesanal [14].....	12
Figura 4 Botellas de Cristal.	13
Figura 5 Envase de lata.	14
Figura 6 Llenado por contrapresión [19].....	14
Figura 7 Llenado por compresión isobárica [21].	15
Figura 8 Llenado aséptico [22].....	15
Figura 9 Tapa de Corona.	16
Figura 10 Tapado manual de Botellas [23].....	16
Figura 11 Materiales usados en la industria alimenticia.....	18
Figura 12 Pantalla HMI.	19
Figura 13 Estructura General de los PLC [29].	20
Figura 14 Máquina selladora y empacadora de líquidos. Adaptado de selladora continua [15].	20
Figura 15 Máquina llenadora y tapadora semiautomática Frusso [31].	22
Figura 16 Envasadora Rotativa.	22
Figura 17 Máquina llenadora y selladora semiautomática.	23
Figura 18 Llenado manual de cerveza artesanal en envase de vidrio de 330 ml.....	34
Figura 19 Llenado manual de cerveza artesanal en envase de lata de 330 ml.	34
Figura 20 Sellado manual de un envase de vidrio de 330 ml.	34

Figura 21 Sellado semiautomático de un envase de lata de 330 ml.	35
Figura 22 Diseño de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal semiautomática.	35
Figura 23 Estructura de la máquina.....	37
Figura 24 Válvula de llenado.	37
Figura 25 Tubo neumático.....	38
Figura 26 Transmisor de presión SPTW [34].....	38
Figura 27 Electroválvula [35].....	40
Figura 28 DCL.....	41
Figura 29 Tornillo de potencia.....	42
Figura 30 Diagrama de la selección del tornillo de potencia [36].....	43
Figura 31 Tuerca del tornillo de potencia.....	44
Figura 32 Sensor inductivo.....	46
Figura 33 Porta envases con capacidad de botellas de vidrio de 330 ml.	47
Figura 34 Motor a paso y drive XINGE.....	48
Figura 35 Banda tipo L.....	50
Figura 36 Chumacera.	50
Figura 37 Diagrama de chumacera A.	51
Figura 38 Diagrama de Chumacera B.	52
Figura 39 Cilindro de Doble Efecto.	53
Figura 40 Sensor de proximidad SDBT-MSX.....	54
Figura 41 Unidad de mantenimiento.	55

Figura 42 Compresor de tornillos.....	57
Figura 43 Esquema de conexión de los cilindros-porta boquilla.	59
Figura 44 PLC S7 1200 [43].	61
Figura 45 Flujograma del Sistema de Tapado del Tia-Portal.	64
Figura 46 Flujograma del Sistema de Llenado en el Tia-Portal.	66
Figura 47 Simulación de pantalla HMI.	67
Figura 48 Activación del sistema de Sistema de llenado	67
Figura 49 Activación del sistema de Tapado	68
Figura 50 Selección de presión en la simulación de TIA PORTAL.	68
Figura 51 Contador de número de botellas en la simulación de TIA PORTAL.	69
Figura 52 Diagrama de flujo del proceso de la máquina llenado y sellado de cerveza artesanal.....	70
Figura 53 Distribución de cargas del soporte de válvulas.....	72
Figura 54 Factor de seguridad del soporte de válvulas obtenido a partir del análisis.....	72
Figura 55 Distribución de cargas.....	73
Figura 56 Análisis de la estructura de la máquina.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formulaciones para cerveza artesanal [12].	10
Tabla 2 Composición de una cerveza terminada [13].	10
Tabla 3 Resultado de parámetros físico – químico [12].	10
Tabla 4 Resultado del Análisis Microbiológico [12].	11
Tabla 5 Resultados del análisis sensorial [12].	12
Tabla 6 Parámetros de selección de alternativas basado en criterios de evaluación 1.	24
Tabla 7 Parámetros de selección de alternativas basado en criterios de evaluación 2.	25
Tabla 8 Selección final de alternativas.	25
Tabla 9 Propiedades de acero 304 y acero 316 [32].	26
Tabla 10 Diferencias entre los tipos de estructuras para uniones en una máquina de cerveza artesanal.	27
Tabla 11 Alternativas de unión de elementos.	28
Tabla 12 Comparación de criterios de la selección de soldadura para elementos de acero	29
Tabla 13 Alternativa de soldadura.	29
Tabla 14 Alternativas del tipo de controlador	30
Tabla 15 Propiedades de electroválvula 5/2.	30
Tabla 16 Propiedades de un motor a pasos [33].	31
Tabla 17 Propiedades de un compresor.	32
Tabla 18 Función de partes, componentes y piezas de la máquina llenadora selladora de cerveza artesanal.	36
Tabla 19 Datos del sensor de presión [34].	39

Tabla 20 Datos de electroválvula solenoide eléctrica [35].	40
Tabla 21 Datos para la carga que soporta el tornillo de potencia.	41
Tabla 22 Datos del tornillo de potencia [36] [ANEXO A2].	43
Tabla 23 Datos de la tuerca del tornillo de potencia [36] [ANEXO A3].	44
Tabla 24 Datos del tornillo y tuerca.	45
Tabla 25 Ecuaciones para la traslación de la tuerca.	45
Tabla 26 Datos para el llenado.	45
Tabla 27 Datos del sensor inductivo.	46
Tabla 28 Datos para el análisis del envase.	46
Tabla 29 Resultado del análisis del envase.	47
Tabla 30 Datos de motor a paso [37].	49
Tabla 31 Datos del drive del motor a pasos [38].	49
Tabla 32 Datos de la banda.	50
Tabla 33 Datos de Chumacera A [39].	51
Tabla 34 Datos de Chumacera B [40].	52
Tabla 35 Especificaciones del Cilindro [41].	53
Tabla 36 Datos de sensor de proximidad.	54
Tabla 37 Datos de Unidad FRL.	55
Tabla 38 Datos del cilindro para determinar el compresor.	56
Tabla 39 Especificaciones del compresor [42].	57
Tabla 40 Descripción de la conexión de válvulas y cilindros.	59

Tabla 41 Especificaciones de los pernos.....	60
Tabla 42 Datos del PLC S7 1200 [44].	61
Tabla 43 Detalle de los Entradas y Salidas de PLC.....	62
Tabla 44 Descripción de elementos de control.	63
Tabla 45 Datos del análisis estático del soporte de las válvulas.	71
Tabla 46 Resultados obtenidos de análisis de elementos finitos.	72
Tabla 47 Datos para el análisis estático de la estructura.....	73
Tabla 48 Resultados obtenidos de análisis de elementos finitos.	73
Tabla 49 Datos de las características de la máquina llenadora y selladora de cerveza artesanal.....	74
Tabla 50 Tiempo de envasado de la cerveza en un ciclo.	75
Tabla 51 Costos de materiales.	76
Tabla 52 Costos de maquinado.	79
Tabla 53 Costo total de la máquina.....	80
Tabla 54 Producción mínima de la máquina.....	80
Tabla 55 Flujo de caja de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal.	81
Tabla 56 Resultados del VAN y TIR.....	81

RESUMEN

En la presente propuesta se realizó un “Diseño y simulación de una de máquina automatizada para llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal”, la investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar los procesos de producción en la industria de la cerveza artesanal, donde la eficiencia y la calidad es crucial. La selección de parámetros y la validación del diseño se realizaron con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo y seguro de la máquina automatizada. Durante el desarrollo de la tesis, se realizaron pruebas de funcionamiento y se ajustaron los parámetros según las necesidades específicas del proceso de llenado y sellado. La simulación en SolidWorks permitió visualizar y analizar el comportamiento del sistema en diferentes escenarios, lo que facilitó la optimización del diseño. La máquina semiautomática diseñada consta de estaciones de llenado y tapado que garantizan un proceso eficiente y de alta calidad en la producción de cerveza artesanal. El control preciso en el llenado y sellado asegura resultados consistentes y reduce el desperdicio de producto. Además, la implementación de esta maquinaria permite una significativa reducción en los costos de fabricación, lo que otorga una ventaja competitiva a las microempresas cerveceras al facilitarles el acceso a tecnologías avanzadas a precios más asequibles.

Palabras Claves: Automatización, Simulación, Sensores de Presión, CAD, simulación dinámica, HMI

ABSTRACT

In this proposal, a “Design and simulation of an automated machine for filling and sealing craft beer bottles” was carried out. The research is based on the need to optimize production processes in the craft beer industry, where Efficiency and quality are crucial. Parameter selection and design validation were carried out in order to guarantee optimal and safe operation of the automated machine. During the development of the thesis, functional tests were carried out and the parameters were adjusted according to the specific needs of the filling and sealing process. The simulation in SolidWorks made it possible to visualize and analyze the behavior of the system in different scenarios, which facilitated the optimization of the design. The designed semi-automatic machine consists of filling and capping stations that guarantee an efficient and high-quality process in the production of craft beer. Precise control in filling and sealing ensures consistent results and reduces product waste. In addition, the implementation of this machinery allows a significant reduction in manufacturing costs, which gives a competitive advantage to brewing microenterprises by facilitating access to advanced technologies at higher prices.

Keywords: Automation, Simulation, Pressure Sensors, CAD, dynamic simulation, HMI

INTRODUCCIÓN

La industria cervecera artesanal ha experimentado un significativo crecimiento debido a la creciente demanda de nuevos productos. Para satisfacer esta demanda, las cervecerías artesanales buscan aumentar la producción mediante la introducción de tecnología, especialmente en el proceso de embotellado. El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema eficiente de llenado y tapado que cumpla con las necesidades de producción y garantice la calidad del producto final según las expectativas de los clientes.

La producción de cerveza artesanal en Ecuador ha aumentado significativamente, llegando a 6.4 millones de litros al año aproximadamente, representando un aumento del 36% en comparación con otros años. Esta producción ha generado alrededor de USD 25.5 millones para quienes se dedican a esta actividad económica, y se encuentra principalmente en 12 ciudades de Ecuador, Quito liderando, seguido por Guayas y Loja [1]. La cerveza tiene el título de la bebida alcohólica más aceptada y consumida globalmente, con aproximadamente 167 países participando en la producción de más de 144.000 millones de litros anuales. Se encuentran diversas categorías de cerveza a lo largo del mundo, desde las refrescantes cervezas rubias europeas hasta las más robustas "Ales" inglesas [2].

Esta tesis se enfoca en el desarrollo técnico de una máquina automatizada diseñada para el llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal. La cerveza artesanal, con sus requisitos específicos de producción, plantea desafíos que requieren soluciones ingenieriles avanzadas. Este proyecto se propone abordar estas complejidades mediante un enfoque holístico, incorporando desde la conceptualización hasta la simulación detallada del sistema. La primera etapa comprende un análisis detallado de los requisitos de producción y las normativas aplicables, seguido por la formulación de un diseño ergonómico y eficiente. La selección meticulosa de componentes y materiales, así como la integración de sistemas automatizados de llenado y sellado, conforman la base del diseño técnico.

La simulación, ejecutada mediante software especializado, desempeña un papel crucial en la evaluación del rendimiento de la máquina en diversos escenarios operativos. Los resultados obtenidos orientarán la optimización del sistema, permitiendo ajustes precisos de parámetros y mejoras continuas para maximizar la eficiencia y minimizar posibles fallas. Este proyecto no solo prioriza la eficiencia operativa, sino que también aborda aspectos críticos como la higiene y la seguridad, esenciales para el manejo de productos alimenticios.

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

PROBLEMA DE ESTUDIO

En la actualidad, muchas de las empresas realizan el llenado y sellado de botellas de forma manual, lo que resulta en un proceso ineficiente, costoso y con menor precisión en la medición del volumen de cerveza en cada botella. Además, este método manual puede comprometer la higiene, la calidad del producto final y la integridad física del personal encargado del proceso.

La falta de una máquina de llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal que cumpla con los requisitos adecuados y sea accesible para pequeñas y medianas empresas es un problema importante que enfrentan estas microempresas. Esto limita su capacidad de mejorar la eficiencia y la calidad de su proceso de producción, lo que se traduce en una disminución de la competitividad y rentabilidad del negocio.

FORMUACIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con la problemática previamente expuesta, la interrogante sería la siguiente: ¿Es factible desarrollar una propuesta tecnológica portable que lleve a cabo tanto el llenado como sellado de cerveza artesanal en un solo proceso sin comprometer aspectos cruciales como su sabor, aroma y efervescencia, controlado a través de un sistema semiautomático?

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

Las microempresas buscan aumentar la eficiencia en la producción al abordar tanto el desarrollo del producto como los tiempos muertos. Con el fin de evitar retrasos en la producción, se pretende diseñar una máquina especializada para optimizar el proceso de llenado y sellado de botellas, manteniendo la calidad del producto final.

Esto resultaría en una significativa reducción de los costos de producción en comparación con los métodos manuales actuales, especialmente ventajoso para las cerveceras artesanales al mejorar su competitividad y ofrecer precios más atractivos a los clientes. La reducción de costos también posibilitaría la inversión en áreas como investigación y desarrollo de nuevos productos o la expansión de la capacidad de producción.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una máquina automatizada para el llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso artesanal de llenado y sellado de botellas, mediante indagación bibliográfica y observación experimental, para la determinación e identificación de parámetros óptimos.
- Diseñar los elementos mecatrónicos de la máquina mediante la simulación utilizando software especializado para evaluar su desempeño.
- Evaluar la factibilidad operativa y viabilidad de fabricación del equipo de la verificación con software y análisis económico del proyecto para su posible implementación.

CAPITULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

En este capítulo, abordarán los conceptos y fundamentos teóricos relacionados con la composición y las características de la cerveza artesanal. Así mismo, se procederá a describir con detenimiento los criterios que engloban el proceso de llenado y sellado de cerveza artesanal mediante diversas técnicas y maquinaria. Además, se analizarán los materiales y componentes óptimos para la construcción de dichas máquinas, así como los métodos apropiados para la unión de las diferentes partes de la maquinaria destinada al llenado y sellado de cerveza artesanal.

1.1 Estado del arte

En [3], se elaboró una cerveza artesanal denominada Pale ale al estilo belga. Cada etapa fue monitoreada cuidadosamente para garantizar la calidad de la bebida. La levadura consumió 89,7% de total de azúcares y produjo el 13,8% volumen de etanol. Al concluir el estudio, el producto fue aceptado con un nivel medio de etanol del 5,2% volumen, sin rastro detectable de metanol, micotoxinas, arsénico o plomo.

De acuerdo con Meraz, et al. [4], analizaron que elementos pueden influir en la decisión de comprar cerveza artesanal como sabor, color, grado alcohólico y precio. Se realizó una encuesta a 178 personas, seleccionando a los participantes por datos sociodemográficos y preferencias de consumo. Los resultados arrojaron que el elemento primordial para los consumidores es el sabor, con un 83,7% de personas. Además, están dispuestos a pagar más por una cerveza con mejor sabor.

Según María Suárez [5], realizó un estudio sobre la cerveza: componentes y propiedades. Este estudio se centra en las propiedades organolépticas de la cerveza, con especial atención en el amargor. La composición de la cerveza incluye un 90% de agua, además de una diversidad de ingredientes como especias que aportan amargor, color, aspecto y formación de espuma. Se encontró que el amargor está relacionado con los isoácidos, aceites esenciales del lúpulo, esteroides, entre otros. Como resultado sobre 17 muestras de cerveza que al emplear métodos químicos métricos permitiría la clasificación las cervezas dentro de las diferentes características de la cerveza.

De acuerdo con Terán, et al. [6], realizaron un diseño e implementación del sistema para una línea de producción de cerveza artesanal. Se desarrollo con el objetivo de disminuir el esfuerzo requerido en los diferentes procesos como la ebullición, maceración y cocci3n para evitar pérdidas de producción. Se utilizaron actuadores, sensores, PLC para automatizar los procesos. Como resultado la optimización del proceso hubo una reducción de esfuerzo físico y también el número de trabajadores necesarios, lo que permitió que el personal restante se dedicara a otras actividades del proceso para mejorar la calidad de la cerveza.

De acuerdo con Fuelantala, et al. [7], desarrollaron un prototipo de máquina de fabricación de cerveza artesanal. Ante la ausencia de tecnología que controla los diferentes procesos de la cerveza, los autores desarrollaron un prototipo donde brinda a los profesionales de las industrias la viabilidad de ejercer un control adecuado en cada etapa, como la temperatura, el tiempo, el pH, la presión, la densidad. El prototipo está construido de acuerdo con las normativas alimentarias, lo que lo hace resistente a la corrosión y tiene una superficie compacta, higiénica y fácil de limpiar, además, el prototipo es resistente a los cambios bruscos de temperatura.

Según Llanqui, et al. [8], realizaron la implementación de un sistema automático de llenado de botellas. Esta empresa se enfoca en la industrialización del embotellado de agua, pero enfrenta problema de baja calidad y satisfacción del cliente debido al aumento de demanda. Para dar una solución realizaron la implementación de un sistema automatizado que permita alcanzar los resultados requeridos el cual permitió a los operadores tecnificarse, reducir esfuerzos innecesarios, disminuyendo tiempos y costos de fabricación, controlando cantidades de llenado, garantizando un buen producto final.

De acuerdo a Luis Aguilar [9], realizó un diagnóstico para procesos de alto consumo energético en el área de embotellado. Tras un estudio sobre los altos consumos de vapor que afectan el lavado de botellas, se identificaron cuatro factores clave: temperatura, concentración de la gaseosa, concentración de aditivos y tipo de botella. Se descubrieron dos oportunidades de mejora: la carencia de aislamiento y dificultades de calentamiento en un tanque, resultando en una pérdida energética mensual significativa. Las mejoras implementadas resultaron en ahorros mensuales importantes, subrayando la importancia de la metrología precisa y el mantenimiento adecuado de los equipos de medición en la industria.

1.2 Cerveza Artesanal

1.2.1 Definición

La cerveza es una bebida que ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde su elaboración artesanal en la antigua Mesopotamia hasta la tendencia actual hacia la elaboración casera y artesanal en pequeñas cervecerías.

Con el paso de los años, la cerveza se expandió por todos los continentes. En la actualidad, la elaboración artesanal de cerveza se ha vuelto más fuerte, porque cada vez más personas la elaboran de manera casera [10]. Esta tendencia se debe a la búsqueda de productos naturales y de calidad. La cerveza artesanal está elaborada con ingredientes autóctonos del lugar de donde se realiza y se usan ingredientes, como agua, levadura, malta y lúpulos. Esto le confiere características organolépticas únicas, que la diferencian de la cerveza industrial.

Según la historia, en Europa se remonta a la edad de Bronce. Los países con mayor tradición cervecera son Islandia, Noruega, Alemania, Bélgica, entre otros. En Latinoamérica, la cerveza artesanal empezó a inicios del siglo XXI. En Ecuador, la cerveza se desarrolló en el 2012 [10].

1.2.2 Procesamiento de elaboración

Cómo se ilustra en la Figura 1 la elaboración de cerveza artesanal implica varios pasos que pueden variar ligeramente dependiendo del tipo de cerveza que se esté produciendo y las preferencias del cervecero. Cabe destacar que la cerveza artesanal ofrece la posibilidad de experimentar con distintos ingredientes, técnicas y procesos para obtener una amplia variedad de sabores y estilos. Los cerveceros artesanales a menudo ajustan estos pasos para crear cervezas únicas y personalizadas [7].

La elaboración de cerveza artesanal involucra un proceso meticuloso que comienza con la molienda de la malta, seguida de la maceración para convertir almidones en azúcares fermentables. El lavado extrae azúcares adicionales, combinándolos con el mosto. La cocción con lúpulo purifica y aporta sabores clave, seguida por el enfriamiento para detener las reacciones enzimáticas. La fermentación convierte los azúcares en alcohol, seguida de la maduración para desarrollar sabores. La carbonatación y el proceso de filtrado preceden al embotellado y su distribución [7].



Figura 1 Diagrama del proceso de elaboración de cerveza [11].

La Figura 2 constituye un diagrama que proporciona una representación detallada, concisa y secuencial de los pasos esenciales en el proceso de elaboración de cerveza. Esta representación técnica y visual ofrece una guía comprensiva de las etapas críticas implicadas en la producción de cerveza artesanal.



Figura 2 Flujograma de la Cerveza Artesanal.

1.2.3 Propiedades de la cerveza artesanal

Para determinar las propiedades de la cerveza artesanal, es crucial realizar un análisis que abarque tanto aspectos químicos como físicos, con el objetivo de contextualizar y evaluar su valor nutricional, tal como se ilustra en la Tabla 1.

En este sentido, se abordan los siguientes componentes en el análisis de las distintas propiedades de a cerveza artesanal:

Tabla 1 Formulaciones para cerveza artesanal [12].

Ingrediente	Cantidad			
	F1 (25-75%)	F2 (50-50%)	F3 (75-25%)	F4 (100% malta)
Malta Pilsen	131.25 g	262.5 g	393.75 g	525 g
Almidón	393.75 g	262.5 g	131.25 g	---
Enzima α - amilasa	0,016 %	0,016 %	0,016 %	---
Enzima glucoamilasa	0,15 %	0,15 %	0,15 %	---
Agua	3.5 L	3.5 L	3.5 L	3.5 L
Lúpulo Cascade	3 g	3 g	3 g	3 g
Levadura	1.67 g	1.67 g	1.67 g	1.67 g
Azúcar	7 g/L	7 g/L	7 g/L	7 g/L

La cerveza artesanal debe pasar por un proceso y cumplir con ciertos parámetros para asegurar que sea apta para el consumo. Ver Tabla 2.

Tabla 2 Composición de una cerveza terminada [13].

Cerveza		
Densidad	Dióxido de carbono	Proteínas
Contenido de alcohol	Grado de fermentación	Color
Oxígeno disuelto	pH	Extracto final
Dióxido de azufre	Acidez	Extracto original
Sabor y aroma	Azúcares fermentables	Almidón

Para obtener un resultado físico – químico, aplicaron el método de Fisher [12], permitiendo identificar distinciones notables entre dos enunciados a través de los intervalos de confianza. Como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3 Resultado de parámetros físico – químico [12].

	Formulaciones		Control	Cerveza	NTE INEN
	A	B	XC	Comercial	2262
pH	3,89 $\pm 0,082_a$	4,06 $\pm 0,067_{bc}$	4,48 $\pm 0,010_d$	4,15 $\pm 0,005_{cd}$	3,5 – 4,8

Acidez (% de ácido láctico)	0,27 ± 0,021 _d	0,22 ± 0,011 _c	0,13 ± 0,013 _a	0,21 ± 0,005 _b	Máx. 0,3
Densidad g/cm³	1,006 ± 0,003 _a	1,006 ± 0,004 _a	1,020 ± 0,002 _b	1,006 ± 0,001 _a	----
Grado alcohólico (%)	3,7 ± 0,41 _b	3,7 ± 0,529 _b	2,2 ± 0,100 _a	3,7 ± 0,001 _c	1,0 – 10,0
Contenido de CO₂ (mg)	242,02 ± 0,002 _a	242,02 ± 0,003 _a	242,06 ± 0,001 _a	398,06 ± 0,001 _b	----

Los resultados del análisis microbiológico permiten verificar la calidad sanitaria de la bebida. Todo este proceso se lleva a cabo durante la elaboración, lo que contribuye a eliminar los riesgos para el consumidor [12]. Ver Tabla 4.

Tabla 4 Resultado del Análisis Microbiológico [12].

Microorganismos	Formulaciones		Control		NTE INEN 2262
	A	B	XC	Cerveza Comercial	
Mohos y levadura (log UFC/ mL)	4,16 ± 0,077 _b	4,15 ± 0,066 _b	4,22 ± 0,072 _c	3,30 ± 0,01 _a	Máx. 4
Coliformes Totales (log UFC/ mL)	0	0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i> (log UFC/ mL)	0	0	0	0	0

Para lograr una evaluación precisa de los resultados en el análisis sensorial en términos de su aceptabilidad en relación con una serie de parámetros, como el sabor, aroma, textura y apariencia, se comparan detalladamente las características que observa el consumidor de la cerveza artesanal y la cerveza comercial [12]. Ver Tabla 5.

