



**Diseño y construcción de una embotelladora de cerveza semiautomática para la empresa
Shaman Cervecería Artesanal**

Coronado Ríos, Joel Andrés y Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Terneus Páez, Carlos Francisco

3 de agosto del 2023



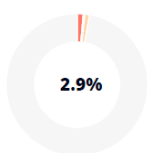
Plagiarism report

Tesis Embotelladora Correccion.pdf

Scan details

Scan time:
August 3th, 2023 at 20:47 UTCTotal Pages:
90Total Words:
22378

Plagiarism Detection



| Types of plagiarism | | Words |
|---------------------|------|-------|
| Identical | 1.4% | 319 |
| Minor Changes | 0.4% | 79 |
| Paraphrased | 1.1% | 240 |
| Omitted Words | 0% | 0 |

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism report generated for
CARLOS FRANCISCO
TERNEUS PAEZ



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño y construcción de una embotelladora de cerveza semiautomática para la empresa Shaman Cervecería Artesanal" fue realizado por los señores Coronado Ríos, Joel Andrés y Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 3 de agosto de 2023



Terneus Páez, Carlos Francisco

C. C 1707217244



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Coronado Ríos, Joel Andrés y Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban, con cédulas de ciudadanía n°1719937615 y n°1717661258, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una embotelladora de cerveza semiautomática para la empresa Shaman Cervecería Artesanal”** es de nuestra responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 3 de agosto de 2023

Coronado Ríos, Joel Andrés

C.C.: 1719937615

Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban

C.C.: 1717661258



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros Coronado Ríos, Joel Andrés y Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban, con cédulas de ciudadanía n°1719937615 y n°1717661258, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño y construcción de una embotelladora de cerveza semiautomática para la empresa Shaman Cervecería Artesanal™** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 3 de agosto de 2023

Coronado Ríos, Joel Andrés

C.C.: 1719937615

Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban

C.C.: 1717661258

Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia, que siempre me apoyaron y me alentaron durante toda la carrera, a mi mama Lucia, abuelita Brigi y mis tíos Javi y Paty ya que todo este camino lo he logrado gracias a su guía y enseñanzas, este éxito es un reflejo del esfuerzo y confianza que tuvieron en mi.

Coronado Ríos, Joel Andrés

Dedico este trabajo de titulación a mi familia quien siempre ha estado apoyándome en cada paso que he dado dentro y fuera de la universidad y han sido un soporte fundamental para este logro.

Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por estar siempre presente cuando necesite de su ayuda, por alentarme durante este largo proceso y brindarme sus mejores deseos y palabras de apoyo para seguir adelante no solo en la Universidad sino en todos los proyectos en los que me enfoque en mi vida.

Agradezco a mi grupo de amigos The Boyz (André, Villa, TQ, Stivi, Juanito, Alekz, el Socotroco, Pol, Gua, Pedro, Guillo, Joe) y mis amigos Elmo, Willy, Fito y Wanny por la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de la carrera, sin ellos el camino no hubiera sido tan ameno, en especial agradezco a Sharon y Arleth mis dos mejores amigas que ayudaron en momentos difíciles y no dejaron nunca que me rinda, me siento afortunado de haberlos conocido a todos y saber que cuento con ustedes.

A mi compañero de tesis Joe a quien conozco desde que llegue a la universidad y ha sido un gran apoyo durante toda la carrera y estuvo ahí en los momentos difíciles donde necesite consejos, con el compartimos y luchamos este camino, gracias a su colaboración y esfuerzo ha sido posible este proyecto.

A los docentes de la carrera que tienen una gran vocación y pasión por la enseñanza, que me inspiraron e instruyeron durante la carrera, especialmente a nuestro director de tesis Ing. Francisco Terneus quien nos guio y colaboro en este proyecto.

A la empresa Shaman Cervecería Artesanal quien confió en nosotros y nos brindó la oportunidad de realizar y cumplir este proyecto.