Tabla 5 Consecuencias del análisis sensorial [12].

Parámetros	Formulaciones		Control	Cerveza
	A	B	XC	Comercial
Apariencia	25	26	19	30
Cuerpo	24	25	15	23
Color	27	26	17	33
Aroma	29	23	19	33
Sabor	17	25	13	29
Amargor	10	14	10	27
Sabor residual	14	16	9	22
Total	146	155	102	197

1.2.4 Propiedades de carbonatación de la cerveza

En la Figura 3, se observa las propiedades de carbonatación de la cerveza y es esencial en su elaboración, dependiendo de la temperatura y la presión de CO₂, esta se adapta a diversas condiciones de medición, en bares, siendo una herramienta crucial para garantizar la calidad y consistencia del producto final.

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatación Volúmenes CO ₂	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
	2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Presiones en bares

Figura 3 Carbonatación de la cerveza artesanal [14].

1.2.5 Proceso de envasado

El envasado de la cerveza compone un paso crucial en la producción y comercialización de esta bebida, y puede abordarse mediante diversas alternativas. Se conoce que la cerveza

puede ser empaquetada en botellas, latas o barriles, cada una de las cuales presenta sus propias ventajas y desventajas [15].

Los envases de la cerveza pueden variar en tamaño y tipo según las preferencias del consumidor y la estrategia de envasado de las cervecerías. Existen varios procesos como:

- *Envasadora Manual:* es un proceso que requiere de intervención manual del operador, son económicas y sencillas de utilizar [16].
- *Envasadora Semi automática:* en este proceso se requiere un operador solo para que active el proceso, ya que contiene controles para válvulas, encendidos y apagados de la máquina, entre otros [16].
- *Envasadora Automática:* todo su proceso es automatizado y capaz de proceder sin intervención manual [16].

La elección entre estos procesos depende de consideraciones económicas, operativas y estratégicas de la cervecería, así como de las preferencias del consumidor. Cada enfoque tiene sus ventajas específicas en términos de costos, eficiencia y grado de automatización.

1.2.6 Tipo de envase

- *Envase de Cristal:* Las botellas de vidrio son una elección popular para el envasado de cerveza debido a su capacidad para protección de la luz y el oxígeno, resistencia química, capacidad de reciclaje y durabilidad, garantizando la pureza, la integridad y calidad del producto. Además, su superficie lisa y transparente permite dar un etiquetado claro y distintivo, lo que facilita la identificación de la marca, información nutricional, entre otros datos relevantes, ocupando dentro del proceso una botella de 330 ml. Como se observa en la Figura 4 [17].



Figura 4 Botellas de Cristal.

- *Envase de lata:* Es un recipiente de metal delgado, como aluminio o acero, diseñado para contener y preservar bebidas u otros productos. Estos envases se caracterizan por su durabilidad, resistencia a la corrosión y capacidad para proteger los productos

envasados de factores externos como la luz, la humedad y el oxígeno [18]. Ver Figura 5.



Figura 5 Envase de lata.

1.2.7 Técnicas de llenado en envases de vidrio

Las técnicas de llenado es un conjunto de métodos y procedimientos utilizados para llenar, medir y sellar productos en recipientes de vidrio. Estas técnicas están diseñadas para garantizar la eficiencia del proceso de llenado, la precisión en la dosificación del producto, la integridad del envase y la seguridad del consumidor.

La elección de una técnica de llenado se toma en cuenta su funcionamiento, ventajas, limitaciones. Analizando los diferentes métodos como el control de flujo, precisión volumétrica, pérdidas, e higiene durante el proceso de llenado.

- **Llenado por contrapresión:** este método se emplea principalmente cuando se requiere evacuar el aire de la botella antes de llenarla con la cerveza. Luego se inyecta el líquido a presión para minimizar la pérdida de las propiedades del producto. Se usa con mayor frecuencia en envases de vidrio. Como se observa en la Figura 6.



Figura 6 Llenado por contrapresión [19].

- **Llenado por gravedad (Gravity Filling Method):** en este proceso, las botellas se llenan de manera gradual en sentido ascendente. Este método resulta adecuado para líquidos con carbonatación moderada y es aplicable tanto a envases de vidrio como de plástico [20].
- **Llenado por compresión isobárica (Isobaric Filling Method):** este método guarda similitud con el proceso de llenado a contrapresión, pero se ejecuta de manera constante, lo que atribuye a preservar las características de carbonatación y minimizar el riesgo de espuma y se aplica comúnmente en envases PET [21]. Como se observa en la Figura 7.

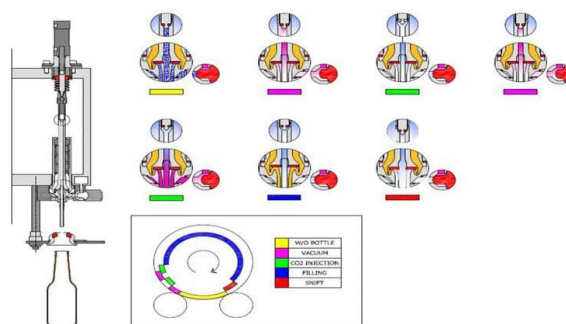


Figura 7 Llenado por compresión isobárica [21].

- **Llenado aséptico (Aseptic Filling Method):** este método se destaca por llenar líquidos carbonatados en envases en un ambiente, lo que prolonga la vida útil del producto. Se utiliza especialmente para productos sensibles que requieren mantener a temperaturas frescas y la conservación de su carbonatación [20]. Como se observa en la Figura 8.

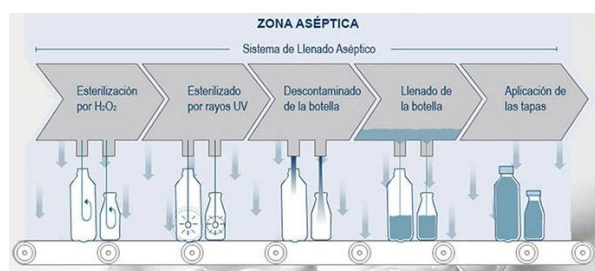


Figura 8 Llenado aséptico [22].

1.2.8 Técnica de sellado en envases de vidrio

El sellado de la cerveza es un procedimiento crucial en la producción y el embotellado de esta bebida, ya que desempeña un papel esencial en la preservación de su calidad y la prevención de la contaminación [17].

En la Figura 9 la tapa tipo corona es uno de los métodos más comunes de sellado en las botellas de cerveza.



Figura 9 Tapa de Corona.

Las tapas tipo corona son de metal con un revestimiento de plástico que se aplican de manera hermética en el cuello de la botella mediante una máquina de encorchado como se ilustra en la Figura 10. Este proceso asegura que la cerveza quede sellada de forma segura y que se mantenga protegida de elementos externos que puedan afectar su sabor y calidad. Ver Figura 10.



Figura 10 Tapado manual de Botellas [23].

1.3. Normativa para la construcción de una máquina para alimentos y bebidas

La normativa en la cual se basa el diseño de máquinas para el procesamiento de alimentos es la Norma INEN-EN 1672-2, esta norma hace referencia a las especificaciones de higiene más comunes que ocurren en la preparación y proceso de alimentos destinados al consumo humano. Además, esta normativa sirve para identificar peligros que pueden ocurrir en la operación de la maquinaria, así como hace referencias a los métodos de diseño [24].

Esta normativa prioriza la reducción de los riesgos asociados al procesamiento de alimentos y procede a seleccionar un método que permita disminuir los riesgos tanto en higiene como

de seguridad, dado que estos aspectos ejercen una considerable influencia en la insalubridad en los productos y proteger la salud del operante. Asimismo, esta normativa aborda la elección de materia prima para la construcción utilizados en la fabricación de la máquina, con el objetivo de evitar la contaminación del producto con componentes peligrosos que puedan poner en riesgo la salud del consumidor y estos materiales son usados en la industria alimenticia.

1.3.1 Materiales usados en la construcción de maquinaria alimenticia

En la construcción de maquinaria alimentaria, se emplean materiales que cumplen con requisitos de seguridad alimentaria, deben ser resistentes a la corrosión, seguros para el contacto con alimentos, y fáciles de limpiar. Además, deben mantener su estabilidad, no ser tóxicos ni promover el crecimiento de microorganismos, y ser compatibles con el producto y los métodos de limpieza [25]. Como se observa en la Figura 11, algunos de los materiales más comunes incluyen:

1. *Acero Inoxidable*: Material metálico altamente resistente a la corrosión y con propiedades sanitarias, aplicadas en la producción de alimentos y bebidas para proteger al consumidor y ofrecer productos de alta calidad. [26].
2. *Aluminio*: Material metálico de peso ligero con propiedades conductoras, aplicado en la industria, desde la fabricación de componentes de aviones hasta la producción de envases reciclables para alimentos [26].
3. *Vidrio*: Material transparente y resistente, empleado en la industria de envases y dispositivos ópticos, garantizando la conservación y presentación estética de productos sensibles a la luz [26].
4. *Cerámica*: Material inorgánico resistente obtenido mediante cocción a alta temperatura, utilizado en aplicaciones industriales que requieren resistencia térmica y durabilidad, como en la fabricación de azulejos y componentes electrónicos [26].
5. *Elastómeros*: Material flexible y elástico ampliamente utilizado en la industria para crear sellos y juntas herméticas, contribuyendo a la seguridad y la eficiencia en sistemas mecánicos y de sellado [26].
6. *Polímeros*: Compuestos orgánicos de alta versatilidad y resistencia, utilizados en la producción de varios productos, desde envases plásticos hasta componentes industriales, contribuyendo a la eficiencia y la durabilidad en diversos sectores industriales [26].



Figura 11 Materiales usados en la industria alimenticia.

1.4. Tipos de uniones entre elementos

1.4.1 Unión por Soldadura

La soldadura como herramienta de manufactura implica la unión de dos o más materiales por medio de la coalescencia de sus partes componentes. Este proceso de unión se logra al fusionar las superficies de las piezas a través de la aplicación controlada de calor. La soldadura comprende una variedad de métodos, cada uno de los cuales muestra características particulares y se emplea de acuerdo con las necesidades particulares de la unión, adaptando la solución al material y las condiciones [27].

Las uniones soldadas son una técnica de unión ampliamente utilizada en la fabricación de estructuras metálicas, maquinaria, equipos industriales, y en la industria aeronáutica. Son preferidas por su capacidad de proporcionar conexiones fuertes y duraderas que pueden resistir cargas mecánicas y vibraciones en entornos desafiantes, garantizando resistencia y durabilidad para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro en entornos industriales exigentes [27].

1.5. Elementos en un sistema de automatización industrial

1.5.1 Pantalla HMI

La pantalla HMI (Interfaz Hombre-Máquina) representa un componente fundamental en la automatización industrial, facilitando la interacción y el control en procesos semiautomáticos o totalmente automatizados dentro de las instalaciones industriales. Esta interfaz brinda al operador la capacidad de seleccionar y configurar opciones relevantes para el control de los procesos, lo que incide directamente en Existen diversas estrategias para

mejorar la eficiencia operativa y optimizar los recursos, como la automatización de procesos, la reducción de desperdicios y la mejora de la planificación.

La Figura 12 muestra la representación visual de la pantalla HMI, la cual sirve como punto focal para la interacción entre el sistema automatizado y el usuario. Esta pantalla proporciona una interfaz intuitiva para la máquina que está diseñada permita al operador interactuar con ella de una manera intuitiva y eficiente. eficiente y precisa.



Figura 12 Pantalla HMI.

Esta funcionalidad resulta fundamental para optimizar el monitoreo y la gestión de los procesos industriales, contribuyendo así a mejorar la productividad, reducir los tiempos de respuesta y garantizar la calidad en la producción industrial.

1.5.2 PLC

El PLC, o Controlador Lógico Programable, es un módulo ampliamente empleado en la automatización industrial para el control de procesos electromecánicos en maquinaria. Los PLC encuentran aplicación en una amplia gama de industrias debido a su resistencia y durabilidad, y se destacan por su adaptabilidad a múltiples entradas y salidas, capacidad para funcionar en diferentes condiciones de temperatura, tolerancia al ruido eléctrico y capacidad para resistir vibraciones e impactos [28].

En términos de su estructura, los PLC's incorporan baterías de respaldo y memoria no volátil para el almacenamiento de instrucciones y datos, garantizando que las operaciones puedan continuar sin interrupciones en caso de pérdida de energía, como se observa en la Figura 13. Estas características hacen que los PLC's sean una elección crucial en entornos industriales donde la fiabilidad y la resistencia son fundamentales.

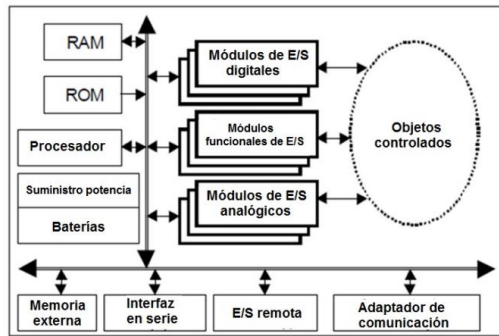


Figura 13 Estructura General de los PLC [29].

1.6. Máquina usada en la industria para el proceso de embotellado

1.6.1 Selladora y envasadora de líquidos

Esta máquina está diseñada para llenar una variedad de líquidos en recipientes apropiados, como botellas, latas o envases flexibles, y están equipadas con sistemas de dosificación y llenado que aseguran una distribución uniforme del líquido, garantizando una presentación óptima y la integridad del producto durante todo el proceso de envasado.

Esta máquina realiza de manera eficiente las operaciones de enfundado, sellado, dosificación y corte utilizando polietileno de baja y alta densidad, lo que resulta en un embalaje resistente que protege el contenido de manera efectiva. El proceso de sellado es adaptado a un proceso continuo de sellado [30]. Como se observa en la Figura 14.



Figura 14 Máquina selladora y empacadora de líquidos. Adaptado de selladora continua [15].

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE SECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Al identificar las mejores alternativas, resulta crucial investigar los procesos y opciones disponibles que la máquina puede incorporar para alcanzar su propósito en la producción de cerveza artesanal. El análisis de metodologías aplicables al proceso de elaboración brindará perspectivas y conceptos valiosos que se integrarán en el diseño final del equipo. Esta investigación detallada facilitará la identificación de prácticas óptimas y enfoques eficientes, asegurando la nueva máquina cumpla con las demandas específicas del cliente.

2.1. Análisis de alternativas para la máquina de llenado y sellado

2.1.1. Alternativa 1: Producción Lineal

Esta alternativa de diseño de una máquina de producción lineal, representada en la Figura 15, consiste en una máquina semiautomática diseñada para el llenado y sellado de botellas de cerveza de diversos tamaños. Esta máquina cuenta con un sistema de llenado Isobárico, un sistema automatizado controlado por un PLC, así como un sistema Neumático FESTO. La estructura de la máquina está completamente fabricada en acero inoxidable e incluye un sistema de transporte para la entrada y salida de las botellas.

Esta alternativa optimiza el proceso de llenado y sellado de cerveza artesanal, asegurando un llenado preciso y un sellado hermético. Con una capacidad de procesamiento secuencial de hasta 450 botellas por hora, la máquina ofrece una mejora significativa en el proceso. Asimismo, al ser esta máquina semiautomática reduce significativamente el riesgo de accidentes relacionados con una mala manipulación inadecuada durante el llenado o el sellado, gracias a la calidad de su material y su diseño semiautomático.

La máquina propuesta asegura calidad y la integridad del producto final. Su diseño semiautomático se ha desarrollado para reducir de manera efectiva el riesgo de posibles accidentes, lo que resulta en una mejora significativa en la seguridad tanto para los operadores como para el proceso de producción. La construcción robusta en acero inoxidable contribuye en gran medida a su durabilidad y resistencia, lo que asegura un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. Asimismo, esta característica facilita su mantenimiento y limpieza, lo que resulta esencial en entornos industriales de producción de bebidas.



Figura 15 Máquina llenadora y tapadora semiautomática Frusso [31].

2.1.2. Alternativa 2: Máquina Rotativa

La alternativa representada en la Figura 16 es una máquina rotativa monobloque ampliamente utilizada en varias empresas para el envasado y sellado de botellas de cerveza artesanal. Este equipo en particular se compone de una unidad de llenado a contrapresión, la cual está equipada con 5 válvulas electroneumáticas y un sensor de nivel que permite una verificación precisa de la cantidad de producto envasado. Además, la máquina cuenta con una estación de tapado automático que hace uso de un vibrador automático para asegurar un posicionamiento preciso de los tapones en las botellas.

Esta máquina tiene la capacidad de disminuir los tiempos de envasado y sellado. La unidad de llenado a contrapresión garantiza un control preciso del volumen, reduciendo derrames y pérdidas. Asimismo, la estación de tapado automático con vibrador asegura el sellado y minimizando el riesgo de contaminación. Esta optimización disminuye los desperdicios y mejora la calidad del proceso de envasado de la cerveza artesanal.



Figura 16 Envasadora Rotativa.

2.1.3. Alternativa 3: Máquina Semiautomática

La alternativa 3 de la Figura 17 representa una máquina semiautomática diseñada para el llenado y sellado de cerveza artesanal. La máquina está dividida en dos áreas distintas: una dedicada al llenado y otra al sellado. Siguiendo los principios de la alternativa 1, que consiste en una máquina lineal, esta variante incorpora un molde de policarbonato diseñado específicamente para botellas de 330 ml. El proceso inicia con la colocación manual de la botella en la estación de llenado. Desde la pantalla HMI ubicada en la estación de control, se elige el volumen y el tiempo de llenado. Una vez completado el llenado, la botella se traslada a la sección de sellado, que se activa mediante un botón en la caja de control.

El sellado se realiza manualmente al colocar las tapas, seguido de la activación de un botón que descende el cilindro para sellar la botella. Posteriormente, se verifica que la botella esté completamente llena y sellada antes de proceder al mercado. El control de la máquina se lleva a cabo mediante la programación de un PLC, que incluye botones de encendido, llenado, sellado, paro de emergencia y reset. Además, se incorporan luces indicadoras asociadas a cada botón.

Esta máquina semiautomática llenadora y selladora de cerveza artesanal es portátil, lo que facilita su transporte de un lugar a otro. Dispone de dos tornillos de potencia impulsados por un motor a pasos durante el proceso de llenado.

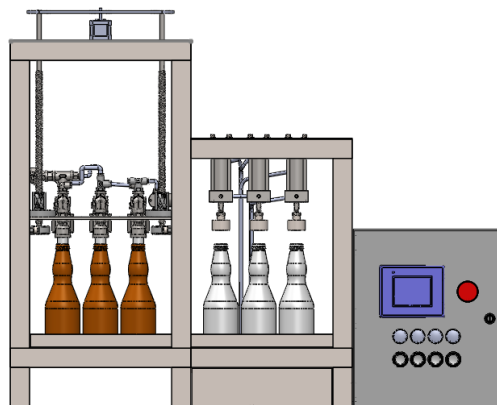


Figura 17 Máquina llenadora y selladora semiautomática.

2.1.4. Cuadro de selección de alternativas de la máquina

Las alternativas se evalúan según criterios específicos de las distintas máquinas, que se observan en la Tabla 6. De esta manera, se califica la calidad en base al tiempo de producción y el costo asociado a la implementación de la maquinaria para llevar a cabo el proceso, considerando algunos parámetros. Estos parámetros serán evaluados con los siguientes valores:

- Parámetros
 - a) Alto = 3
 - b) Medio = 2
 - c) Bajo = 1
 - d) Nulo = 0

Tabla 6 Parámetros de selección de alternativas basado en criterios de evaluación 1.

Ponderación (%)	45%	20%	20%	15%	Suma el 100%
Alternativas de máquinas de llenado y sellado	Costo	Tiempo de envasado	Pérdida de material	Mantenimiento	Puntaje de la Alternativa
Máquina Lineal	2	2	2	2	2
Máquina Rotativa	2	3	2	2	2.2
Máquina Semiautomática	3	2	2	3	2.60

En la Tabla 6, se lleva a cabo un análisis detallado de las alternativas de equipos, teniendo en cuenta criterios específicos relacionados con la utilización y el rendimiento por parte del operario, los siguientes factores se evaluaron con el propósito de facilitar una comparación precisa y exhaustiva entre las distintas opciones disponibles.

Tabla 7 Parámetros de selección de alternativas basado en criterios de evaluación 2.

Ponderación (%)	45%	20%	20%	15%	Suma el 100%
Alternativas de máquinas de llenado y sellado	Ergonomía	Control	Seguridad	Operabilidad	Puntaje de la Alternativa
Máquina Lineal	3	2	2	2	2.45
Máquina Rotativa	2	2	2	2	2
Máquina Semiautomática	3	2	3	3	2.80

2.1.5. Análisis y resultado de los parámetros de selección de alternativa para la máquina

Siguiendo las evaluaciones establecidas en las Tablas 6 y 7, se consolidarán los resultados en la Tabla 8, la cual sintetizará que opción puede obtener una mayor preferencia considerando el promedio de sus calificaciones.

Tabla 8 Selección final de alternativas.

Alternativas de máquina de llenado y sellado	Parámetros de selección de Alternativas 1	Parámetros de selección de Alternativas 2	Media aritmética
Máquina Lineal	2	2.45	2.23
Máquina Rotativa	2.2	2	2.1
Máquina Semiautomática	2.60	2.80	2.70

Según los resultados comparativos obtenidos, se desprende que la elección de la máquina Semiautomática emerge como la más idónea para el proceso de llenado y sellado en el

proceso de una pequeña industria, donde las limitaciones de espacio y costos son consideraciones primordiales. Esta opción presenta ventajas significativas en términos de eficiencia operativa y rentabilidad. La máquina Semiautomática no solo optimiza el aprovechamiento del espacio disponible, sino que también demuestra ser económicamente viable. Esta alternativa garantiza la seguridad tanto para los empleados como para la buena producción del producto.

2.2. Materiales

2.2.1. Material para los elementos estructurales

Para la selección del uso de material estructural y contacto con la cerveza artesanal, se disponen de dos opciones con propiedades distintivas, como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9 Propiedades de acero 304 y acero 316 [32].

Propiedad	Acero 304	Acero 316
Composición química	18 % <i>Cr</i> , 8 % <i>Ni</i>	16 – 18 % <i>Cr</i> , 10 – 14 % <i>Ni</i>
	0,08 % <i>C</i> , 2 % <i>Mn</i>	2 % <i>Mo</i> , 0,03 % <i>C</i>
	0,045 % <i>P</i> , 0,03 % <i>S</i>	
Dureza	Blanda	Moderada a Dura
Tratamiento térmico	No es apto a tratamientos térmicos significativos.	No es apto a tratamientos térmicos significativos.
Soldabilidad	Excelente	Buena
Maquinabilidad	Baja	Baja a moderada
Módulo de elasticidad	193 GPa	193 GPa
Resistencia Máxima	515 MPa	585 MPa
Limite elástico	310 MPa	205 MPa
Resistencia a la tracción	205 MPa	515 MPa
Resistencia al calor	<i>Hasta 870 °C</i>	<i>Hasta 925 °C</i>
Resistencia al agua	Buena	Buena
Resistencia al óxido	Buena	Buena
Corrosión	Buena	Buena
Aplicación	Equipos alimenticios	Equipos químicos, equipos médicos, equipos marinos.

Precio	Moderado	Alto
--------	----------	------

Basándose en los datos presentados en la Tabla 9, se concluye que la opción óptima para la aplicación es el acero AISI 304. Esta elección se fundamenta en su capacidad para resistir el desgaste continuo y la demanda de trabajo prevista. La selección del acero inoxidable 304 para una máquina de llenado y sellado de cerveza se basa en su resistencia a la corrosión, su higiene, durabilidad, compatibilidad con procesos de fabricación, aspecto estético y costo, que es inferior al del acero 316.

2.2.2. Métodos de unión entre elementos

La mayoría de las estructuras metálicas se componen de diversos elementos o perfiles simples que se ensamblan para formar la estructura, como los tipos de uniones como permanentes, desmontables o móviles como se observa en la Tabla 10. La resistencia de estas estructuras depende de una unión adecuada entre los elementos y de la transmisión de esfuerzos para garantizar un funcionamiento eficiente en la máquina de cerveza artesanal.

Tabla 10 Diferencias entre los tipos de estructuras para uniones en una máquina de cerveza artesanal.

	Estructuras Permanentes	Estructuras Desmontables
Tipo de unión	Soldadura, remaches	Tornillos, pernos
Naturaleza de la unión	Permanente	Temporal
Desmontaje para mantenimiento	Difícil, requiere procesos específicos	Relativamente sencillo
Transmisión de esfuerzos	Continua, integrada	Variable, sujeta a ajustes y desmontaje
Complejidad de unión	Alta	Media
Ejemplo de elementos	Conexiones soldadas	Placas unidas con tornillos

Al analizar diversos tipos de uniones, considerando los elementos específicos que conforman la máquina, tales como tuberías y componentes de control. Se orienta a la creación de un sistema integrado robusto y funcional.

La soldadura se presenta como una opción apreciable para garantizar uniones permanentes y sólidas entre los componentes críticos. Asimismo, se contempla el uso de tornillos y conexiones desmontables en áreas donde se requiere desmontaje para actividades de mantenimiento o limpieza. A lo largo del tiempo, se ha introducido una innovación significativa con los tornillos de alta resistencia. Estos elementos desempeñan un papel crucial al facilitar una transmisión eficiente de fuerzas o esfuerzos dentro de la máquina, contribuyendo sustancialmente a mejorar su rendimiento global con el paso de los años.

De acuerdo con las alternativas presentadas en la Tabla 11, los tipos de uniones van de acuerdo con la necesidad de la estructura de la máquina de cerveza artesanal, tomando en cuenta su resistencia, facilidad de montaje, adaptabilidad a cambios y costos.

Tabla 11 Alternativas de unión de elementos.

Valoración (%)	35%	30%	20%	15%	Suma el 100%
Alternativas de unión de elementos	Resistencia (Cargas)	Facilidad de montaje	Adaptabilidad a cambios	Costos	Puntaje de la Alternativa
Remaches	1	2	1	2	1,45
Soldadura	3	2	1	1	2
Pernos	2	2	3	3	2,35
Tornillos	2	2	2	3	2,15

En el ámbito de las uniones permanentes, se emplea la soldadura, mientras que en las uniones desmontables se ocupa pernos y tornillos. Esta selección se sustenta con los criterios positivos en la resistencia, facilidad de montaje y adaptabilidad a cambios, y en costos se toma los parámetros de criterio negativo.

2.2.3. Selección de procesos de soldadura para componentes de acero AISI 304

Para llevar a cabo su análisis, se considerarán los siguientes criterios, como se detalla en la Tabla 12:

Tabla 12 Comparación de criterios de la elección de soldadura para elementos de acero alimenticio.

Propiedad	SMAW	MIG
Tipo de Electrodo/Alambre	Electrodos revestidos	Alambre continuo
Tipo de Corriente	CC o CA	CC (DCEN común)
Velocidad de Soldadura	Menor	Mayor
Eficiencia/Productividad	Menos eficiente en volumen alto	Más eficiente en volumen alto
Calidad de la Soldadura	Depende de habilidad y condiciones	Mayor consistencia, control preciso
Aplicaciones Comunes	Amplia gama	Producción en serie, fabricación

la elección del tipo de soldadura, se considerarán los siguientes criterios: penetración y fusión, control y precisión, velocidad de soldadura, portabilidad y flexibilidad. Estos criterios se evaluarán en la Tabla 13, asignándoles valores de evaluación idénticos a los utilizados en las tablas anteriores.

Tabla 13 Alternativa de soldadura.

Valoración (%)	20%	30%	15%	35%	Suma el 100%
Alternativas de soldadura	Velocidad de Soldadura	Control y presión	Potabilidad y Flexibilidad	Penetración y fusión	Puntaje de la Alternativa
SMAW	1	2	3	3	2.3
MIG/MAG	3	3	2	2	2.5

Dadas las características específicas de los componentes y materiales involucrados en el proyecto, se ha determinado que la soldadura MIG es la opción más apropiada. Dado que se busca optimizar la producción en serie de maquinaria industrial y abordar trabajos extensos, la mayor eficiencia y velocidad inherentes a la soldadura MIG resultan fundamentales. En contraste, la soldadura SMAW, siendo más adecuada para tareas precisas y de menor escala,

no se alinea de manera óptima con los requisitos específicos de eficiencia y productividad delineados para este proyecto.

2.2.4. Selección de controladores

Se evalúan dos opciones: ¡PLC Logo! y PLC Siemens S7-1200. La Tabla 14 detalla criterios como costo, facilidad de programación, conectividad, escalabilidad, robustez y fiabilidad, utilizando los mismos coeficientes de evaluación de las anteriores tablas para una evaluación equitativa. Este análisis integral orientará la elección del controlador más idóneo para optimizar el rendimiento de la máquina en el proyecto.

Tabla 14 Alternativas del tipo de controlador

Valoración (%)	45%	20%	20%	15%	Suma el 100%
Alternativas del controlador	Programación	Robustez y Fiabilidad	Costo	Conectividad	Puntaje de la Alternativa
PLC LOGO!	2	2	2	2	2
PLC S7-1200	3	2	3	3	2.80

Para una aplicación sencilla con pocas entradas/salidas, como la llenadora y tapadora, donde no se necesita un alto rendimiento ni una capacidad extensa, el PLC S7-1200 es la opción más adecuada debido a su capacidad suficiente para cumplir con las necesidades de control.

2.2.5. Selección de electroválvula 5/2

La elección de electroválvulas se considera la electroválvula 5/2 monoestable. Esta elección se da a las necesidades específicas del proceso. Su función de abrir, cerrar y controlar el flujo del aire que controla de manera unidireccional, ayuda a que el proceso sea semiautomático. Ver Tabla 15.

Tabla 15 Propiedades de electroválvula 5/2.

Propiedad
Tipo de electroválvulas

Electroválvula de 5 vías, 2 posiciones (abierta/ cerrada).

Función	Controla el flujo de aire en una dirección, abierto y cerrado.
Material	Acero inoxidable, aleaciones y otros materiales resistentes a la corrosión.
Accionamiento	Electromagnético o solenoidal.
Mantenimiento y desmontaje	Facilidad de mantenimiento y desmontaje para su limpieza o reparación.
Aplicación	Se aplican en sistemas de control de flujo en sistemas industriales.

2.2.6. Selección de motor paso a paso

La elección de un motor paso a paso va de acuerdo a los requerimientos de la máquina, su utilidad, mantenimiento, programación. Ver propiedades en Tabla 16.

Tabla 16 Propiedades de un motor a pasos [33].

Propiedad	
Funcionamiento	Operan mediante la activación secuencial de bobinas que generan un campo magnético rotativo, lo que provoca el movimiento del eje en pasos discretos.
Principio de operación	Convierte pulsos eléctricos en movimientos angulares
Control de velocidad	Se controla ajustando la frecuencia y el número de pulsos eléctricos suministrados al motor.
Eficiencia	Media, debido a la necesidad de energía para mantener el torque sin movimiento
Costo	Bajo
Control de torque	El control de torque en un motor a pasos se logra ajustando la corriente suministrada a las bobinas del motor. Sin embargo, la precisión del control de torque puede ser limitada en comparación con otros tipos de motores.
Mantenimiento	Requiere poco mantenimiento debido a su diseño simple, pero pueden requerir ajustes periódicos y verificación de la precisión del movimiento
Aplicación	CNC (Control Numérico Computarizado), robots, sistemas de posicionamiento, sistemas de alimentación y manipulación en líneas de ensamblaje, etc.

En este caso se puede elegir de cualquier marca que cumpla con los requerimientos de un torque mínimo debido a que no ejerce mucha fuerza. Esta elección se fundamenta en un coste reducido, mantenimiento sencillo y menor dificultad en su programación a comparación de otros tipos de motores.

2.2.7. Selección de compresor

La elección del compresor se realiza con base en los requisitos específicos de la máquina, asegurándose de que cumpla con los parámetros establecidos. Ver Tabla 17.

Tabla 17 Propiedades de un compresor.

Propiedad	
Potencia	Capacidad de suministrar la energía necesaria para el proceso.
Flujo del aire	Volumen de aire comprimido proporcionado por el compresor.
Presión máxima	Máxima presión que el compresor puede generar de manera segura.
Eficiencia	Capacidad del compresor para convertir la potencia de entrada en aire comprimido.
Tamaño	Dimensiones físicas del compresor, considerando limitaciones de espacio.
Sistema de enfriamiento	Método utilizado para mantener la temperatura del compresor dentro de rangos seguros.
Mantenimiento	Facilidad de mantenimiento y frecuencia requerida.
Sistema de control	Características del sistema de control para una operación eficiente.

Para seleccionar el compresor más adecuado, es fundamental considerar una serie de propiedades y características que garanticen su eficiencia y funcionalidad. En este caso, se opta por un compresor de tornillos, dado su peso ligero y su capacidad de adaptarse a las necesidades de movilidad tanto de la máquina como del propio compresor.

CAPÍTULO 3

DISEÑO, ENSAMBLAJE Y SIMULACIÓN

En este capítulo, se analiza de manera detallada el proceso de diseño y ensamblaje de una máquina semiautomática destinada al llenado y sellado de cerveza artesanal, con envases de 330 ml. Se detalla la parte experimental, los materiales seleccionados para el ensamblaje, abarcando aspectos mecánicos, electrónicos, eléctricos y de control, alineados con las especificaciones de diseño de la máquina. Además, se presenta la justificación y sustentación rigurosa de los cálculos matemáticos, fundamentales para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

3.1. Parte experimental de llenado y sellado de cerveza artesanal

En la Planta José Abraham Zurita Maya, se realizó la fase experimental para el llenado y sellado de cerveza artesanal, ya que es esencial garantizar la eficiencia y la calidad del proceso de envasado y sellado. Esta etapa implica pruebas para evaluar el desempeño de estas fases tanto de latas como de botellas de vidrio de 330 ml. Las pruebas se realizan tras la preparación meticulosa de la malta mediante trituration, maceración y cocinado, donde la combinación de maltas alemanas, belgas y otras proporciona una variedad de sabores y aromas únicos.

El sistema de llenado de la planta es manual para ambos tipos de envases, en el cual se ajusta la presión según el tipo de cerveza, el tiempo de llenado es de alrededor de 6 segundos por botella, mientras que el sellado de botellas se realiza de forma manual, utilizando la fuerza física humana. Para el sellado de latas, se emplea una máquina semiautomática selladora de latas. Las pruebas permiten a los cerveceros artesanales evaluar diferentes variables y optimizar el proceso de llenado y sellado para cumplir con los más altos estándares de calidad.



Figura 18 Llenado manual de cerveza artesanal en envase de vidrio de 330 ml.

En esta planta se realiza el llenado en envase de vidrio de 330 ml, ver Figura 18 y llenado de envase de lata de 330 ml, ver Figura 19.



Figura 19 Llenado manual de cerveza artesanal en envase de lata de 330 ml.

En la Figura 20 se observa el sellado manual del envase de vidrio de 330 ml.



Figura 20 Sellado manual de un envase de vidrio de 330 ml.

En la Figura 21 se observa el sellado de envase de latas de 330 ml en una máquina semiautomática.



Figura 21 Sellado semiautomático de un envase de lata de 330 ml.

3.2. Diseño de la máquina

La totalidad del diseño de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesana se llevó a cabo mediante el software de diseño SolidWorks, este programa fue indispensable para el modelado y ensamblaje de las piezas que definen el desempeño del sistema. En la Figura 22 se observa una representación visual del resultado de este proceso, destacando la relación funcional entre cada componente, esta representación no solo valida el diseño teórico, sino que también sirve como referencia para una futura etapa de ensamblaje físico, garantizando una implementación exitosa y reduciendo posibles inconvenientes durante una fase de construcción.

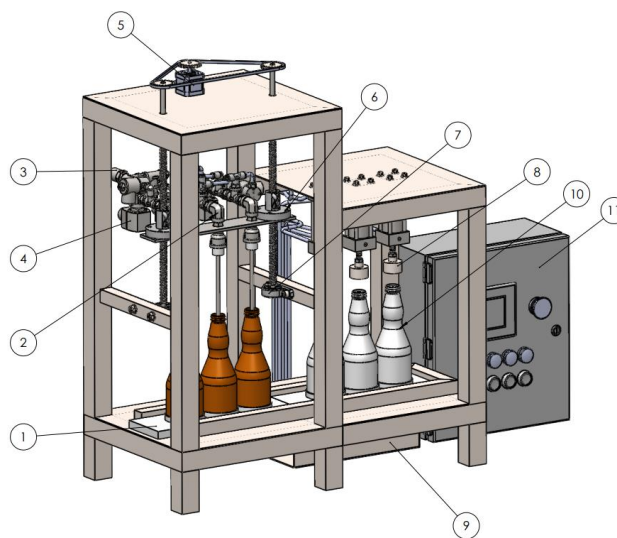


Figura 22 Diseño de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal semiautomática.

En la Tabla 18 se proporciona descripción de las piezas y componentes que conforman la máquina.

Tabla 18 Función de partes, componentes y piezas de la máquina llenadora selladora de cerveza artesanal

Número de Pieza	Parte, componente o pieza	Función
1	Porta Envases	Permite el envase posicionarse dentro de cada estación
2	Válvula de llenado	Válvula diseñada con precisión para llenar el envase con la cerveza artesanal.
3	Sensor de presión	Este sensor se usa para medir el fluido o gas de un sistema
4	Electroválvulas Senoidales	Permite el control del paso de la cerveza y Co2
5	Motor a paso	Girar el tornillo de potencia
6	Tornillo de Potencia y tuerca	Tornillo diseñado para subir o bajar las válvulas en línea recta.
7	Chumaceras	Sirven como soporte y guía para el tornillo sin fin.
8	Porta boquilla de tapado	Permite sellar los envases y que no existan fugas.
9	Electroválvulas neumáticas 5/2	Controla el accionamiento de los pistones.
10	Cilindros neumáticos	Hace que selle la botella después de poner de manera manual la tapa.
11	Tablero de control	En el tablero se encuentra las conexiones eléctricas y de control con pulsadores, luz guía, paro de emergencia y PLC.

Para el ensamblaje preciso de la máquina se logra mediante el empleo de pernos de diversas medias, permitiendo la correcta alineación y conexión de las diferentes partes del diseño.

3.3. Estructura

Para la estructura, se seleccionó deliberadamente un perfil cuadrado y laminas fabricado con acero AISI 304, adecuado para aplicaciones en la industria alimentaria. La elección de este material cumple con alta resistencia a la oxidación y su facilidad de limpieza, lo que contribuye a mantener los estándares de higiene requeridos en este sector. La utilización de este material asegura la integridad estructural del proyecto. Ver Figura 23.

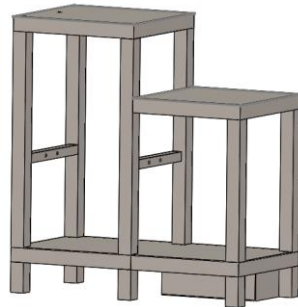


Figura 23 Estructura de la máquina.

3.4. Sistema de llenado

El sistema de llenado se realiza mediante válvulas controladas por un sistema de control que selecciona desde una pantalla HMI la cantidad de llenado y verificando el nivel con sensores para evitar desbordamientos en la botella.

3.4.1. Válvula

La sección de la válvula comprende diversos componentes fundamentales para el diseño de la máquina. Estos elementos han sido seleccionados y detallados en el apartado siguiente.



Figura 24 Válvula de llenado.

En la Figura 24 se presenta el diseño de la válvula, la cual al presionar el botón del sistema de control empieza a desempeñar la función de permitir el ingreso controlado de CO₂ hasta alcanzar la presión deseada en el envase. Posteriormente, se cierra para facilitar el ingreso de la cerveza durante un tiempo específico. Durante este periodo, la electroválvula se vuelve a activar para la salida del CO₂, en este caso del estrangulador, entra en funcionamiento. Una vez completado el proceso de llenado, se procede a cerrar todas las válvulas en preparación para la siguiente serie de llenado de cerveza.

3.4.2. Tubería

Para la tubería se ocupa tubo neumático de ¼". Esta manguera de línea de PU tiene una presión de trabajo de 1 MPa (150 psi) y una presión de ráfaga de 3 MPa (435 psi). Se trata de una manguera de aire versátil, adecuada para aplicaciones como herramientas neumáticas, instrumentos, equipos de automatización de laboratorio y usos generales en la industrial. Fabricada con material de poliuretano de alta calidad, esta manguera es ligera, resistente e ideal para utilizar con accesorios de conexión rápida. Ver Figura 25.



Figura 25 Tubo neumático.

3.4.3. Sensor de presión

El transmisor de presión SPTW es un sensor de presión como piezorresistivos o basados en láminas metálicas delgadas, miden la presión relativa de fluidos líquidos y gaseosos. Estos sensores están contruidos sin juntas, con una célula de medición de presión e interfaces en acero inoxidable, asegurando un grado de protección IP67, siendo herméticos al polvo y están protegidos contra el contacto. Ver Figura 26.



Figura 26 Transmisor de presión SPTW [34].

La elección de esta válvula de presión del modelo de transmisor de presión SPTW para el proceso de llenado y sellado de cerveza artesanal se basa en su alta precisión de medición, robustez para entornos industriales, compatibilidad con diferentes fluidos, facilidad de integración en sistemas de control, y capacidad de calibración y ajuste para mantener la precisión a lo largo del tiempo. Estas características hacen del transmisor SPTW una opción confiable que contribuye a la consistencia y calidad en el envasado de cerveza artesanal. La especificación se encuentra en la Tabla 19.

Tabla 19 Datos del sensor de presión [34].

Especificaciones del sensor de presión	
Marca	Festo
Serie	Transmisor de presión
Entrada de presión	Presión relativa
Conexión neumática	G1/4
Salida eléctrica	4 – 20 mA
	0,1 – 10 VD
Conexión eléctrica	Conector M12, con codificación A
Tensión	8 – 30 V DC
Presión	-1 hasta 100 bar
Margen de temperatura	0 – 80 °C
Medio de funcionamiento	Aire comprimido, medios líquidos, medios gaseosos.
Número de pines	4

3.4.4. Electroválvula

La electroválvula es una pieza versátil utilizada para controlar automáticamente el flujo de aire, agua, gas y aceite, siendo esencial en maquinaria industrial. Con puertos de entrada/salida de roscas de 1/4 de pulgada, cuenta con una presión máxima nominal dependiendo del uso. Ver Figura 27.



Figura 27 Electroválvula [35].

Esta electroválvula se elige debido a su robustez y versatilidad. Diseñada para controlar líquidos, destaca por su fácil instalación y eficiencia en el uso. Su operación normalmente cerrada, rápida respuesta y clasificación de presión máxima adecuada la hacen ideal para el control preciso del flujo. Su durabilidad, representada por componentes de metal y plástico resistente, junto con su capacidad para trabajar con diversos medios, la convierten en una elección eficaz y duradera para el proceso de envasado de cerveza artesanal. La especificación se encuentra en la Tabla 20.

Tabla 20 Datos de electroválvula solenoide eléctrica [35].

Especificaciones de electroválvula			
Marca	BOYU - SHITAN		
Tipo de válvula	Válvula Solenoide Eléctrica 2/2		
Tipo de conexión de entrada	NPT hembra ¼ in		
Tipo de conexión de salida	FNPT		
Presión máxima nominal	Aire: 145 psi	Agua: 115 psi	Aceite Liger: 70 psi
Voltaje	110 V de CA		
Corriente	6 VA		
Modo de operación	Normalmente cerrado		
Coefficiente de caudal (CV)	0,4		
Temperatura máxima	130 °C		
Ciclo de trabajo	Continuo		
Cuerpo de válvula	Latón		
Muelle	Acero inoxidable		
Émbolo/tubo de guía	Acero inoxidable		

3.4.5. Masa total de las válvulas y soporte de válvulas

En el ANEXO A1 se encuentran los datos de la masa total de las válvulas, que asciende a 5,02 kg, engloba diversos componentes esenciales para el funcionamiento en su sistema de llenado de la máquina. Esta cifra incluye el peso del sensor, un elemento clave para la medición precisa del nivel de líquido en las botellas, así como el de las electroválvulas, dispositivos fundamentales para controlar el flujo del líquido y garantizar un llenado preciso. La suma de estas partes contribuye a la correcta operación del sistema.

3.4.6. Tornillo de potencia

El tornillo de potencia está diseñado para elevar y descender las válvulas de llenado, permitiendo así ajustar la altura de la botella de 330 ml y evitando posibles daños del envase.

El ajuste de la altura se lleva a cabo manualmente mediante la rotación de las tuercas. La Figura 28 muestra el análisis del diagrama de cuerpo libre (DCL) correspondiente al tornillo de potencia.

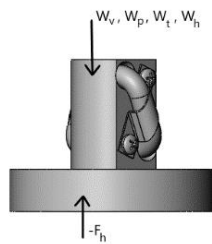


Figura 28 DCL.

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

$$-F_h + W_v + W_p + W_t + W_h = 0$$

En la Tabla 21 se obtiene los valores para el resultado de la carga que soporta el tornillo de potencia.

Tabla 21 Datos que determinan la carga que soporta el tornillo de potencia.

Datos	
Peso de las válvulas (W_v)	5,02 kg
Peso de la placa (W_p)	1,11 kg
Peso del tornillo de potencia (W_h)	0,30 kg
Peso de la tuerca (W_t)	0,016 kg

Se sustituye los valores de la Ec. 2 con los valores de la Tabla 21 para la obtención de la carga que soportan los tornillos de potencia.

$$-F_h + 0,22 \text{ kg} (3) + 1,11 \text{ kg} + 0,016 \text{ kg} (2) + 0,30 \text{ kg} (2) = 0 \quad (2)$$

$$F_h = 2,4 \text{ kg} * 1,3\% = 3,12 \approx 30,61 \text{ N}$$

3.4.7. Selección del tornillo de potencia

Al seleccionar los tornillos de potencia se toma en cuenta la carga que va a soportar, de acuerdo al resultado de la Ec. 2. En la Figura 29, se observa el tornillo de potencia de la máquina.



Figura 29 Tornillo de potencia.

Se selecciona los parámetros del tornillo por medio de un catálogo de la marca THK, modelo DCM. En la Figura 30, se muestra los datos de la selección del tornillo de potencia y la tuerca.

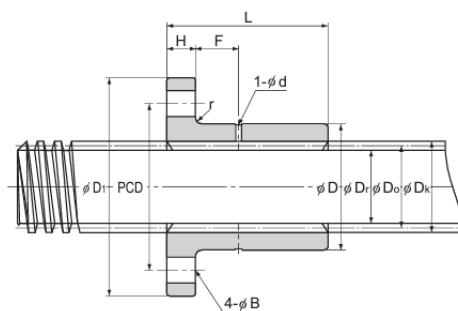


Figura 30 Diagrama de la selección del tornillo de potencia [36].

Para asegurar un rendimiento óptimo en la máquina, se selecciona el Tornillo de Potencia THK Modelo CS16 de tipo DCM. El modelo DCM16 - CS16 destaca por su combinación de precisión y durabilidad, esencial para garantizar un proceso de subida y bajada del sistema de llenado de la cerveza. Su diseño robusto reduce los tiempos de inactividad y los costos de mantenimiento, asegurando una operación sin problemas a lo largo del tiempo. Además, el tipo DCM proporciona un rendimiento mejorado en eficiencia y capacidad de carga, adaptándose a las demandas específicas de la aplicación respaldando fiabilidad, consistencia y calidad del proceso de la producción de cerveza artesanal. Ver datos Tabla 22.