Coronado Ríos, Joel Andrés

Principalmente a Dios que siempre bendice y guía mi camino y me ha llenado de fortaleza y valor para continuar.

Toda la gratitud a mi familia por toda la ayuda y apoyo brindados en estos años de estudio, gracias a mi Mama por siempre ser un respaldo y apoyo cada día, gracias a mi Papa por ser una guía y consejero en mi vida, a mi Hermano que siempre me ha enseñado y ayudado, mi Abuelita que siempre me ha dado mucho amor y reafirmación en mis decisiones, a mis Tíos y primos que siempre se han preocupado de mis avances y logros, y me han dado la mano para continuar.

Gracias a Cami que es una persona maravillosa, me ha acompañado, motivado y apoyado a continuar en mis metas, y forma parte muy importante en mi vida.

A mi compañero de tesis Joel, quien conozco desde prepo, y durante toda la carrera hemos compartido y luchado juntos en los diferentes retos universitarios, y con quien ha sido posible este proyecto.

Gracias a mis amigos the boyz y asociados (Alex, Kevin, Pool, Juanpa, Valdez, Leo, Guillo, Joel, Pedro, Villa, André, Arleth, Sharon, Tannya, Steve, Lucho, Fito, Jhon, José, Gabriel, Willy), a mi amigo Stephen y a mi mejor amigo especial Fercho, que siempre han estado en las buenas y malas en todo este camino.

A los docentes de la carrera que tienen esa pasión para la enseñanza, especialmente a nuestro director de tesis Ing. Francisco Terneus quien ha sido parte fundamental en este proyecto.

A la empresa Shaman Cervecería Artesanal quien confió en nosotros y nos brindó la oportunidad de realizar y cumplir este proyecto.

Gavilanes Miranda, Jonathan Esteban

Índice de Contenidos

| | |
|--|----|
| Índice de figuras..... | 14 |
| Índice de tablas..... | 13 |
| Resumen | 19 |
| Abstract..... | 20 |
| Capítulo I Introducción | 21 |
| Antecedentes | 21 |
| Situación de la cerveza artesanal en el Ecuador | 21 |
| Justificación e importancia..... | 23 |
| Situación actual de la empresa..... | 23 |
| Alcance del Proyecto..... | 25 |
| Sistema Mecánico | 26 |
| Sistema eléctrico/electrónico | 26 |
| Sistema de control..... | 26 |
| Objetivos | 27 |
| Objetivo General | 27 |
| Objetivos Específicos | 27 |
| Capitulo II Revisión de Literatura Técnica | 28 |
| Máquina embotelladora | 28 |
| Máquina embotelladora de cerveza..... | 28 |
| Partes de una máquina embotelladora de cerveza..... | 28 |
| Sistemas de funcionamiento de máquinas embotelladoras de cerveza | 30 |

| | |
|--|----|
| | 10 |
| Tipos de botellas para cerveza..... | 33 |
| Tamaños de botellas para cerveza..... | 33 |
| Colores de botellas para cerveza | 33 |
| Corona o tillo para botella de cristal..... | 34 |
| Materiales de construcción | 35 |
| Tipos | 35 |
| Formas..... | 37 |
| Medidas..... | 37 |
| Sistemas de llenado de cerveza en la industria | 38 |
| Llenado por gravedad..... | 38 |
| Llenado por contrapresión o isobárico..... | 39 |
| Llenado por bombeo..... | 39 |
| Sistemas de medición de nivel de llenado de cerveza..... | 41 |
| Sistemas de tapado de botellas en la industria..... | 42 |
| Sistemas de desplazamiento de botellas en la industria..... | 44 |
| Transportadores de banda | 45 |
| Transportadores de cadena..... | 45 |
| Transportadores de rodillos | 46 |
| Transportadores de aire | 47 |
| Sistemas de alimentación y almacenamiento de cerveza en la industria | 47 |
| Capitulo III Diseño..... | 49 |