Tabla 22 Datos del tornillo de potencia [36] [ANEXO A2].

Especificaciones de Tornillo de Potencia	
Marca	THK Co.
Modelo	CS 16
Tipo	DCM
Hilos	2
Diámetro externo (D_k)	16 mm
Diámetro efectivo (D_0)	14,5 mm
Diámetro menor del hilo (D_r)	12,5 mm
Paso R	3
Ángulo de avance (α)	3° 46'
Longitud del eje estándar	1000 mm
Longitud máxima del eje	1500 mm
Dinámica permisible – empuje	
$(F^{note 2}) (N)$	6670
Carga estática permitida de la brida	
$(F^{note 3}) (N)$	31500

Masa de la tuerca del tornillo (<i>g</i>)	160
Masa del eje del husillo ($\frac{kg}{m}$)	1,3

3.4.8. Selección de la Tuerca del tornillo de potencia

Se selecciona los parámetros de la tuerca del tornillo de potencia por medio del catálogo de la marca THK, modelo DCM. En la Figura 31, se observa la tuerca del torillo de potencia.

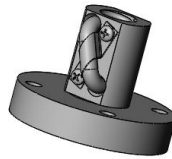


Figura 31 Tuerca del tornillo de potencia.

La elección de la Tuerca Modelo DCM 16 para el Tornillo de Potencia THK Modelo CS16 de tipo DCM tiene la capacidad para absorber cargas radiales y axiales, proporcionando estabilidad y suavidad en el movimiento del tornillo. Su eficiencia en la transmisión de movimiento, durabilidad y compatibilidad específica con el tornillo de potencia contribuyen a una operación eficiente y precisa. Esta combinación asegura una interacción sin problemas entre los componentes, cumpliendo con los estándares de precisión necesarios, garantizando un rendimiento óptimo de la maquinaria en el proceso de producción. Ver datos Tabla 23.

Tabla 23 Datos de la tuerca del tornillo de potencia [36] [ANEXO A3].

Especificaciones de la tuerca del Tornillo de Potencia							
Marca	THK						
Modelo	DCM16						
Tipo	DCM						
Diámetro externo	D	28	Tolerancia (h9)	0 – 0,052			
Longitud (L)	35						
Dimensiones de la tuerca del tornillo	Diámetro de brida (D₁)	H	B	PCD	r	F	d
	51	7	6,6	38	1,5	8	1,5

Para calcular el tiempo de traslado de la tuerca del tornillo de potencia utilizando un motor paso a paso, se requiere la siguiente información técnica: Ver Tabla 24.

Tabla 24 Datos del tornillo y tuerca.

Datos	
Pasos del tornillo (p)	3 mm
Numero de hilos (h)	2
Diámetro del tornillo (d)	16 mm
Longitud (L)	215 mm
RPM del motor paso a paso (n)	500 rpm

Es la Tabla 25 se detalla las ecuaciones requeridas para poder calcular el tiempo de traslación de la tuerca mediante la obtención del ángulo de avance y la velocidad lineal para obtener el tiempo.

Tabla 25 Ecuaciones para la traslación de la tuerca.

Velocidad angular	$rps = \frac{n * rev}{min} * \frac{1min}{60 s}$	8,33 $\frac{rev}{seg}$
Velocidad lineal	$v = p * rps * h$	50 mm/s
Tiempo	$t = \frac{L}{v}$	4,3 s

Teniendo en cuenta los resultados podemos calcular el tiempo que se demora en realizar el proceso de llenado. Ver Tabla 26.

Tabla 26 Datos para el llenado.

Datos	
Tiempo en bajar el sistema de llenado	4,3 s
Tiempo de llenado de los envases	7 s
Tiempo de subir el sistema de llenado	4,3 s
Tiempo Total en el llenado	15.6 s

3.4.9. Sensor inductivo

La Figura 32 se observa un sensor inductivo PNP es un dispositivo utilizado para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos. La salida del sensor es positiva cuando detecta un

objeto y se activa. Su aplicación abarca desde la identificación de objetos hasta controles de nivel de la cerveza.



Figura 32 Sensor inductivo.

Esta elección se basa en su capacidad para satisfacer las necesidades específicas de nuestro sistema. Con los siguientes datos de la Tabla 27.

Tabla 27 Datos del sensor inductivo.

Especificaciones del Sensor Inductivo	
Diámetro	12 mm
Sensado (Ajustable)	6 mm
Longitud	69 mm
Rango de Voltaje	10-30 VCD
Tipo de Salida	PNP
Corriente Máxima	150 mA
Tipo de Montaje	Raso / Conector M12

3.4.10. Peso de los envases

Se proporcionan los datos esenciales en la Tabla 28 con el fin de calcular la masa del recipiente sin contenido, la masa del recipiente lleno y el peso total de los recipientes ubicados sobre la plataforma estructural. Los cálculos correspondientes a dichas masas se detallan en la Tabla 29. Para futuros cálculos, se adopta la masa asociada a un envase de 330 ml como referencia, siendo este último el recipiente guía utilizado por la máquina.

Tabla 28 Datos para el análisis del envase.

Datos	
Densidad de la cerveza (ρ_C)	$1000 \frac{kg}{m^3}$
Volumen del envase de 330 ml (V_B)	$330 cm^3$
Masa del envase vacío de 330 ml (m_B).	0.25 kg

La capacidad de la base de la máquina es de tres envases llenos y tres envases vacíos en total, como se indica en la Tabla 29.

Tabla 29 Resultado del análisis del envase

Masa del agua por botella (<i>ma</i>)	$ma = \rho aVB$	0.66 kg
Peso del agua (<i>Wa</i>)	$Wa = mag$	6.47 N
Peso de la botella vacía (<i>WB</i>)	$WB = mBg$	2.85 N
Peso de la botella llena (<i>WBL</i>)	$WBL = WB + Wa$	9.32 N
Peso total de botellas soportadas por banda (<i>WBT</i>)	$WBT = 3WB + 3WBL$	36.51 N

3.4.11. Porta envases

En la Figura 33 se observa el elemento que será el medio por el cual se podrá transportar y posicionara las botellas dentro de la máquina tomando en cuenta que el envase a utilizar es de vidrio de 330 ml.

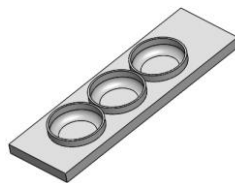


Figura 33 Porta envases con capacidad de botellas de vidrio de 330 ml.

3.4.12. Motor

En la figura 34 se representa el motor paso a paso y su drive son fundamentales para la automatización con precisión. Las ventajas de los motores a pasos incluyen su precisión, repetibilidad, robustez y eficiencia, avanzando en pasos fijos, permitiendo un control preciso de la posición angular y el controlador o drive del motor a pasos es un componente electrónico crucial que envía los pulsos adecuados, determinando velocidad, dirección y pasos del motor.



Figura 34 Motor a paso y drive XINGE.

Este motor a paso debe cumplir con un parámetro de torque con a siguiente ecuación:

$$\tau = r \times F \times \sin (\theta) \quad (3)$$

$$\tau = 0.008 * 34.665$$

$$\tau = 0.28 \text{ Nm}$$

Donde:

τ : Torque en newton-metros (N·m).

r : Distancia perpendicular desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el punto de rotación en metros (m).

F : Fuerza aplicada en newtons (N).

θ : Ángulo entre la dirección de la fuerza y la línea perpendicular desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el punto de rotación. En este caso, asumimos que $\theta = 90^\circ$.

3.4.13. Selección del motor a pasos

La elección del motor a pasos XINGE modelo MP3-42H060, se considera por su equilibrio entre tamaño y rendimiento, asegurando una integración eficiente y potencia precisa. Su fiabilidad respalda su desempeño continuo, mientras que su compatibilidad y facilidad de uso facilitan su implementación. El precio competitivo y sus especificaciones, ver Tabla 30 para la aplicación hacen de este motor una elección estratégica para optimizar el funcionamiento.

Tabla 30 Datos de motor a paso [37].

Especificación del motor a paso		
Modelo	MP3-42H060	
Numero de base (mm)	42 mm	
Serie de frenos	-	
Ángulo de paso (°)	1,8	
Par de retención	0,8 Nm	
Corriente de fase	1,7 A	
Eje de motor	Flat	
Diámetro	5 mm	
Distancia del motor	60 mm	
Drive	DP3F/C-305	DP3L-224

3.4.14. Selección del Drive

La elección del driver para el motor a pasos XINGE se selecciona el modelo DP3L-224 por su compatibilidad con voltaje y corriente del motor, capacidad de microstepping y alta resolución aseguran un movimiento preciso para el tornillo de potencia. La relación costo-beneficio se evalúa cuidadosamente para una inversión que optimice la eficiencia del motor y mejore la operación global de la máquina en el proceso de envasado de cerveza artesanal. Ver datos Tabla 31.

Tabla 31 Datos del drive del motor a pasos [38].

Especificación del drive para el motor a paso	
Modelo	DP3L - 224
Tensión de alimentación de entrada (VCC)	20 – 40
Valor máximo de corriente de salida (A)	0,5 – 2,2
Motor a paso	42
Dimensiones	92 * 62 * 28 mm
Frecuencia de pulso escalonada	200 KHz
Voltaje de entrada de la señal de control (VCC)	24 V
Rango de escala	200 - 25600
Temperatura Ambiente	0 °C – 50 °C
Temperatura máxima de trabajo	60 °C

Humedad	40 % – 90 %
Vibración	5,9 m/s
Temperatura de almacenamiento	-20 °C ~ 65 °C

3.4.15. Banda

Se selecciona una banda tipo L, debido a que tiene un mejor agarre debido al piñón que se tiene en la máquina. Ver Figura 35 y las especificaciones ver Tabla 32.



Figura 35 Banda tipo L.

Tabla 32 Datos de la banda.

Especificaciones de la Banda	
Tipo de Correa	Timing Belt
Ancho	25,4 mm
Material	Rubber
Longitud efectiva	885,8 mm
Profundo	127 mm

3.4.16. Chumaceras

En la Figura 36, se muestran las chumaceras que se usan para el soporte, movimiento de ejes y componentes rotativos, en esta máquina se ocupa una Chumacera A y Chumacera B.



Figura 36 Chumacera.

3.4.17. Selección de chumaceras:

Chumacera A:

Este tipo de chumacera se usa para el soporte del tornillo de potencia en el diseño.

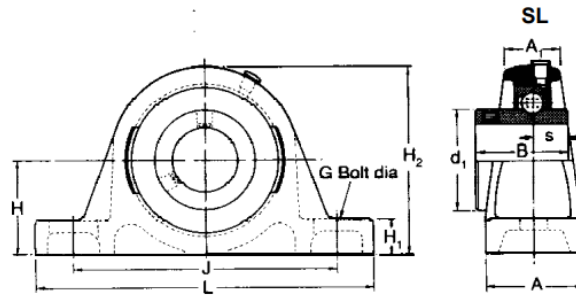


Figura 37 Diagrama de chumacera A.

Se selecciono la Chumacera SL16 como se observa en la Figura 37 y sus especificaciones en la Tabla 33.

Tabla 33 Datos de Chumacera A [39].

Especificaciones de Chumacera A								
Serie	SL							
Diámetro del eje	16 mm							
Inserto de rodamiento básico	1017							
Dimensiones	L	119 mm	H₁	11 mm	H	26,97 mm	H₂	54 mm
Centro de pernos	J_{max}	91,5 mm		J_{min}	85,5 mm			
	A	B	S	d₁				
	30,5 mm	27,38 mm	11,55 mm	24,21 mm				
Clasificación de carga ISO	Dinámico	9559	Estático	4760				
	C_r	newtons	C_{0r}	newtons				
Velocidad	7000 rev/min							
Masa (aprox)	0,5 kg							

3.4.18. Chumacera B:

Están chumacera esta diseñadas para usarse como guía del tornillo.

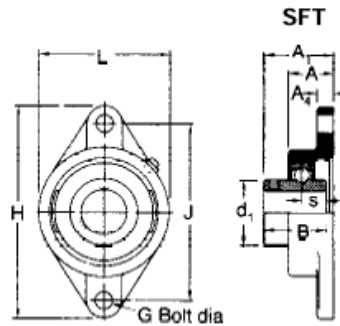


Figura 38 Diagrama de Chumacera B.

Se selecciono la Chumacera SFT16 como se observa en la Figura 38 y sus especificaciones en la Tabla 34.

Tabla 34 Datos de Chumacera B [40].

Especificaciones de Chumacera B									
Serie				SFT					
Diámetro del eje				16 mm					
Inserto de rodamiento básico				1017					
Dimensiones		L	52,5 mm	H	98,5 mm	J	76,5 mm	G	10 mm
		A	24,6 mm	A₁	32,87 mm	A₄	9,5 mm	B	27,38 mm
		S	11,55 mm	d₁	24,21 mm				
Clasificación de carga ISO		Dinámico	9550	Estático	4760				
		C_r	newtons	C_{or}	newtons				
Velocidad				7000 rev/min					

3.4. Sistema de Tapado

Luego de completar el sistema de llenado, las botellas se trasladan a la estación de sellado. En esta fase, la tapa se coloca sobre la boca de la botella de forma manual, y al presionar el botón de sellado, los cilindros descienden para realizar el proceso de sellado. Este sistema integra eficiencia con una intervención manual precisa, asegurando la calidad del producto final.

3.4.1. Diseño del sistema neumático

Los actuadores neumáticos son dispositivos que convierten la energía del aire comprimido en movimiento lineal o rotatorio, como cilindros y válvulas de aire, que permiten llevar a cabo el sistema de llenado mediante la aplicación de aire comprimido. En consecuencia, la elección de los elementos para este sistema se efectúa conforme a los requisitos particulares del diseño de la máquina y el sistema.

3.4.2. Cilindro neumático de doble efecto

Se emplearán cilindros neumáticos de doble acción, ya que aseguran un control más preciso en la retractación y extensión del vástago, sin requerir un flujo continuo de aire comprimido para evitar el movimiento del cilindro. Ver Figura 39.

Es necesario que los cilindros muevan hacia abajo y hacia arriba las boquillas para sellar cada uno de los envases llenos.



Figura 39 Cilindro de Doble Efecto.

Estos cilindros se ocupan para el sistema de sellado. Ver Tabla 35 para los datos.

Tabla 35 Especificaciones del Cilindro [41].

Especificaciones del Cilindro	
Diámetro del pistón	31.75 mm
Carrera	50.8 mm
Diámetro del Vástago	12 mm
Modo de operación	Doble efecto
Conexión neumática	G1/8
Vástago con rosca exterior	3/8 -16
Presión de funcionamiento	1.5 a 17 bar
Temperatura ambiente	-12 a 93 °C
Clase de resistencia a la corrosión	2
Fuerza teórica a 3.5 bar	275N

Fuerza teórica a 3.5 bar268N

3.4.3. Válvulas neumáticas

En el proceso de sellado de envases que requiere el accionamiento de tres cilindros neumáticos de doble efecto, se ha decidido emplear tres electroválvulas neumáticas 5/2 vías biestables para controlar el funcionamiento de los cilindros.

3.4.4. Final de Carrera

El final de carrera al detectar la posición óptima del envase, activan el proceso de sellado, estos dispositivos determinan la posición exacta de las tapas, permitiendo un sellado preciso. Ver Figura 40.



Figura 40 Sensor de proximidad SDBT-MSX.

Detector de cercanía electrónico, insertable desde la parte superior; la activación más fácil, veloz y segura sin suministro eléctrico, sin ajuste preciso y sin reconfiguración. Ver datos Tabla 36.

Tabla 36 Datos de sensor de proximidad.

Especificaciones del Final de carrera	
Tensión de funcionamiento	24 V DC
Precisión de repetición	0,1 mm
Temperatura ambiente	-20 °C hasta 85°C
Frecuencia máxima	200 Hz
Corriente mínima de carga	0,15 mA
Corriente de salida	100 mA
Potencia máxima	2,8 W
Tipo de fijación	Fijación por tornillo

3.4.5. Unidad FRL

La unidad de mantenimiento o filtro, regulador y lubricador se utiliza para garantizar la calidad del aire comprimido en los actuadores neumáticos, ver Figura 41. Filtra partículas y humedad, regula la presión del aire y lubrica los componentes, asegurando un funcionamiento eficiente, confiable y duradero del sistema neumático. Ver datos Tabla 37.



Figura 41 Unidad de mantenimiento.

Tabla 37 Datos de Unidad FRL.

Especificaciones de unidad FRL	
Conexión y manómetro	0,635 cm (1/4")
Caudal del aire	550 L/min
Temperatura de operación	5 – 60 °C
Presión máxima	1 MPa
Precisión de filtración	25 m
Rango de regulación	0,05 – 0,85 MPa
Tipo de purga	Manual
Lubricante recomendado	ISOVG32

3.4.6. Compresor

Es esencial para suministrar aire comprimido necesario que activa los actuadores neumáticos. Estos actuadores permiten movimientos precisos en la maquinaria, facilitando la automatización eficiente del proceso de sellado. El compresor garantiza un suministro constante de energía neumática, contribuyendo al rendimiento óptimo de la maquinaria y a la calidad del producto final.

Para la selección del compresor hay que tomar en cuenta que permite accionar los componentes del diseño, entonces se debe realizar el cálculo del consumo referido a

condiciones normales. Para realizar los cálculos se necesitan datos del cilindro como el diámetro del pistón, diámetro del vástago y avance del vástago. Ver datos Tabla 38.

Tabla 38 Datos del cilindro para determinar el compresor.

Diámetro del pistón (D_c)	31,75 mm
Diámetro del vástago (D_v)	12 mm
Avance del vástago (l_v)	50,8 mm

Se determina la sección del émbolo en el avance con la Ec. 4:

$$A_a = \frac{\pi D_c^2}{4} = 791,73 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

Se determina la sección del émbolo en retroceso con la Ec. 5:

$$A_r = \frac{\pi D_c^2}{4} - \frac{\pi D_v^2}{4} = 678,63 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

Para el volumen total del cilindro de doble efecto se reemplaza los resultados de la Ec. 4 y Ec. 5 y los datos de la Tabla 38 en la siguiente ecuación, dando como resultado:

$$V_c = A_a l_v + A_r l_v \quad (6)$$

$$V_c = 74694,29 \text{ mm}^3$$

Una vez que se ha determinado el volumen total, se procede a estimar el consumo de aire a una presión de trabajo específica. Para ajustar este volumen a condiciones estándar, se aplica la Ley de Boyle-Mariotte, teniendo en cuenta la presión máxima del cilindro neumático, que es de 6 bar. Al sustituir los valores en la ecuación 7, se obtiene el resultado deseado:

$$P_{abs} * V_c = P_{atm} * V_{air} \quad (7)$$

$$V_{air} = \frac{P_{abs} * V_c}{P_{atm}} = 442305,20 \text{ mm}^3$$

Para determinar el consumo del cilindro de doble efecto, se toma en cuenta los ciclos por minuto que ocupa. En este caso ocupa 234 ciclos por minuto para los envases de 330 ml y se reemplaza en la Ec. 8.

$$Q_c = N_{ciclos} V_{air} \quad (8)$$

$$Q_c = 0,1034994168 \frac{m^3}{min}$$

Se determina el consumo de los 3 cilindros de doble efecto finalmente, para seleccionar el compresor que cumpla con la necesidad requerida y se reemplaza en la Ec. 9.

$$Q_{c_1} = Q_c N_{cil} \quad (9)$$

$$Q_{c_1} = 0,3104982504 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{c_1} = 186,29895024 \frac{m^3}{H} \approx 187 \frac{m^3}{H}$$

El consumo determinado en la Ec. 9 se selecciona un compresor de tornillos. Ver Figura 42.



Figura 42 Compresor de tornillos.

En la Tabla 39 se detalla las especificaciones del compresor de tornillos.

Tabla 39 Especificaciones del compresor [42].

Especificaciones del compresor	
Compresor	Simple etapa
Modelo	Serie J – 170JS-V
Desplazamiento volumétrico $\frac{m^3}{H}$ a 2950 rpm	$390 \frac{m^3}{H}$

Subenfriamiento	2°C
Sistema de enfriamiento de aceite	Termosifón

3.4.7. Tiempo de separación de los cilindros de doble efecto

Tras determinar el consumo de los 3 cilindros en un compresor, se requiere calcular el tiempo de desplazamiento de estos. Para este propósito, utilizamos la Ec. 9 y las especificaciones de la Tabla 39 para obtener el tiempo necesario, mediante la ecuación de Ley de Boyle.

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \quad (10)$$

Se procede a despejar la Ec. 10 con el fin de calcular el valor de v_2 correspondiente al tiempo de desplazamiento de los cilindros.

$$v_2 = \frac{p_1 v_1}{p_2} \quad (11)$$

Donde:

p_1 = Presión compresor

p_2 = Presión atmosférica

v_1 = Volumen inicial del cilindro

$$v_2 = 0,00128 \text{ m}^3$$

Una vez obtenida la solución de la Ec. 11, procedemos a calcular el tiempo de expansión con la Ec. 12.

$$\text{Tiempo de expansión} = \frac{v_2}{\text{Caudal del aire}} \quad (12)$$

$$\text{Tiempo de expansión} = 0,0118 \text{ segundos}$$

Para aumentar el tiempo de velocidad del cilindro a 3 segundos y reducir su impacto, implementamos un estrangulador y reemplazamos en la respuesta de la Ec. 12.

$$\frac{0,00128 \text{ m}^3}{\text{caudal}}$$

$$\frac{0,00128 \text{ m}^3}{3 \text{ segundos}} = 0,00043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 1,53 \frac{\text{m}^3}{\text{H}}$$

3.4.8. Conexión neumática cilindros- porta boquilla

Se muestra el diagrama de conexión de los cilindros neumáticos de doble acción, junto con sus válvulas 5/2 correspondientes. Los cilindros identificados como A, B y C se encargan de sellar el envase de cerveza durante el proceso de tapado. Consulte la Figura 43 para más detalles.

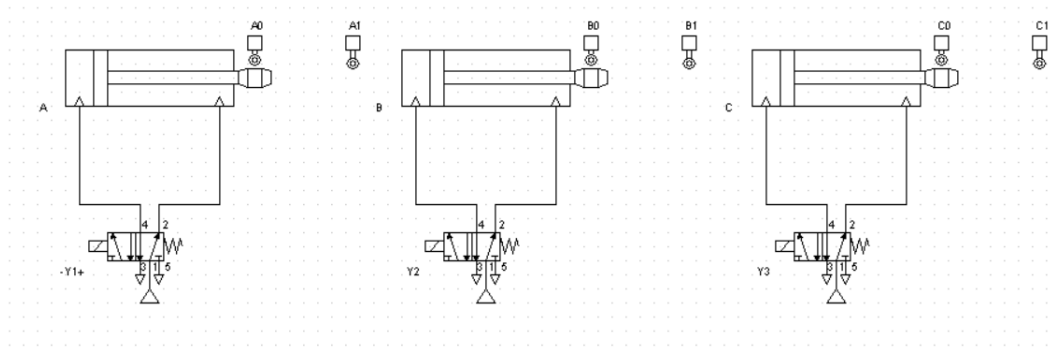


Figura 43 Esquema de conexión de los cilindros-porta boquilla.

Se presentan las variables especificadas en el esquema de conexión de los cilindros y las válvulas. Ver Tabla 40.

Tabla 40 Descripción de la conexión de válvulas y cilindros.

Variable	Descripción
A0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro A.
A1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro A.
B0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro B.
B1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro B.
C0	Final de carrera en la posición de retraído del cilindro C.
C1	Final de carrera en la posición de extendido del cilindro C.
Y1	Solenoides de la electroválvula 5/2 vías que activa la extensión del cilindro A.

Y2	Solenoides de la electroválvula 5/2 vías que activa la retracción del cilindro B.
Y3	Solenoides de la electroválvula 5/2 vías que activa la extensión del cilindro C.

3.5. Tipos de conexiones

3.5.1. Soldadura

Proceso de unión permanente de componentes metálicos mediante la fusión y solidificación de materiales de aporte, generando una conexión estructural sólida y duradera. Este método de unión, esencial en la construcción de la maquinaria, implica la aplicación controlada de calor para fundir el metal de base y el material de aporte, formando así una unión continua y resistente que contribuye a la integridad y eficiencia del sistema.

3.5.2. Pernos

La elección inicia con los tornillos destinados a las chumaceras, ya que estos son críticos al soportar todos los esfuerzos generados por el tornillo de potencia al mover las válvulas. La chumacera seleccionada cuenta con tornillos cuyas especificaciones han sido analizadas para garantizar la capacidad de resistir dichas cargas de trabajo.

En la Tabla 41 se detallan las especificaciones de todos los tornillos necesarios para la operación de llenado y sellado de envases en la máquina. Este análisis proporciona una base técnica sólida para asegurar que los componentes críticos estén dimensionados adecuadamente y cumplir con los requisitos de rendimiento de la máquina.

Tabla 41 Especificaciones de los pernos.

	Tipo de perno	M5-1,25
Pernos para chumaceras	Longitud de perno	35 mm
	Material	Acero Inoxidable
	Tipo de perno	M8-1.25 mm
Pernos para los cilindros neumáticos	Longitud de perno	25 mm
	Material	Acero Inoxidable

3.7. Diseño del control de la máquina

Después de completar la evaluación mecánica, el diseño y la construcción de la máquina, se avanzará con el desarrollo del sistema de control. Este proceso involucrará el uso de dos programas, siendo el primero Tia - Portal, un software especializado en programación PLC que permitirá realizar y simular los componentes de fuerza y control de la máquina.

3.7.1. Controlador PLC S7 1200

En cuanto a la selección del controlador, este componente desempeña un papel crucial en llevar a cabo las acciones necesarias para el llenado y tapado de envases de vidrio. Se requiere un controlador programable PLC que pueda llevar a cabo las tareas de automatización de forma flexible y eficaz, además de tener un diseño compacto. Ver Figura 44.



Figura 44 PLC S7 1200 [43].

Considerando los requisitos específicos de 14 entradas y 10 salidas digitales, se ha seleccionado el PLC S7 1200. Las especificaciones detalladas se encuentran en la Tabla 42.

Tabla 42 Datos del PLC S7 1200 [44].

Especificaciones PLC S7 1200	
Marca	Siemens
Modelo	6ES7214-1HE30-0XB0
Tensión	24 V DC
Intensidad de entrada	105 mA
Pérdida	1,5 W
Retardo	0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 y 12,8 ms
Temperatura	-40 °C a 70 °C
Presión atmosférica	1080 a 660 hPa

Entradas Digitales	14
Salidas Digitales	10
Entradas Analógicas	2
Salidas Analógicas	0

Las variables del sistema se configuran de manera que el controlador lógico programable pueda procesarlas correctamente. El controlador reconoce estas variables de acuerdo con las direcciones establecidas, como se detalla en la Tabla 43 y en el Anexo A8.

Tabla 43 Detalle de los Entradas y Salidas de PLC.

Entrada	Dirección	Salida	Dirección
Pulsador de Llenado	I0.0	Motor a paso	Q0.0
Pulsador de Tapado	I1.3	Cambio de giro del motor a pasos	Q0.1
Pulsador de Reset	I0.4	Electroválvula de ingreso del CO2	Q0.2
Paro de Emergencia	I0.3	Electroválvula de salida del CO2	Q1.1
Sensor de Presión (Presión)	IW64	Electroválvula ingreso de cerveza válvula 1, 2 ,3	Q0.3, Q0.4, Q0.5
Finales de Carrera contracción del cilindro A, B y C	I0.5, I0.7, I1.1	Electroválvula accionamiento del pistón A, B y C	Q0.6, Q0.7, Q1.0
Finales de Carrera expansión del cilindro A, B y C	I0.6, I1.0, I1.2		
Sensor de posición superior	I0.1		
Sensor de posición inferior	I0.2		

3.7.2. Explicación de los elementos de control

Los elementos de la Tabla 44 aseguran una operación eficiente y controlada, garantizando la calidad del producto final de la máquina llenadora y selladora de cerveza artesanal.

Tabla 44 Descripción de elementos de control.

Elemento	Descripción
Pulsador de llenado	Acciona el motor a pasos únicamente si el sensor de posición superior esta activado y el sensor inferior esta desactivado para bajar las válvulas hasta llegar al sensor inferior y detener el motor, durante el tiempo designado empieza a realizar el llenado de las botellas por contrapresión y después volver a subir las válvulas hasta llegar al sensor superior.
Pulsador de Tapado	Acciona los pistones para realizar el sellado del envase.
Pulsador de Reset	Permite reiniciar el sistema si en algún momento existió un problema en la máquina.
Paro de Emergencia	Detiene la máquina de forma instantánea por seguridad si existe algún inconveniente.
Sensor de Presión	Permite controlar la presión del CO2 requerida.
Finales de Carrera	Detectan en que posición de encuentran los pistones.
Sensor de Posición	Detecta la posición que se encuentra todo el sistema de válvulas.

3.7.3. Algoritmo de programación del PLC Y HMI

La programación del PLC se realiza en formato "Ladder", donde se organizan todas las variables de entrada y salida que serán parte del sistema. La simulación de la programación se muestra en el ANEXO A9 y continuación se describe cómo funciona el proceso en el Tia Portal mediante un flujo grama mostrada en la Figura 45 y 46.

Ver Figura 45, el proceso de tapado empieza con la verificación del estado del paro de emergencia. Si el paro de emergencia está desactivado, se avanza al siguiente paso; de lo contrario, el proceso se interrumpe. Una vez confirmada la desactivación del paro de emergencia, se verifica si se ha pulsado el botón de tapado. Si el botón de tapado está activado, se procede a la lectura de los sensores de posición A0, B0 y C0. Si los tres sensores registran un valor de 1, se activan las electroválvulas neumáticas Y1, Y2 y Y3.

Simultáneamente, se inicia un contador que se incrementa cada vez que se pulsa el botón de tapado. El valor del contador se multiplica por 3 y se muestra en la interfaz gráfica de la pantalla HMI. Para finalizar el proceso de tapado, se verifica si los sensores A1, B1 y C1

registran un valor igual a 1. Si es así, se desactivan las electroválvulas neumáticas y el proceso concluye.

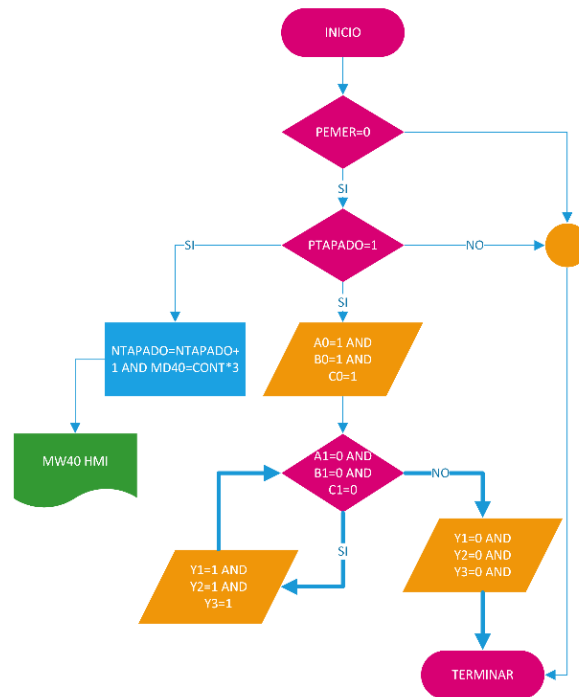


Figura 45 Flujograma del Sistema de Tapado del Tia-Portal.

En la Figura 45, el proceso de llenado inicia con la verificación del estado del paro de emergencia. Si el paro de emergencia está desactivado, se procede al siguiente paso; de lo contrario, el programa finaliza. Una vez confirmada la desactivación del paro de emergencia, se ingresa el valor deseado de presión a través de la pantalla HMI. Luego de ingresar el valor de presión, se debe presionar el botón de llenado, lo que activa la verificación del sensor de posición superior (SARRIBA). Si el sensor SARRIBA es igual a 1, el motor se activa para descender las válvulas, siempre y cuando el sensor de posición inferior (SABAJO) sea igual a cero; de lo contrario, el motor se detiene.

Después de verificar la posición de los sensores, se procede a la lectura del sensor de presión IW64. Posteriormente, se realiza la conversión de la lectura analógica a la unidad de presión en bares mediante la fórmula $MD70 = (6/4023) * IW64$. Esta presión convertida se muestra en la pantalla HMI. Luego, se activa la electroválvula del CO2, la cual permanece activa hasta que el valor de MD70 sea mayor que el valor de MD30. Tras la activación de la electroválvula del CO2, se inicia un temporizador de 7 segundos. Durante este tiempo, las

electroválvulas permanecen activadas, y al finalizar los 7 segundos, se desactivan automáticamente.

Una vez desactivadas las electroválvulas, se establece el estado del motor 2 en 1. Este estado se desactiva únicamente si el sensor de posición superior (SARRIBA) vuelve a ser igual a 1. Después de esta acción, el programa concluye y espera a que se vuelva a pulsar el botón de llenado para iniciar un nuevo ciclo. El diagrama de flujo para este proceso comenzaría con un óvalo que indica el inicio, seguido de un rombo que representa la decisión de verificar el paro de emergencia. Luego, existe una secuencia de pasos conectados por flechas que representan las acciones y decisiones descritas anteriormente, concluyendo con un óvalo que indica el fin del proceso.

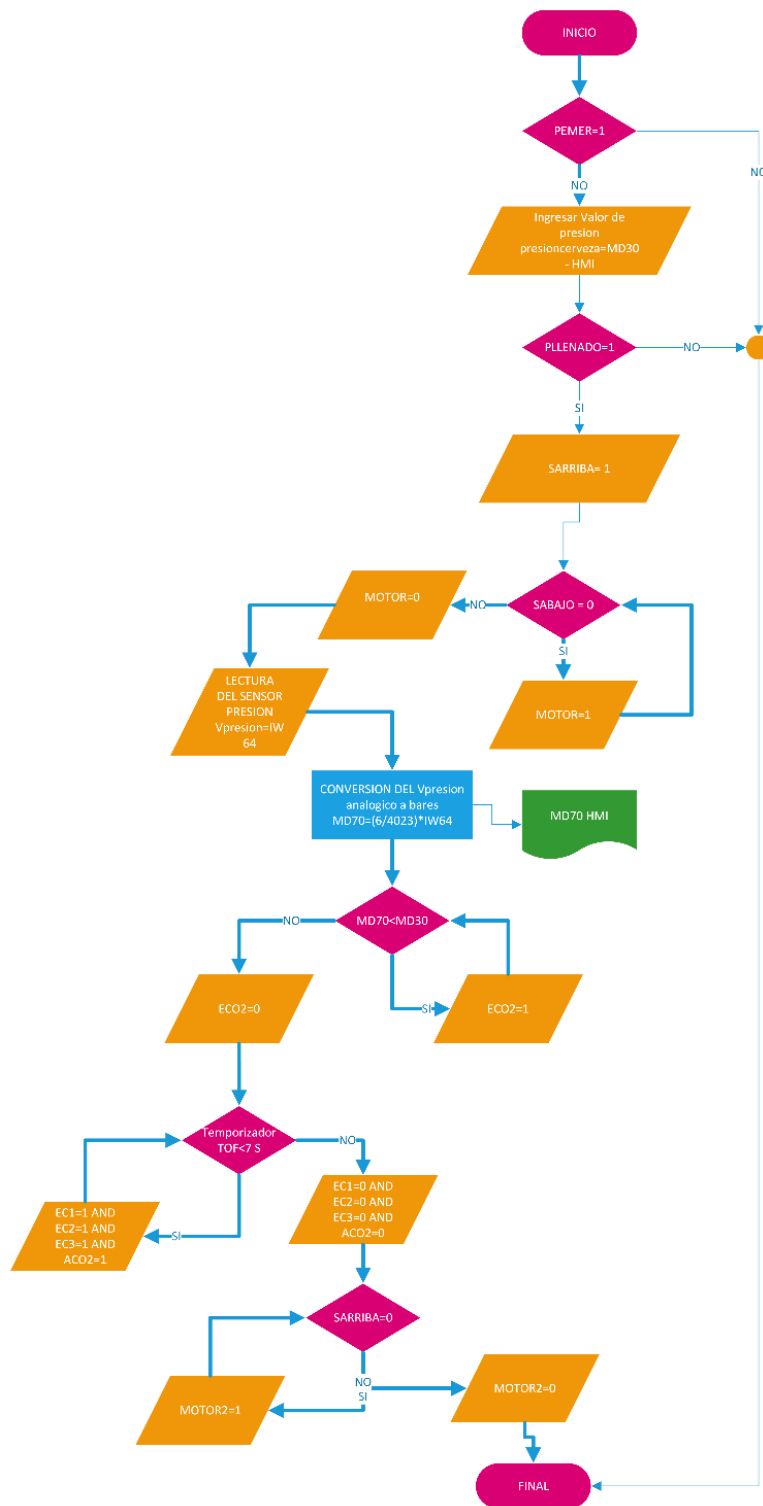


Figura 46 Flujograma del Sistema de Llenado en el Tia-Portal.

En las siguientes figuras se observa la simulación de la programación realizada en Tia Portal de las entradas y salidas al PLC S7-1200. En la Figura 47, se observa la simulación de la pantalla HMI, para el ingreso de valores de presión para la cerveza, muestreo del sensor de presión y el contador de número de botellas producidas.

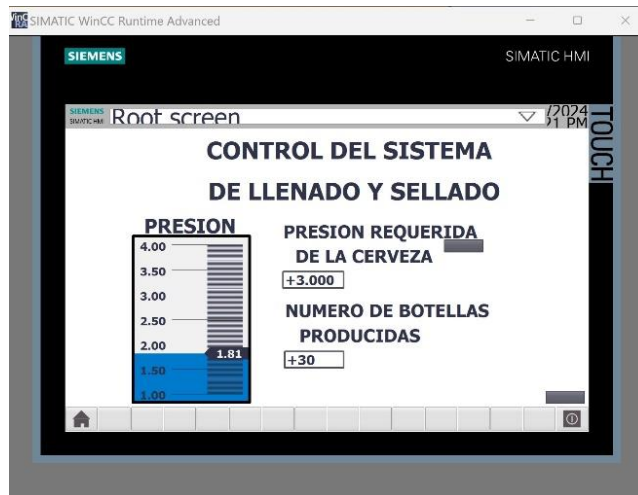


Figura 47 Simulación de pantalla HMI.

En la Figura 48 representa la activación del motor el cual permitirá descender las válvulas de llenado como primer paso para ejecutar todo el funcionamiento de llenado.

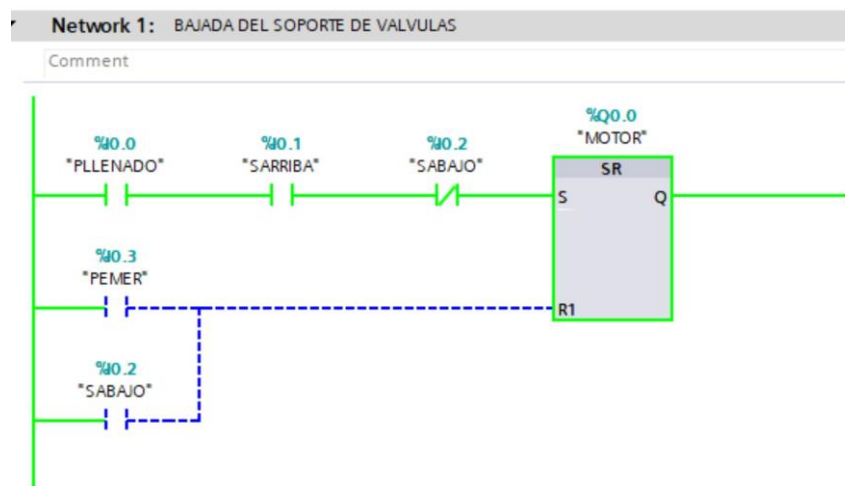


Figura 48 Activación del sistema de Sistema de llenado

En la figura 49 representa la activación de los cilindros neumáticos para el proceso de tapado.

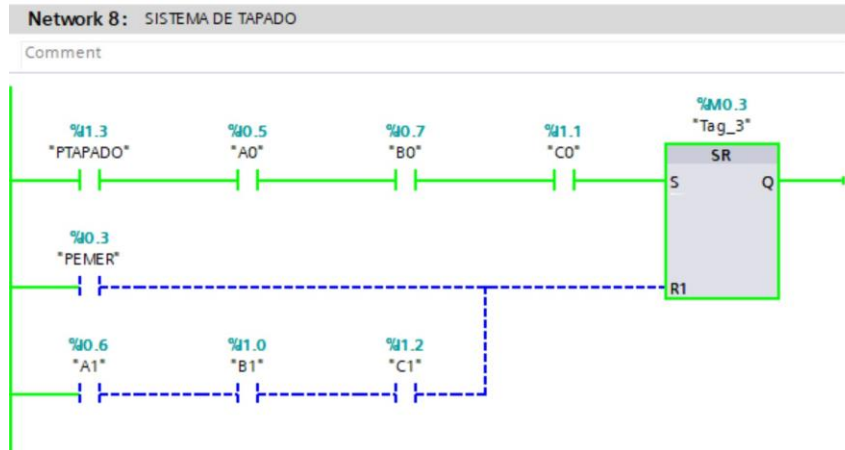


Figura 49 Activación del sistema de Tapado

En la Figura 50 se muestra la comparación de valores entre el sensor de presión y el valor que se ingresa mediante la pantalla HMI para posteriormente se active una marca la cual permitirá activar las electroválvulas para llenar la cerveza.

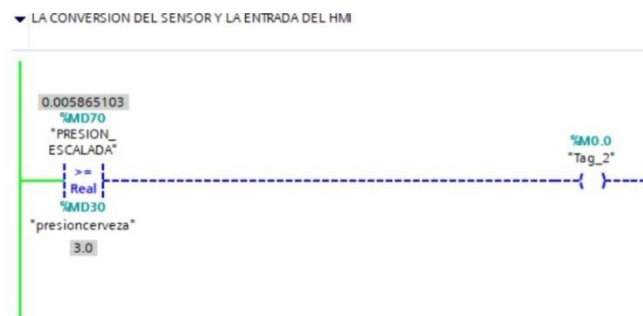


Figura 50 Selección de presión en la simulación de TIA PORTAL.

En la Figura 51 muestra el sistema de conteo de las botellas el cual se activan cada vez que se presiona el pulsador de tapado y se multiplica por 3 debido que el sistema realiza el tapado de 3 botellas en el mismo instante.

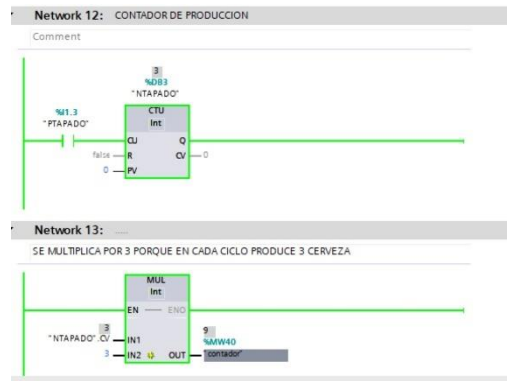


Figura 51 Contador de número de botellas en la simulación de TIA PORTAL.

3.7.4. Diagrama de flujo de la máquina

La operación del dispositivo está conformada por los siguientes procedimientos: El operador se aproxima al panel de control y enciende la máquina. Posteriormente, ajusta la presión necesaria según el tipo de cerveza que se va a envasar.

A continuación, el operador coloca primero una porta botellas vacío y luego uno lleno para posicionar las botellas correctamente bajo las válvulas de llenado. Una vez seguro, se presiona el botón de llenado y se inicia el proceso completo de llenado de la cerveza, cuya duración es de 12 segundos. Después, el operador retira la porta botellas vacío y lleva los envases al estado de tapado, colocando las tapas en cada porta boquillas.

Finalmente, el operador presiona el pulsador de tapado, cuyo tiempo de ejecución es de 2 a 3 segundos. Este procedimiento asegura la seguridad y eficacia del envasado preciso y controlado de la cerveza artesanal y previniendo accidentes o pérdidas. Ver Figura 52.

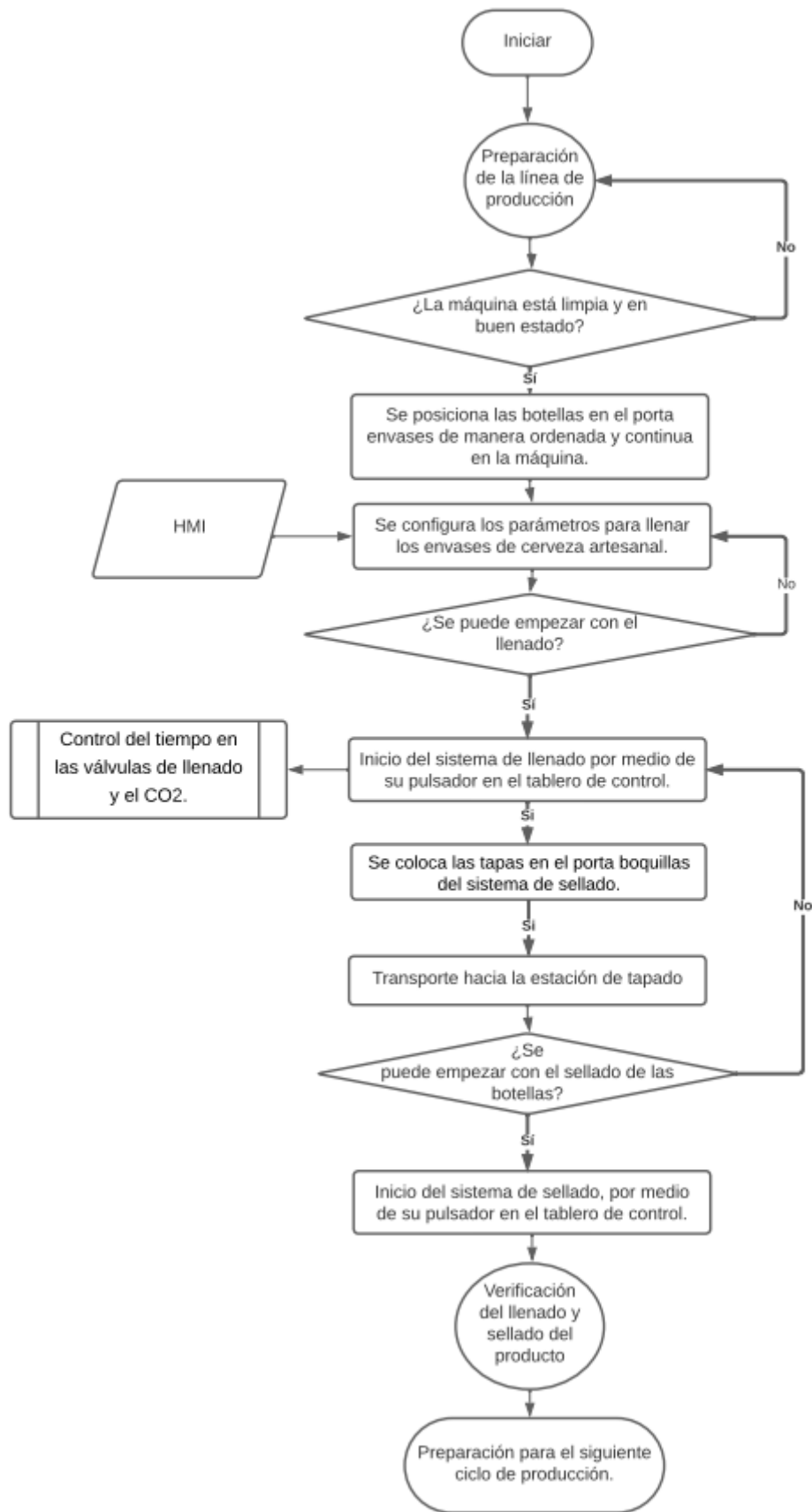


Figura 52 Diagrama de flujo del proceso de la máquina llenado y sellado de cerveza artesanal.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADO

En el presente capítulo, se efectúa un análisis exhaustivo de la máquina, abordando tanto los resultados de los análisis estáticos destinados al soporte de la válvula y la estructura de la máquina, como la determinación de su fiabilidad y factor de seguridad. Además, se lleva a cabo un análisis de costos que considera su futura implantación, incluyendo el cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno) y el VAN (Valor Actual Neto), elementos fundamentales para evaluar la viabilidad económica del proyecto.

4.1. Análisis estático para elementos sometidos a esfuerzos

Una vez completados los cálculos de los componentes de la máquina, se llevará a cabo el análisis estático de aquellos elementos o partes que, debido a su ubicación o función, estarán expuestos a desgaste, deformación y otros tipos de fallas que podrían afectar el rendimiento óptimo de la máquina de llenado y tapado de cerveza. Por medio del software SolidWorks utilizando su función de asistente para estudio estático. Conforme a lo mencionado, se procederá a analizar las siguientes piezas:

- Soporte de válvulas
- Estructura de la máquina

4.1.1. Análisis estático del soporte de las válvulas

En la Tabla 45 se presentan los datos a utilizar de acuerdo con el análisis estático, explicado previamente.

Tabla 45 Datos del análisis estático del soporte de las válvulas.

Dato	Cifra	Unidades
P	68.67	N
Sy	206	MPa
fs	>2	

La distribución de las cargas del elemento se muestra en la Figura 53.

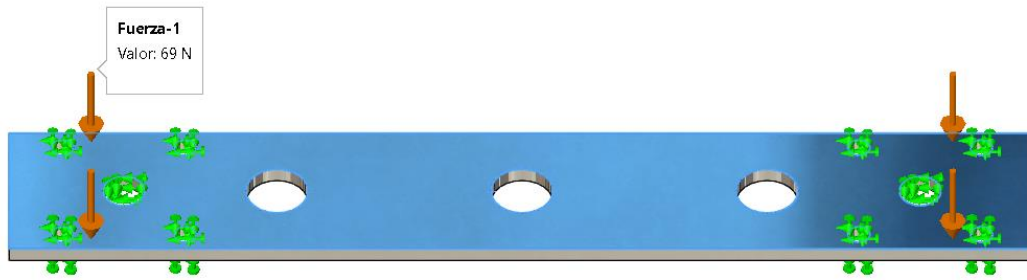


Figura 53 Distribución de cargas del soporte de válvulas.

Se presentan en la Figura 53 los resultados obtenidos después de llevar a cabo el análisis, mostrando en la Tabla 46 un factor de seguridad de 21.

Tabla 46 Resultados obtenidos de análisis de elementos finitos.

Resultados	Valor Máximo	Unidades
Tensión de Von Mises	10	MPa
Desplazamiento	12.76	μm
Factor de seguridad	15	

Según la investigación realizada, se evidencia que el respaldo de las válvulas tolera la fuerza compresiva de 69 N sin experimentar deformación permanente. Por ende, se revela como una opción óptima en el sistema de llenado, conforme se detalla en la Figura 54.

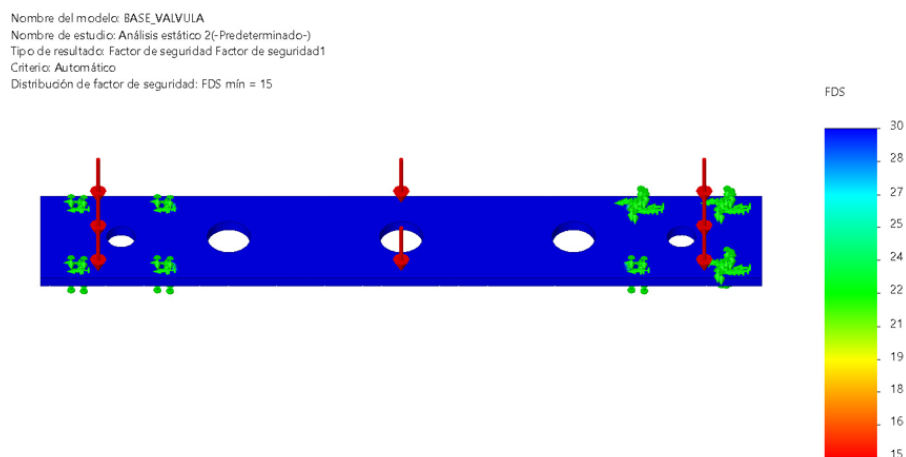


Figura 54 Factor de seguridad del soporte de válvulas obtenido a partir del análisis.

4.1.2. Análisis estático de la estructura de la máquina

Se procederá con el análisis estático, teniendo en consideración las condiciones previamente expuestas. Los datos utilizados en el estudio se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47 Datos para el análisis estático de la estructura.

Dato	Cifra	Unidades
P_L	89	N
P_T	99.5	N
P_B	70.6	N
Sy	206	MPa
Fs	> 2	

En la Figura 55 se muestra la distribución de las cargas en el elemento analizado.

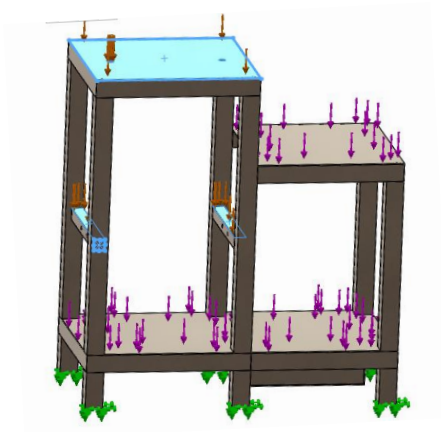


Figura 55 Distribución de cargas.

A través del análisis del software Solid Works, que se muestra en la Figura 55, se determinó la distribución de cargas aplicadas que garantiza resistencia frente a la fuerza de trabajo, con un factor de seguridad de 87. Los resultados detallados del análisis se presentan en la Tabla 48.

Tabla 48 Resultados obtenidos de análisis de elementos finitos.

Resultados	Valor Máximo	Unidades
Tensión de Von Mises	2	MPa
Desplazamiento	6	μm

Como se puede observar en la Figura 55, según el estudio de la estructura de la máquina, soporta la compresión de 89 N sin llegarse a deformarse de forma permanente. Por lo tanto, es óptimo en el sistema de llenado de acorde a la Figura 56.

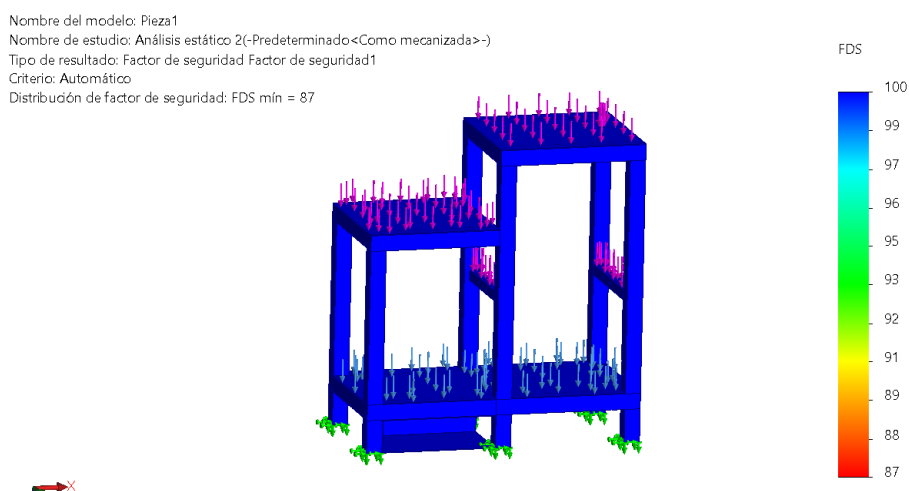


Figura 56 Análisis de la estructura de la máquina

4.1.3. Análisis de la capacidad de llenado y tapado de la máquina

Terminado el ensamble y simulación de la máquina, se evaluará la capacidad de envasado de la cerveza artesanal.

Tabla 49 Datos de las características de la máquina llenadora y selladora de cerveza artesanal.

Características	Dimensión	Unidades
Largo	678.1	<i>mm</i>
Ancho	338.1	<i>mm</i>
Alto	731.05	<i>mm</i>
Peso	40.95	<i>kg</i>
Volumen	0.1	<i>m³</i>

4.1.4. Producción de cerveza artesanal

En la producción se debe tomar en cuenta los tiempos, debido a que menor el tiempo de llenado y más cerca esta la tubería, tendrá mayor conserva de olores y sabores de la cerveza y evitará que se genere espuma evitando algún desperdicio en el sistema de llenado.

También se debe tomar en cuenta el tiempo que se demora el operario en envasar 3 cervezas tomando en cuenta el tiempo de llenado, tiempo de tapado y el tiempo que el operario que se demora en colocar los envases en cada estación y colocar las tapas para poder obtener el tiempo de producción. Ver Tabla 50.

Tabla 50 Tiempo de envasado de la cerveza en un ciclo.

Tiempo Llenada	15,6 s
Tiempo de Tapado	3,04 s
Tiempo de colocar los envases y porta envases	8 s
Tiempo de colocar las tapas en porta boquillas	4 s
Tiempo Total de producción (T_p)	30,64 s

Mediante el cálculo de la Ec. 13 se obtiene el tiempo de producción, se calcula el número de ciclos que se puede realizar la máquina durante 2 horas de producción.

$$\text{Número de ciclos} = \frac{T_{TM}}{T_p} \quad (13)$$

$$\text{Número de ciclos} = \frac{2 \text{ h}}{30,64 \text{ s}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$\text{Número de ciclos} = 234,98 \text{ ciclos} \approx 234 \text{ ciclos}$$

Se calcula la cantidad de botellas que produce durante un día tomando en cuenta que 3 botellas se envasas en cada ciclo de producción. Se reemplaza en la Ec. 14.

$$C_B = \text{Número de ciclos} * 3 \quad (14)$$

$$C_B = 234 * 3 = 702 \text{ botellas por día.}$$

4.2. Análisis de costo

El análisis de costos para la máquina, se evalúan el diseño para una futura implementación, considerando los materiales, la mano de obra necesaria, y cualquier equipamiento especializado requerido. Los costos operativos se desglosan en consumo de energía eléctrica, mantenimiento regular y los gastos asociados con el personal de operación. Se calculan los costos de producción, incluyendo consumibles y estimando pérdidas y desperdicios. Además, se incluyen costos indirectos como seguros, licencias e impuestos. Un análisis de sensibilidad se realiza para explorar diversos escenarios económicos y de producción, calculando el retorno de inversión y la rentabilidad esperada. Este enfoque integral proporciona una visión detallada de la viabilidad económica de la máquina.

4.2.1. Costo directo

Los costos directos se refieren a aquellos relacionados directamente con la producción, incluyendo elementos como el gasto en materiales, mecanizado y la mano de obra. En las tablas 51, se detalla los materiales utilizados en la creación del equipo, permitiendo su identificación cuantitativa en este proceso.

Tabla 51 Costos de materiales.

Ítem	Descripción	Dimensiones / Material	Valor	Cant.	Valor
			Unitario		total
			(USD)		(USD)
1	Tonillo de potencia y tuerca	420 mm de longitud y 16 mm de diámetro.	\$ 25.00	2	\$ 50.00
2	Chumacera para soporte	16 mm de diámetro SL.	\$ 51.00	1	\$ 51.00
3	Chumacera para guía	16 mm de diámetro SFT	\$ 30.00	1	\$ 30.00
4	Sensor inductivo	12 mm de diámetro, tipo PNP, 6 - 36 V.	\$ 12.50	1	\$ 12.50
5	Electroválvula neumática 5/2	Válvula 5/2, monoestable, ¼ in, 24 V.	\$ 26.00	5	\$ 130.00

6	Sensor de presión	Transmisión de presión, presión de -1 hasta 100 bar, tensión de 8-30 V.	\$ 40.00	1	\$ 40.00
7	Motor a paso y Drive	Motor a pasos marca XINGE modelo MP3- 42H060 y drive DP3L- 224.	\$ 55.00	1	\$ 55.00
8	Banda	Tipo L, longitud de 885,8 mm, profundidad 127 mm.	\$ 8.59	1	\$ 8.59
9	Piñones		\$ 15.00	3	\$ 45.00
10	Terminales	Cable #18	\$ 0.06	40	\$ 2.40
11	Tubería en T	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 9.99	6	\$ 59.94
12	Tubería en L	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 13.00	6	\$ 78.00
13	Tubería en T autoajustable	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 5.45	3	\$ 16.35
14	Tubería en L autoajustable	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 2.20	6	\$ 13.20
15	Uniones	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 3.02	12	\$ 36.24
16	Codo	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 3.07	2	\$ 6.14
17	Cilindro Neumático Doble efecto	31,75 mm de diámetro de pistón, 50,8 mm de carrera, 12 mm de diámetro de vástago, 1,5 a 17 bar de presión.	\$ 60.00	3	\$ 180.00
18	Sensor de proximidad	24 V de tensión, 0,1 mm de presión de repetición, 200 Hz de frecuencia	\$ 37.68	6	\$ 226.08

19	Electroválvulas	Válvula 5/2, solenoidal 2/2, entrada de ¼ in. Plástico, acero, aluminio,	\$ 20.23	3	\$ 60.69
20	Distribuidor de aire	¼ del diámetro del orificio.	\$ 13.80	1	\$ 13.80
21	Silenciadores	Latón	\$ 9.81	6	\$ 58.86
22	Uniones autoajustables	Acero 304, ¼ de conexión	\$ 3.99	30	\$ 119.70
23	Caja	Metálica de 30mm x 40mm x 15 mm	\$ 63.52	1	\$ 63.52
24	Luces rojas	Metálicas de 22 mm	\$ 1.65	1	\$ 1.65
25	Luces verdes	Metálicas de 22 mm	\$ 1.82	1	\$ 1.82
26	Selector	2 posiciones, plástico, empotrado.	\$ 1.75	1	\$ 1.75
27	Pulsador Rojo	Plástico monoblock de 22 mm	\$ 1.35	1	\$ 1.35
28	Pulsador verde	Plástico monoblock de 22 mm	\$ 1.35	2	\$ 2.70
29	HMI	Tg765	\$ 115.00	1	\$ 115.00
30	PLC	S7 -1200	\$ 450.00	1	\$ 450.00
31	Paro de emergencia	Plástico tipo Hongo, 40 mm con giro con retención	\$ 2.82	1	\$ 2.82
32	Cables	#16, #18	\$ 0.40	3	\$ 1.20
33	Fusible	10 A	\$ 2.00	1	\$ 2.00
34	Porta fusible	Monofásico	\$ 12.87	1	\$ 12.87
35	Breaker	20 A, plástico, -5°C a 60°C temperatura de operación, tipo de montaje en riel.	\$ 8.00	1	\$ 8.00
36	Rieles	Metálico	\$ 7.00	1	\$ 7.00
37	Cubridores de cables	Metálico	\$ 15.00	1	\$ 15.00
38	Borneras	Plásticas	\$ 0.70	10	\$ 7.00

TOTAL\$ 1,987.17

En la Tabla 52 se detalla la descomposición de los costos asociados con diversos procesos de mecanizado, abarcando gastos en maquinaria, herramientas y mano de obra. La información se presenta en forma de cotización para cada tipo de mecanizado implicado en el proceso.

Tabla 52 Costos de maquinado.

Item	Descripción	Duración [hora]	Costo [USD * hora]	Total
1	Fresado	2	9,00	18,00
2	Taladro	2	3,50	7,00
3	Amoladora	3	5,00	15,00
4	Soldadura MIG	2	25,00	50,00
5	Herramientas	10	2,00	20,00
TOTAL				110,00

4.2.2. Costos indirectos

4.2.2.1. Costos de Diseño:

Los costos de diseño engloban los gastos esenciales asociados con la planificación de cálculos y la elaboración de planos. Estos constituyen los costos integrales del proyecto y representan aproximadamente el 30% del gasto total.

4.2.2.2. Costos Imprevistos:

Estos costos no tienen incidencia directa en el proceso de construcción de la maquinaria, ya que no fueron previamente contemplados en la planificación inicial. Incluyen suministros de oficina, transporte y ajustes en la maquinaria para garantizar su correcto funcionamiento. Estos costos representan alrededor del 20% del total, contribuyendo a asegurar la viabilidad y eficiencia global del proyecto.

4.2.3. Justificación de costos

Se ha llevado a cabo un minucioso análisis de la suma total de gastos vinculados a la maquinaria de llenado y tapado. Este análisis se presenta en la Tabla 53, con una distinción

clara entre costos directos e indirectos. Este enfoque busca simplificar la comprensión de la distribución financiera del proyecto, permitiendo una visualización más accesible de cómo se asignan los recursos económicos en cada aspecto relevante del proceso.

Tabla 53 Costo total de la máquina.

Ítem	Costos	Valor Total
1	Directos	
1.1	Costo de materiales	1,883.13
1.2	Costo de mano de obra y mecanizado	110.00
2	Indirectos	
2.1	Costo del diseño	498.30
2.2	Costo de Imprevisto	398,64
TOTAL		2,890.10

4.2.4. Análisis económico

En la tabla 54 se detalla el cálculo para estimar el ingreso anual. Esta perspectiva integral se obtiene mediante la consideración de los niveles proyectados de la producción mínima de la maquina y la estimación anual asociados, fundamentado en un análisis económico previamente analizado.

Tabla 54 Producción mínima de la máquina

Producción más corta de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal		
Descripción	Tiempo	Unidades
Tiempo de trabajo de la maquina (h/día)	2	hora
Producción	32	Litros
Días Laborables(mes)	15	días
Producción mensual	480	Litros
Ingreso anual de la producción		
Descripción	Valor	Unidades
Costo del Producto	2,50	USD
Costo de producción	1,50	
Ingresos mensuales	1200	USD

Ingreso Anual	14400	USD
----------------------	-------	-----

4.2.5. Flujo de caja

El flujo de caja desempeña un papel esencial en el cálculo tanto del Valor Actual Neto (VAN) como de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este mismo, detallado en la Tabla 55 a continuación, se basa en datos de un estudio económico previo realizado a la empresa.

Tabla 55 Flujo de caja de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal.

		Flujo de caja				
	Valor mensual	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Costo de inversión		2890.10				
	Ingreso					
Venta	1200	14400	17280	20736	24883	29860
	Egreso					
Luz	1.5	18	21.6	21.6	21.6	21.6
CO2	50	600	720	864	1036.8	1244.16
Cerveza	480	5760	6912	7741.44	8670.41	9710.86
Envase	216	2592	2903.04	3251.40	3641.57	4078.56
Operario	450	5400	5400	5400	5400	5400
Decimos		920	920	920	920	920
Seguros	53.22	638.64	638.64	638.64	638.64	638.64
	Ingreso total	14400	17280	20736	24883.2	29859.84
	Egreso	18818.74	15956.64	17278.44	18770.39	20455.18
	Total	-4418.74	1323.36	3457.56	6112.81	9404.66

4.2.6. VAN (VALOR ACTUL NETO) Y TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

Los datos consignados en la Tabla 56 muestran una tasa interna de retorno del 69%, evidenciando así una rentabilidad positiva para el proyecto. Este porcentaje subraya la eficacia financiera y el potencial de generación de beneficios a lo largo del tiempo, reforzando aún más la viabilidad económica de la iniciativa.

Tabla 56 Resultados del VAN y TIR.

Año	Flujo de caja
Año 1	-4418.74
Año 2	1323.36
Año 3	3457.56
Año 4	6112.81
Año 5	9404.66
VAN	\$8,791.9
TIR	69%

4.2.7. Retorno de inversión

Conforme a los datos proporcionados en la Tabla 56, se observa que el flujo de caja del proyecto conlleva un retorno económico al segundo año, lo cual constituye un aspecto positivo desde el punto de vista económico y financiero.

Conclusiones y recomendaciones

En este apartado se presentará las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo de este proyecto.

Conclusión

Después de un análisis exhaustivo y experimentación en una microempresa, se concluye que la clave para una producción eficiente de cerveza artesanal está en un 98% en la calidad de la válvula de llenado y un 100% en el momento preciso del proceso. Se sugiere un intervalo de unos 6 segundos para preservar la esencia, aroma y sabores de la cerveza, evitando la formación excesiva de espuma. Se ha optado por utilizar Acero AISI 304 en las partes en contacto con alimentos, garantizando seguridad para el productor y el cliente.

Luego de evaluar diversas opciones de máquinas para el llenado y sellado de cerveza artesanal, la tercera alternativa se destaca por presentar un costo más bajo en comparación con las demás, registrando un valor de \$2890,10, según se detalla en la Tabla 52. Además de su atractivo precio, su tamaño de su portabilidad la convierte en una elección favorable para emprendedores que buscan una máquina semiautomática fácil de transportar

En esta investigación se diseñó, desarrolló y simuló un prototipo de máquina llenadora y selladora de botellas de cerveza artesanal, empleando herramientas CAD-CAE. El diseño mecánico se realizó en SolidWorks, con dimensiones de $981,63 \times 731,05 \times 338,1$ mm, y se validó su funcionalidad mediante simulación en CADESimu. El sistema de control, diseñado en TIA Portal e implementado con un PLC S7 1200, permitió un control preciso del proceso de llenado y sellado, según la Tabla 54. El diseño eléctrico se desarrolló exitosamente en Cade Simu, asegurando la correcta integración de los componentes.

Recomendación

Es importante considerar la incorporación de mejoras en la máquina automatizada para el llenado y sellado de botellas de cerveza artesanal, como la colocación automática de tapas y la transportación de los envases con una banda transportadora. Estas adiciones pueden mejorar la eficiencia y la seguridad de la máquina, reducir el riesgo de accidentes y aumentar la calidad del producto final. Además, se deben realizar rediseños en los componentes existentes para optimizar su funcionamiento y mejorar la eficiencia general de la máquina.

Se recomienda la instalación de un sistema de monitoreo capaz de registrar y analizar datos relativos a la eficiencia de la maquinaria y la calidad del producto final. Esta medida contribuiría a optimizar la producción en el futuro, reduciendo los tiempos inactivos durante el proceso de fabricación.

Se recomienda la integración de los restantes procesos de la producción de cerveza artesanal en un sistema automático embebido. Esto contribuiría a incrementar la producción, mejorar la calidad del producto y garantizar un control eficiente durante todo el proceso de fabricación.

REFERENCIAS

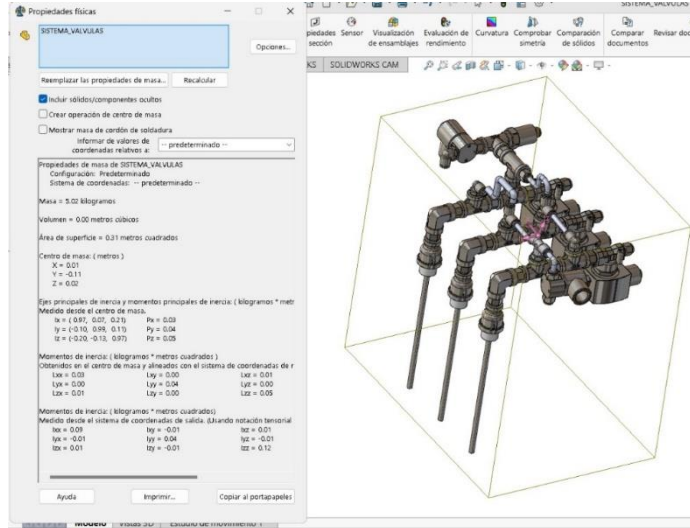
- [1] G. Coba, “Aumenta la producción de cerveza artesanal en Ecuador,” *PRIMICIAS*, 2023. [Online]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/cerveza-artesanal-produccion-ecuador/>
- [2] A. Marquez, “Elaboracion De Una Cerveza Organica a Partir De La Quinoa,” *Univ. TÉCNICA MACHALA*, pp. 1–97, 2015, [Online]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2836/7/CD000021-TRABAJO COMPLETO-pdf>
- [3] V. L. Nieto-Sarabia *et al.*, “Brewing a Craft Belgian-Style Pale Ale Using *Pichia kudriavzevii* 4A as a Starter Culture,” 2023. doi: 10.3390/microorganisms11040977.
- [4] L. Meraz Ruiz, “Elementos que influyen,” 2021. [Online]. Available: <https://www.proquest.com/docview/2630534643?accountid=37408&parentSessionId=uWJ7d7QQN9E%2FhUy%2FMaJCNneUqsRfKmVBZuoZh%2B3K%2BuE%3D>
- [5] M. Suárez, “Cerveza: componentes y propiedades,” 2013. [Online]. Available: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19093/8/TFM_Maria_Suarez_Diaz.pdf
- [6] M. Pozo, “Diseño e implementación de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal,” 2020. doi: 10.53358/ideas.v1i2.350.
- [7] F. Fuelantala, L. Edwin, R. Estrada, and A. David, “FABRICACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL DE LOTES DE 50 LITROS EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO,” 2019.
- [8] B. Llanqui and Pallo Ricardo, “Implementación De Un Sistema Automático Del Lenado De Botellas Para La Empresa Spring Water.,” *Univ. TÉCNICA COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ*, pp. 1–106, 2022.
- [9] A. Luis, “DIAGNÓSTICO PARA PROCESOS DE ALTO CONSUMO ENERGÉTICO EN EL ÁREA DE EMBOTELLADO DE LA CERVECERÍA UNIÓN.,” 2019. doi: 10.31819/9783964564405-toc.
- [10] L. H. A. YITZHAK, “PRODUCTO GASTRONÓMICO Y SU IMPORTANCIA EN

- LA CIUDAD DE MANTA, CERVEZA ARTESANAL,” 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/4423>
- [11] A. MACHINERY, “Brewing Process Diagram,” Brewing Process Diagram. [Online]. Available: https://www.ace-chn.com/knowledge/Brewing_Process_Diagram.html
- [12] K. Garcia, “ELABORACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL A PARTIR DE ALMIDÓN EXTRAÍDO DE TUBÉRCULOS ANDINOS. Tesis grado Ing. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Ecuador, Riobamba,,” 2015. [Online]. Available: http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3949/1/56T00521_UDCTFC.pdf
- [13] J. M. Mendoza Balcázar, L. F. Pihuave Calderón, and M. R. Velásquez Camposano, “Análisis comparativo del valor nutricional de la cerveza artesanal y la cerveza industrial,” *Cienc. Unemi*, vol. 15, no. 38, pp. 61–72, 2022, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol15iss38.22pp61-72p.
- [14] Hanselbier, “Tabla de carbonatación de cerveza en barril.” [Online]. Available: <https://blog.hanselbier.es/tabla-de-carbonatacion-cerveza-barril/>
- [15] Y. S. D. E. F. D. E. Agua, “Salesiana ‘ De M Aquina”.
- [16] “LLENADORA BAG IN BOX: MANUAL, SEMIAUTOMÁTICA Y AUTOMÁTICA.” [Online]. Available: <https://cartobol.es/llenadora-bag-in-box-manual-semiautomatica-y-automatica/>
- [17] F. B. Prieto, L. Felipe, and B. Salamanca, “Diseño y fabricación de una embotelladora / tapadora para la producción de cerveza artesanal,” 2015.

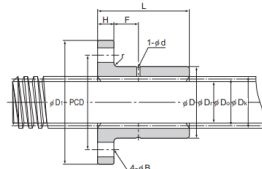
ANEXOS

ANEXO A. TABLAS

ANEXO A1. Masa total de las válvulas y soporte de válvulas.

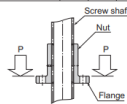


ANEXO A2. Selección de tornillo de potencia [36]



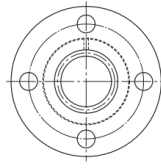
Unit: mm

Screw shaft	Screw shaft details					Standard shaft length	Maximum shaft length	Dynamic permissible thrust F_{perm} (N)	Static permissible load of the flange P_{perm} (N)	Mass	
	Model No. ¹⁾	Outer diameter D_o	Effective diameter D_e	Thread minor diameter D_r	Lead angle α					Screw nut	Screw shaft
CS 12	12	11	9.5	2	3°19'	1000	1500	3920	20200	100	0.8
CS 14	14	12.5	10.8	3	4°22'	1000	1500	4900	16900	85	1
CS 16	16	14.5	12.5	3	3°46'	1000	1500	6670	31500	160	1.3
CS 18	18	16	13.5	4	4°33'	1000	2000	8730	42000	230	1.8
CS 20	20	18	15.5	4	4°03'	1500	2000	9600	37200	210	2
CS 22	22	19.5	16.5	5	4°40'	1500	2500	12600	48600	320	2.3
CS 25	25	22.5	19.5	5	4°03'	1500	3000	14200	39800	290	3.1
CS 28	28	25.5	22.5	5	3°34'	2000	3000	17900	69200	350	4
CS 32	32	29	25.5	6	3°46'	2000	4000	21100	54200	490	5.2
CS 36	36	33	29.5	6	3°19'	2000	4000	25800	84500	670	6.7
CS 40	40	37	33.5	6	2°57'	2000	4000	33800	106000	980	8.4
CS 45	45	41	36.5	8	3°33'	3000	5000	42100	125000	1310	10.4
CS 50	50	46	41.5	8	3°10'	3000	5000	50100	128000	1430	13



ANEXO A3. Selección de tuerca del tornillo de potencia [36]

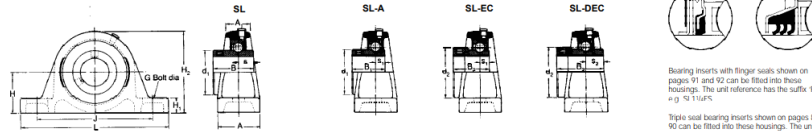
Model DCM



Lead screw Nut	Outer dimensions				Lead screw nut dimensions						
	Model No.	Outer diameter		Length L	Flange diameter D _f	H	B	PCD	r	F	d
		D	Tolerance h9								
DCM 12	22	0	30	44	6	5.4	31	1.5	7	1.5	
DCM 14	22	-0.052	31	44	7	6.4	31	1.5	7	1.5	
DCM 16	28	0	35	51	7	6.6	38	1.5	8	1.5	
DCM 18	32	0	40	56	7	6.6	42	1.5	10.5	2	
DCM 20	32	0	40	56	7	6.6	42	1.5	10.5	2	
DCM 22	36	0	50	61	8	6.6	47	2	14	2.5	
DCM 25	36	-0.062	50	61	8	6.6	47	2	14	2.5	
DCM 28	44	0	56	76	10	9	58	2	15	2.5	
DCM 32	44	0	56	76	10	9	58	2	15	2.5	
DCM 36	52	0	60	84	10	9	66	2.5	17	3	
DCM 40	58	0	70	98	12	11	76	2.5	19	3	
DCM 45	64	-0.074	75	104	12	11	80	2.5	21.5	4	
DCM 50	68	0	80	109	12	11	85	2.5	24	4	

ANEXO A4. Chumacera A

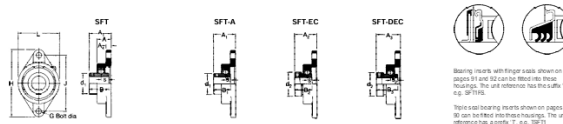
SL SERIES



Shaft diameter	RHP designation	Basic bearing insert	Casting group	Dimensions				bolt centres		ISO load ratings										Rec. max. speed (approx.)					
				L	H	H ₁	H ₂	J max	J min	C		C ₁₀		C ₁		C ₀									
mm	inches			mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches		
12	SL12	SL12EC	1017	119.0	26.97	11.0	54.0	91.5	85.5	10	30.5	20.5	27.38	-	28.54	11.55	6.55	-	24.21	28.58	9550	4760	7000	0.6	
15	SL15	SL15EC		4.685	1.062	433	2.126	3.602	3.366	1/2	1.181	.907	1.078	-	1.124	-	.455	.258	-	.953	1.125	2150	1070	1500	1.0
16	SL16	SL16EC																							
17	SL17	SL17EC																							
20	SL20	SL20A	1000	126.5	31.75	12.5	63.7	100.5	88.5	10	32.0	22.5	30.96	25.37	30.90	43.63	13.75	7.56	11.12	38.50	33.30	12800	6580	6700	0.6
25	SL25	SL25A	1025	139.0	33.32	12.8	67.8	110.2	98.2	10	36.0	24.5	34.11	27.35	30.92	44.40	14.32	7.56	17.49	34.01	38.10	14000	7880	6250	0.7
30	SL30	SL30A	1030	161.5	39.67	14.5	79.5	130.0	109.0	12	41.0	27.5	38.10	31.21	35.68	48.42	15.93	9.04	18.32	40.00	44.45	19000	11300	5300	1.3
35	SL35	SL35A	1035	166.0	46.02	16.0	91.5	136.5	121.5	12	44.5	30.5	42.88	34.90	38.88	51.18	17.53	9.55	18.89	46.69	55.58	25700	15300	4500	1.7
40	SL40	SL40A	1040	180.5	49.20	18.5	98.5	148.0	127.0	12	51.0	34.5	49.23	41.18	43.64	56.34	19.10	11.05	21.46	52.70	60.30	29100	17900	4000	2.1
45	SL45	SL45A	1045	192.5	52.37	18.4	106.4	163.5	143.5	12	54.0	36.0	49.23	41.18	43.64	58.34	19.10	11.05	21.46	57.30	63.50	32500	20500	3700	3.0
50	SL50	SL50A	1050	8.420	2.187	760	4.488	6.969	5.945	12	58.0	36.0	53.99	45.34	45.64	62.70	19.10	11.05	24.65	62.20	69.85	39000	23200	3400	3.4

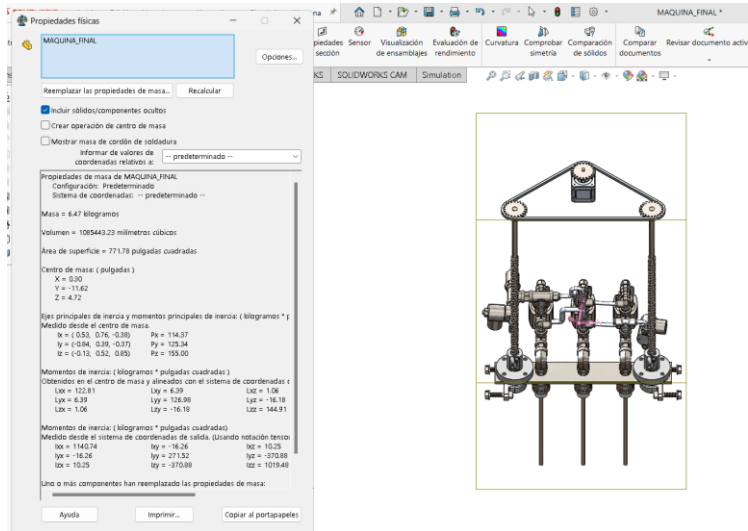
ANEXO A5. Chumacera B

SFT SERIES (ISO)

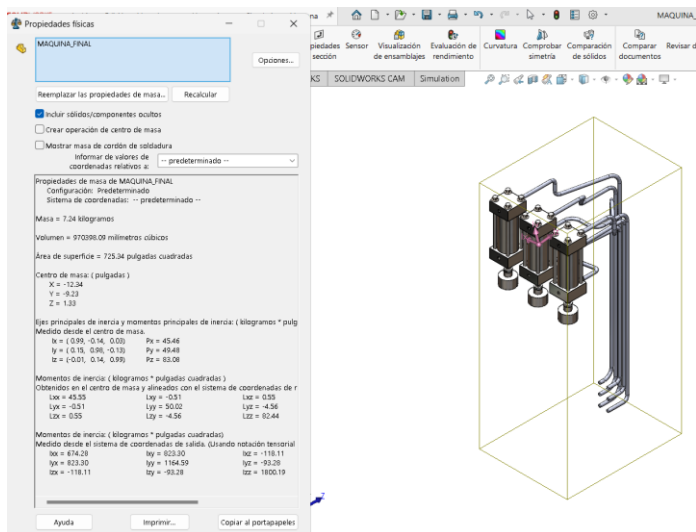


Shaft diameter	RHP designation	Basic bearing insert	Casting group	Dimensions				bolt centres		ISO load ratings										Rec. max. speed (approx.)					
				L	H	J	G	A	A ₁	C		C ₁₀		C ₁		C ₀									
mm	inches			mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches		
10	SFT10	SFT10EC	807	62.1	16.5	16.0	10	28.6	22.87	7.61	23.8	14.2	19.84	-	20.54	11.0	6.35	-	24.21	28.58	9550	4760	7000	0.6	
12	SFT12	SFT12EC		2.507	3.078	3.012	1/2	1.108	1.294	1/2	1.181	.907	1.078	-	1.124	-	.455	.258	-	.953	1.125	2150	1070	1500	1.0
15	SFT15	SFT15EC																							
17	SFT17	SFT17EC																							
20	SFT20	SFT20A	1020	80.5	19.0	18.0	10	37.8	31.38	10	32.0	22.5	30.96	25.37	30.90	43.63	13.75	7.56	11.12	38.50	33.30	12800	6580	6700	0.6
25	SFT25	SFT25A	1025	93.0	22.5	20.0	10	46.8	38.84	10	36.0	24.5	34.11	27.35	30.92	44.40	14.32	7.56	17.49	34.01	38.10	14000	7880	6250	0.7
30	SFT30	SFT30A	1030	106.5	24.5	22.0	10	55.8	45.80	10	41.0	27.5	38.10	31.21	35.68	48.42	15.93	9.04	18.32	40.00	44.45	19000	11300	5300	1.3
35	SFT35	SFT35A	1035	119.0	27.0	24.0	10	64.8	52.80	10	44.5	30.5	42.88	34.90	38.88	51.18	17.53	9.55	18.89	46.69	55.58	25700	15300	4500	1.7
40	SFT40	SFT40A	1040	131.5	29.5	26.0	10	73.8	60.80	10	51.0	34.5	49.23	41.18	43.64	56.34	19.10	11.05	21.46	52.70	60.30	29100	17900	4000	2.1
45	SFT45	SFT45A	1045	144.0	32.0	28.0	10	82.8	68.80	10	54.0	36.0	49.23	41.18	43.64	58.34	19.10	11.05	21.46	57.30	63.50	32500	20500	3700	3.0
50	SFT50	SFT50A	1050	156.5	34.5	30.0	10	91.8	76.80	10	58.0	36.0	53.99	45.34	45.64	62.70	19.10	11.05	24.65	62.20	69.85	39000	23200	3400	3.4

ANEXO A6.



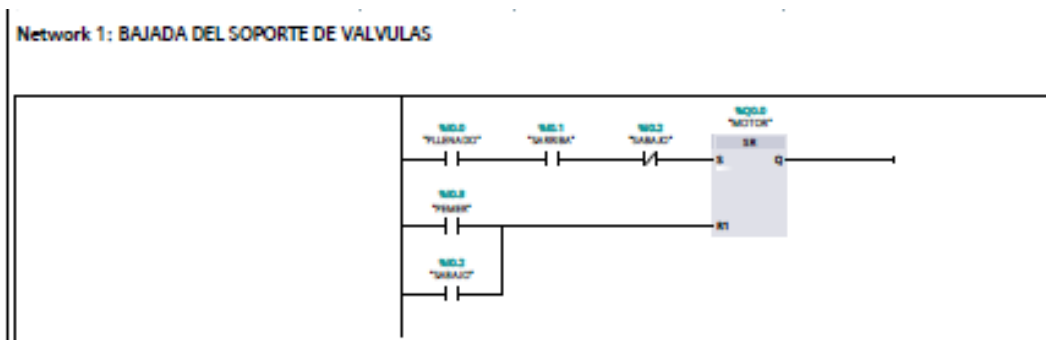
ANEXO A7.



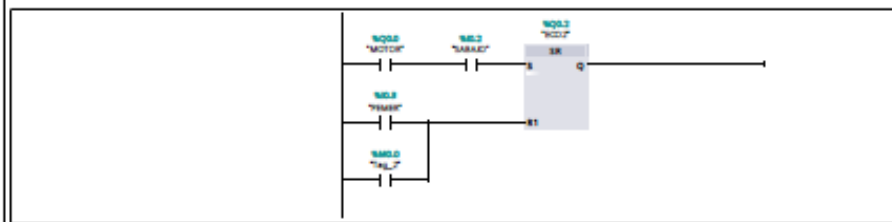
ANEXO A8. Variables Tia Portal

PLC tags			
Icon	Name	Data type	Address
	A0	Bool	%I0.5
	A1	Bool	%I0.6
	ACO2	Bool	%Q1.1
	B0	Bool	%I0.7
	B1	Bool	%I1.0
	C0	Bool	%I1.1
	C1	Bool	%I1.2
	contador	Int	%MW40
	EC1	Bool	%Q0.3
	EC2	Bool	%Q0.4
	EC3	Bool	%Q0.5
	ECO2	Bool	%Q0.2
	MOTOR	Bool	%Q0.0
	MOTOR2	Bool	%Q0.1
	PEMER	Bool	%I0.3
	PLLENADO	Bool	%I0.0
	PRESET	Bool	%I0.4
	PRESION_ESCALADA	Real	%MD70
	PRESION_NORMALIZADA	Real	%MD60
	presioncerveza	Real	%MD30
	PTAPADO	Bool	%I1.3
	SABAJO	Bool	%I0.2
	SARRIBA	Bool	%I0.1
	SPRESION	Word	%IW64
	Tag_1	Bool	%M0.1
	Tag_2	Bool	%M0.0
	Tag_3	Bool	%M0.3
	Tag_4	Bool	%M0.4
	Y1	Bool	%Q0.6
	Y2	Bool	%Q0.7
	Y3	Bool	%Q1.0

ANEXO A9. Programación Tia Portal



Network 2: ACCIONAMIENTO Y CIERRE DEL CO2

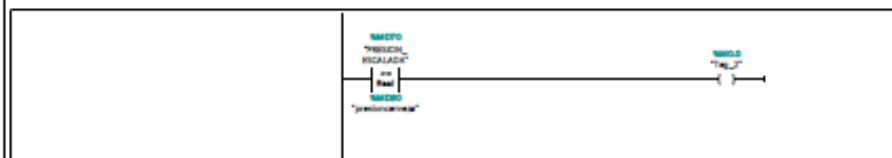


Network 3: CONVERSION DEL SENSOR DE PRESION



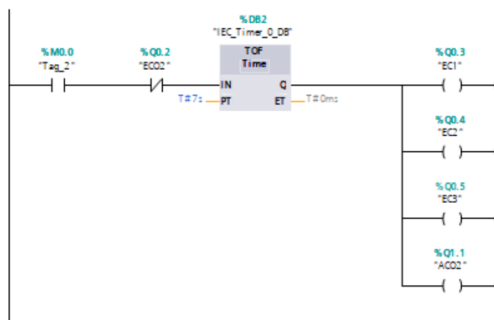
Network 4: COMPARADOR

LA CONVERSION DEL SENSOR Y LA ENTRADA DEL HMI

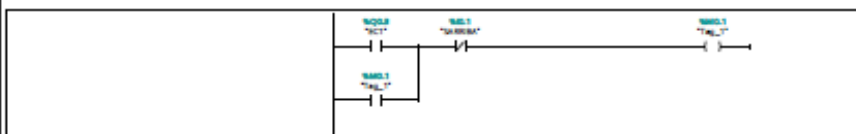


Network 5: TIEMPO DE LLENADO

Comment

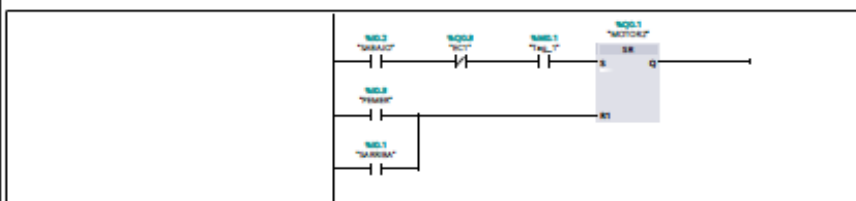


Network 6:

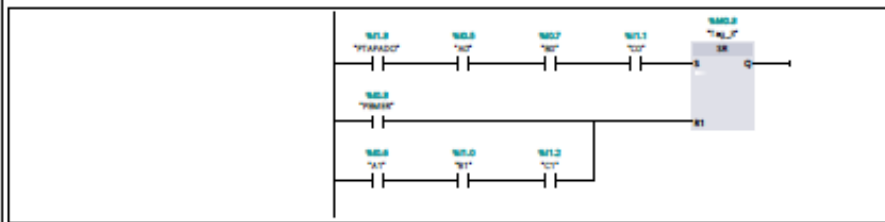


Network 7: SUBIDA DEL SOPORTE DE LA VALVULAS

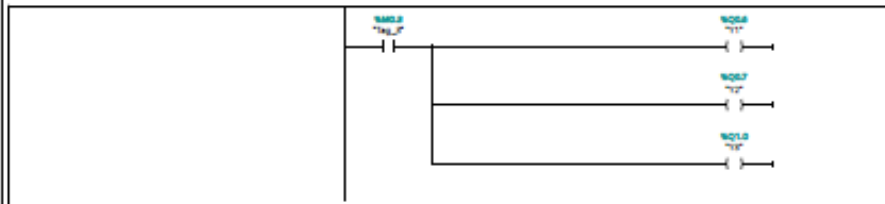
ANADIR UNA MARCA QUE SE ACTIVE CUANDO PASE EL TIEMPO DE LLENADO



Network 8: SISTEMA DE TAPADO



Network 9: ACCIONAMIENTO DE LOS CILINDROS

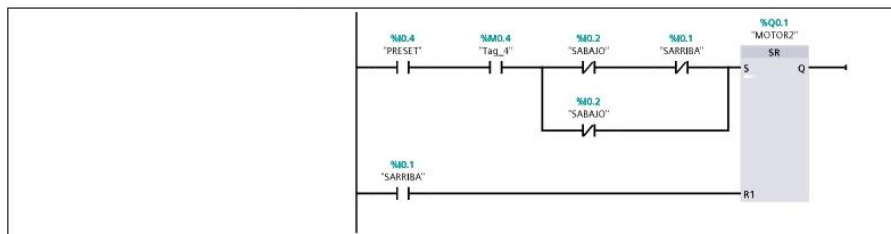


Network 10: SISTEMA DE RESET

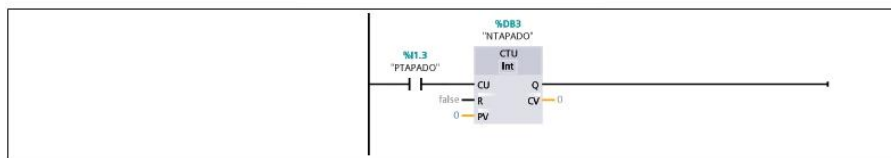
Comment



Network 11: VUELVE EL PORTA VALVULAS AL ORIGEN

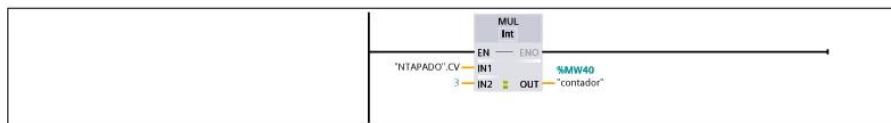


Network 12: CONTADOR DE PRODUCCION



Network 13:

SE MULTIPLICA POR 3 PORQUE EN CADA CICLO PRODUCE 3 CERVEZA



6. ANEXO B. Manual de operación y mantenimiento

La máquina está diseñada para llenar y sellar botellas de cerveza de forma semiautomática con un alto grado de precisión y eficiencia.

Indicación general

- Antes de utilizar la máquina para su proceso de llenado o sellado, se recomienda que el usuario realice una inspección visual de la máquina para detectar posibles anomalías o daños en los componentes. Cualquier problema debe ser reportado de inmediato al personal de mantenimiento.
- Uso de equipo de protección, tanto como para el uso de la máquina como del mantenimiento.
- Para el uso de la máquina, se recomienda que todos los usuarios reciban un entrenamiento adecuado sobre su funcionamiento seguro y eficiente. Esto puede incluir sesiones de capacitación.
- El usuario debe reconocer los símbolos de advertencia para identificar distintos peligros que puede provenir de la máquina.
- No opere la máquina si está dañada o no funciona correctamente.
- Desconecte la máquina de la fuente de alimentación antes de realizar cualquier mantenimiento o limpieza.

Preparación de la Máquina

- Asegúrese de que la máquina esté colocada sobre una superficie plana y nivelada.
- Conecte la máquina a una fuente de alimentación de 110 V.
- Identificar la pantalla HMI, los pulsadores (para llenado, sellado, reset), luz guía y paro de emergencia (detiene toda la máquina) que se encuentra en el tablero de control.
- Coloque las botellas vacías en el porta envase y desplace dentro de la máquina.

Operación

- Encienda la máquina usando el switch de encendido ubicado en el tablero de control.

- Espere a que la máquina se inicialice correctamente. Verifique que todos los indicadores estén funcionando correctamente y que no haya señales de errores o mal funcionamiento.
- En el tablero de control se encuentra un HMI, en la pantalla se encuentra 3 espacios para seleccionar los siguientes parámetros:
 1. Ingreso de la presión de la cerveza (va de acuerdo al tipo de cerveza).
 2. Visualización del sensor de presión.
 3. Contador de producto (las botellas que salen de producción).
- Se esteriliza el lugar donde se va a llevar a cabo la producción.
 - Para la esterilización se recomienda utilizar STAR SAN, producto compatible para una esterilización correcta para cerveza artesanal.

Proceso de llenado

- Coloque el porta envases con las botellas vacías en el sistema de llenado de la máquina de manera ordenada y asegúrese de que estén correctamente aseguradas.
- Inicie el proceso de llenado presionando el pulsador de llenado en el panel de control.
- Monitoree el llenado de las botellas para asegurarse de que se estén llenando correctamente y sin derrames.

Proceso de sellado

- Una vez que las botellas estén llenas, dirija el porta envases al sistema de sellado y coloque las tapas sobre el porta boquillas.
- Al estar alineadas ya en el sistema de llenado se Inicia el proceso de sellado presionando el pulsador de sellado en el panel de control.
- Asegúrese de que las tapas estén selladas de manera adecuada y que no haya fugas de líquido.

Finalización del proceso

- Una vez completado el proceso de llenado y sellado, retire con cuidado las botellas llenas del porta envases de la máquina y colóquelas en un área designada para su posterior almacenamiento o distribución.

Plan de mantenimiento

Se presenta el plan de mantenimiento de la máquina de llenado y sellado de cerveza artesanal para garantizar la eficiencia operativa, la seguridad del producto y el cumplimiento de las regulaciones, al tiempo que contribuye a la prolongación de la vida útil del equipo y la reducción de costos a largo plazo.

Elemento	Actividad	Mantenimiento (Mes)	Mantenimiento (Tiempo)
Motor a paso	Verificación de las conexiones con el drive.	1 vez cada 3 meses.	10 minutos
	Verificaciones de conexiones eléctricas.	1 vez cada mes y medio.	30 minutos
Chumacera	Inspección visual de desgaste de chumaceras.	1 vez cada mes.	10 minutos
	Lubricación.	1 vez cada 3 meses.	15 minutos
	Reemplazo de chumaceras, al tener desgaste.	Según la necesidad.	40 minutos
Tornillo y tuerca de potencia	Inspección visual de tornillo y tuerca de potencia.	1 vez cada mes.	10 minutos
	Lubricación.	1 vez cada dos meses.	15 minutos
	Reemplazo de tornillo y tuerca al tener desgaste, según sea el caso.	Según la necesidad.	45 minutos
Banda	Inspección visual de desgaste anormal	1 vez cada 2 meses	7 minutos
	Giro manual para evaluar el estado de guía de la banda.	1 vez cada meses y medio	15 minutos
	Reemplazo de banda al existir desgaste.	Según la necesidad.	25 minutos

1.7 ANEXO C. Fotografías

Cuarto de fermentación, Autores del proyecto de titulación, Dueño y socio de la planta de cerveza artesanal.



Tipos de maltas, Sistema de trituración.

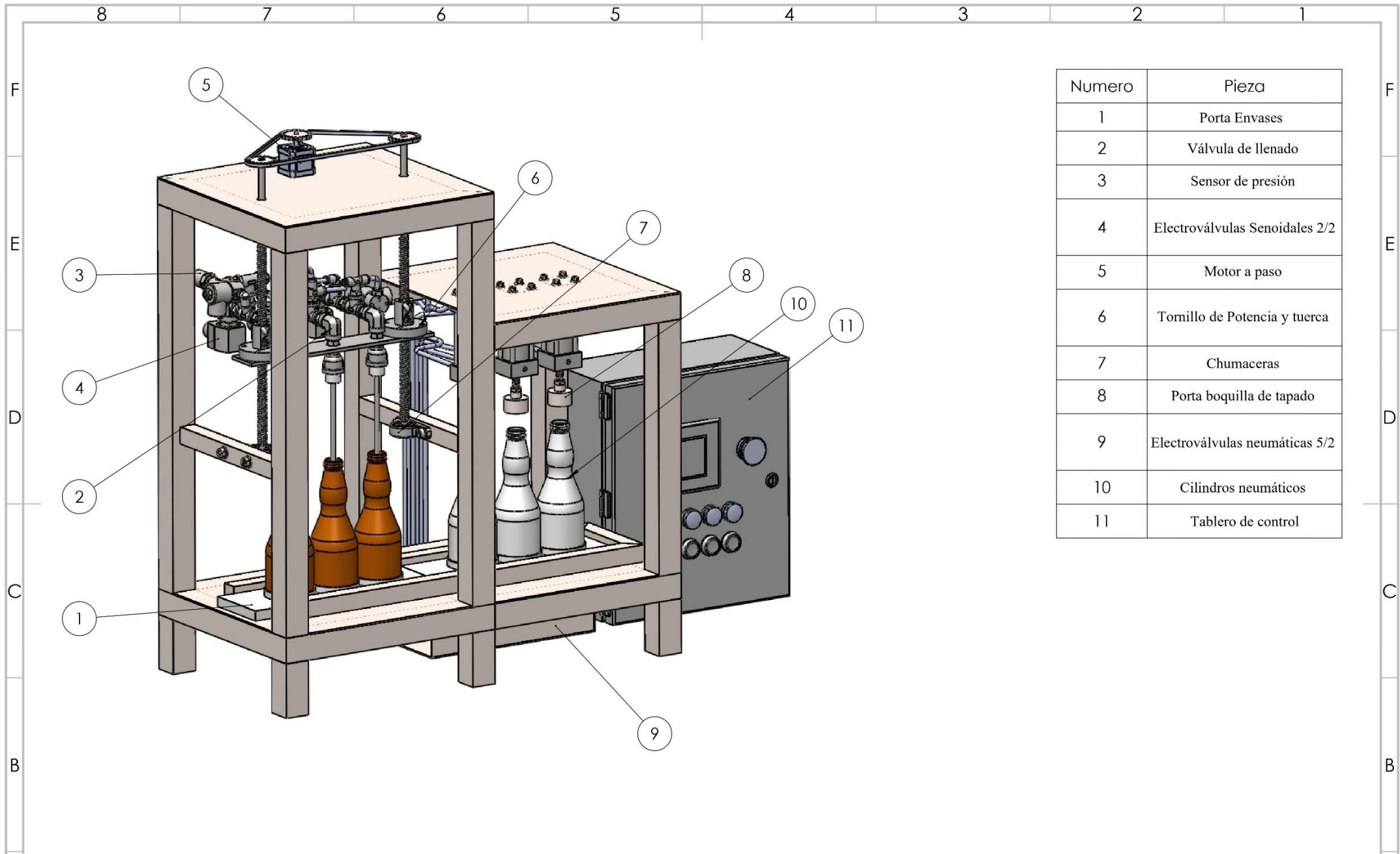


Cuarto de maceración, Cuarto de enfriamiento y tanques tipo A, Tanque de CO2



Chiller para enfriamiento, Cuarto de enfriamiento esterilizado para su proceso de llenado, Llenado manual en lata de 330ml.





Numero	Pieza
1	Porta Envases
2	Válvula de llenado
3	Sensor de presión
4	Electroválvulas Senoidales 2/2
5	Motor a paso
6	Tornillo de Potencia y tuerca
7	Chumaceras
8	Porta boquilla de tapado
9	Electroválvulas neumáticas 5/2
10	Cilindros neumáticos
11	Tablero de control

Tratamientos térmicos:		Material:	AISI 304	Dim. brutas:	
Recubrimiento:					

CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA	UPS	Diseño:	Yadira Chango, Fabian Muzo
		Dibujó:	Yadira Chango, Fabian Muzo

8 7 6 5 4 3 2 1

F

E

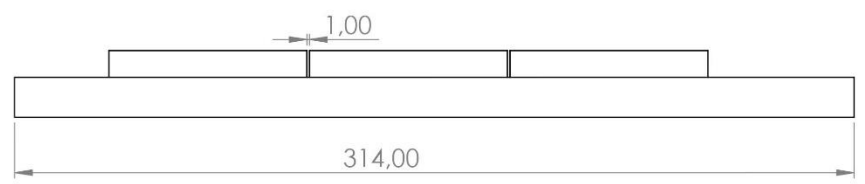
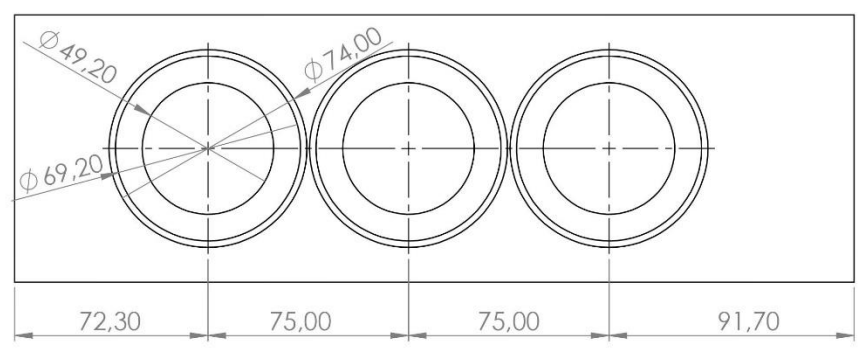
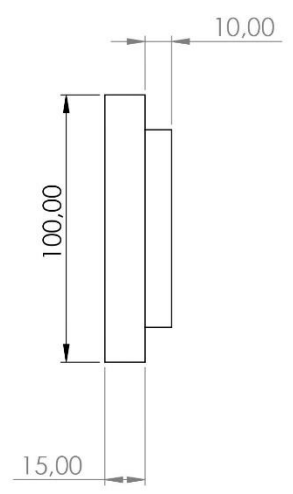
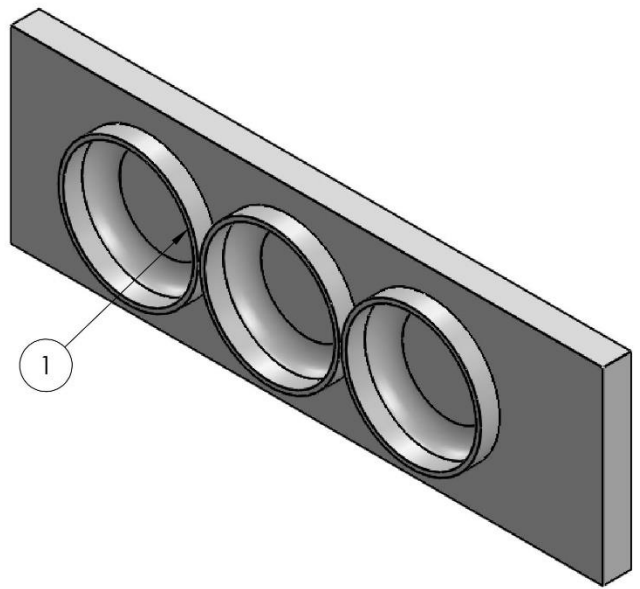
D

C

B

A

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD AD
1	BASE PARA LAS BOTELLAS	1



Tratamientos térmicos:	NA	Material:	ASTM A336	Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA	Diseño:	Yaira Chango, Fabian Muzo		
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		Dibujó:	Yaira Chango, Fabian Muzo		
		UPS			

F

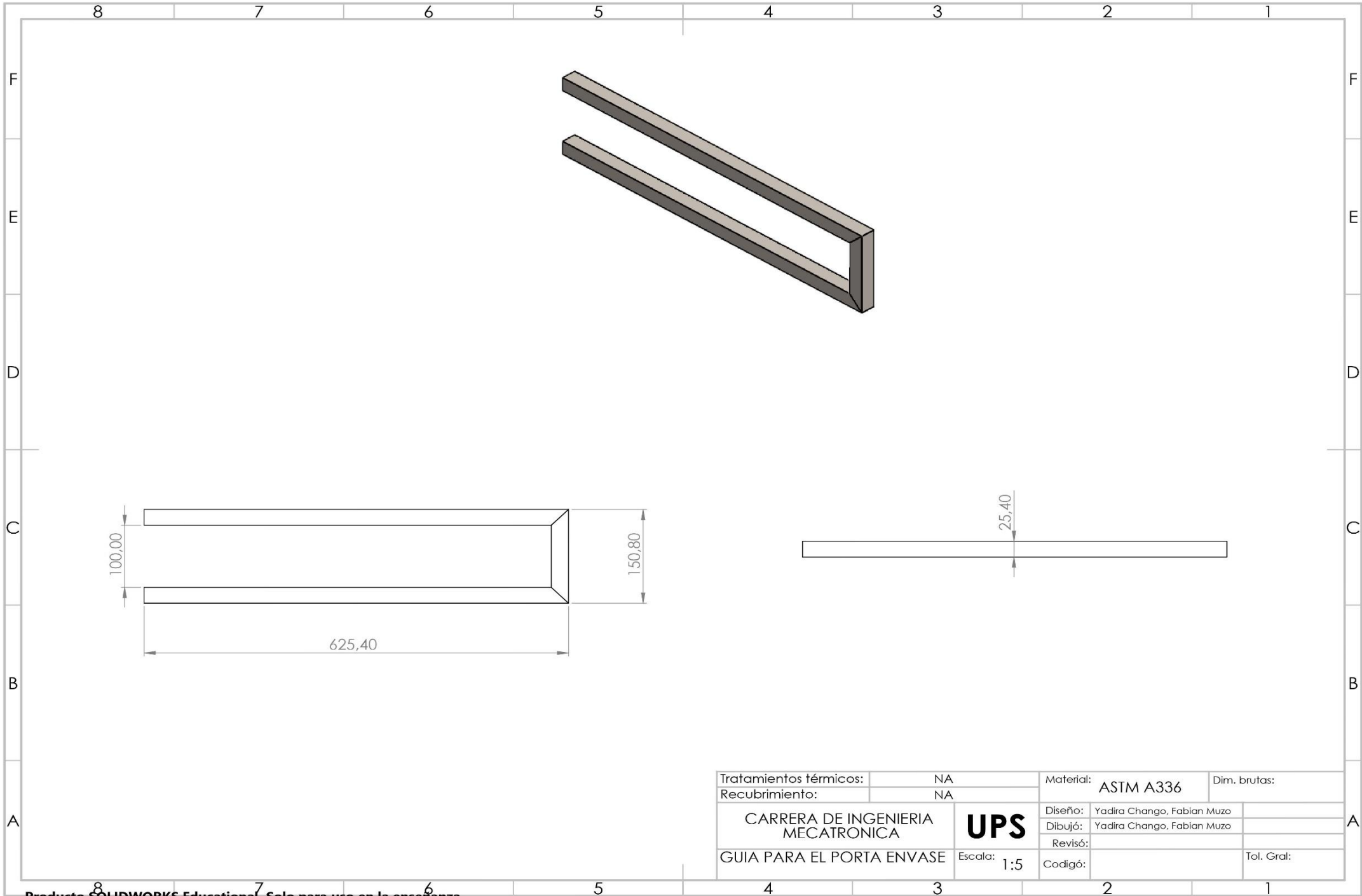
E

D

C

B

A



Tratamientos térmicos:	NA	Material:	ASTM A336	Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		UPS		Diseño:	Yadira Chango, Fabian Muzo
				Dibujó:	Yadira Chango, Fabian Muzo
GUIA PARA EL PORTA ENVASE		Revisó:			
		Escala:	1:5	Codigó:	

8 7 6 5 4 3 2 1

F

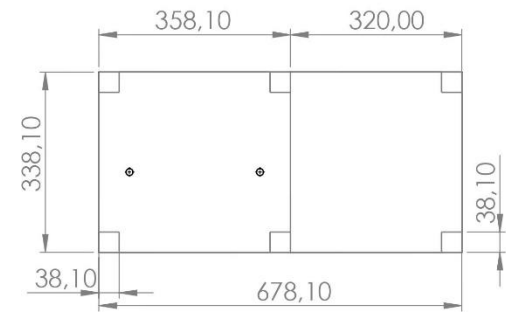
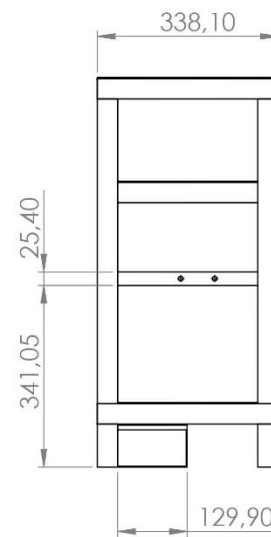
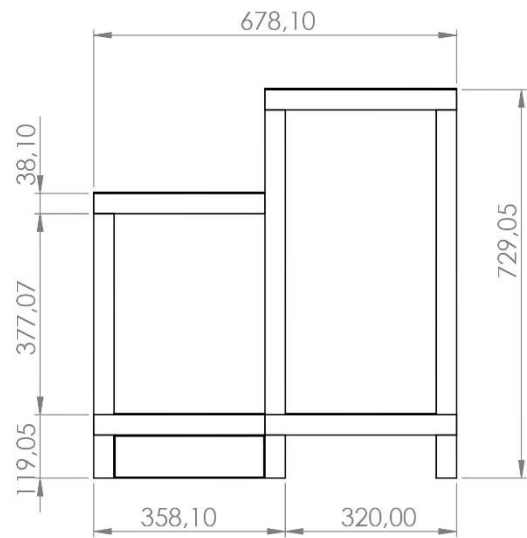
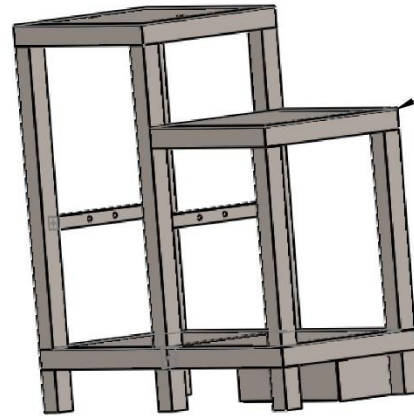
E

D

C

B

A



Tratamientos térmicos:	NA	Material:	AISI 304	Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		UPS		Diseño:	Yaira Chango, Fabian Muzo
				Dibujó:	Yaira Chango, Fabian Muzo

F

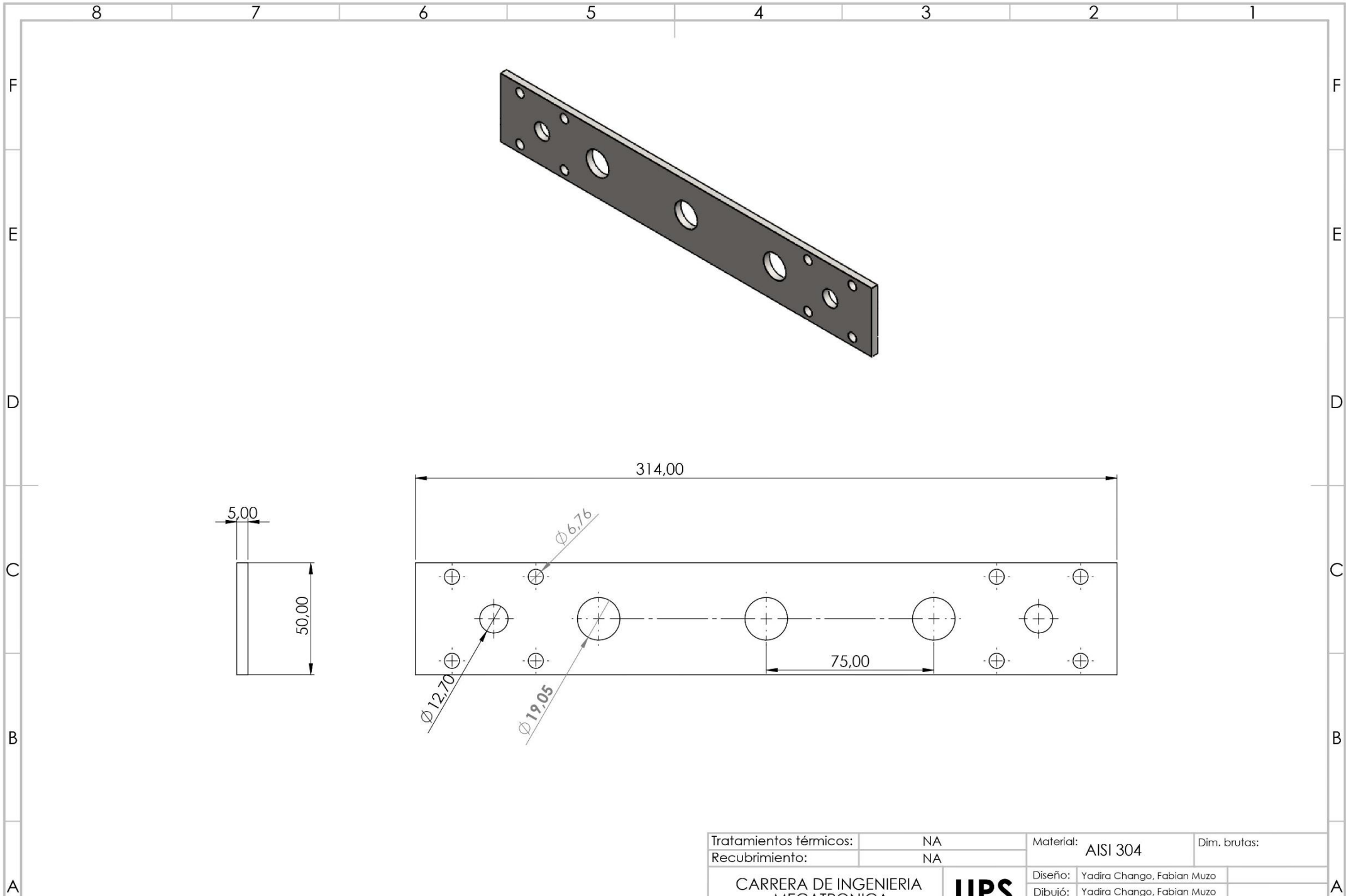
E

D

C

B

A



Tratamientos térmicos:	NA	Material:	AISI 304	Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA			
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		UPS		
Diseño:	Yadira Chango, Fabian Muzo			
Dibujó:	Yadira Chango, Fabian Muzo			