| | |
|--|-----|
| | 11 |
| Ingeniería de requisitos | 49 |
| Diseño de concepto..... | 52 |
| Concepto uno, sistema para cuatro botellas con movimiento manual..... | 52 |
| Concepto dos, sistema para cuatro botellas con movimiento por banda..... | 54 |
| Requerimientos y limitaciones | 57 |
| Especificación (diagrama funcional) | 57 |
| Diseño de subsistemas | 61 |
| Subsistema de Llenado..... | 61 |
| Subsistema de tapado..... | 71 |
| Subsistema de desplazamiento..... | 76 |
| Diseño de dominio específico | 78 |
| Diseño neumático..... | 78 |
| Diseño Mecánico..... | 86 |
| Diseño eléctrico y sistema de control | 105 |
| Capítulo IV Construcción | 118 |
| Documentación para la manufactura | 118 |
| Construcción | 118 |
| Calibración y pruebas..... | 133 |
| Resultados | 140 |
| Capítulo V Análisis Financiero..... | 141 |
| Máquina embotelladora | 141 |

| | |
|--|-----|
| Inversión Inicial..... | 141 |
| Nivel de Producción..... | 142 |
| Ingresos | 143 |
| Egresos | 143 |
| Mano de Obra | 143 |
| Mantenimiento..... | 143 |
| Flujo de Caja | 144 |
| Aumento de la producción..... | 144 |
| Ahorro de tiempo en la producción..... | 144 |
| Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones | 147 |
| Conclusiones..... | 147 |
| Recomendaciones..... | 147 |
| Bibliografía..... | 149 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1 <i>Requerimientos de la máquina embotelladora</i> | 50 |
| Tabla 2 <i>Especificaciones de la máquina embotelladora</i> | 50 |
| Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas y su peso relativo encontrado luego de realizar la matriz QFD</i> | 52 |
| Tabla 4 <i>Valor de calificación de matriz de selección de conceptos</i> | 55 |
| Tabla 5 <i>Matriz de selección de conceptos</i> | 55 |
| Tabla 6 <i>Requerimientos y limitación para el diseño de la máquina embotelladora</i> | 57 |
| Tabla 7 <i>Resumen de especificaciones necesarias de la electroválvula para proceso de selección</i> | 63 |
| Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas de las Unidad de mantenimiento del sistema</i> | 84 |
| Tabla 9 <i>Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del bastidor</i> | 90 |
| Tabla 10 <i>Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del soporte de cilindro del subsistema de llenado</i> | 93 |
| Tabla 11 <i>Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del soporte de los cilindros del subsistema de tapado</i> | 96 |
| Tabla 12 <i>Componentes proporcionados por al empresa auspiciante</i> | 106 |
| Tabla 13 <i>Resumen de entradas y salidas requeridas</i> | 107 |
| Tabla 14 <i>Características de tablero de control para albergar el sistema eléctrico</i> | 110 |
| Tabla 15 <i>Tiempo de llenado y el promedio de nivel en botella</i> | 136 |
| Tabla 16 <i>Iteraciones en el llenado de una caja de 32 cervezas</i> | 137 |
| Tabla 17 <i>Inversión Inicial</i> | 141 |
| Tabla 18 <i>Producción actual de botellas y producción objetivo</i> | 142 |
| Tabla 19 <i>Flujo de caja del proyecto (VAN y TIR)</i> | 145 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 <i>Marcas de cervezas artesanales ecuatorianas</i> | 22 |
| Figura 2 <i>Sistema manual de embotellado y tapado de la empresa SHAMAN Cervecería Artesanal</i> | 24 |
| Figura 3 <i>Partes del sistema actual de llenado de cerveza de SHAMAN Cervecería Artesanal</i> .. | 24 |
| Figura 4 <i>Subsistemas principales de una máquina embotellador de cerveza</i> | 30 |
| Figura 5 <i>Máquina embotelladora Automática</i> | 31 |
| Figura 6 <i>Máquina Embotelladoras Semi Automáticas</i> | 32 |
| Figura 7 <i>Embotelladora Manual</i> | 32 |
| Figura 8 <i>Diferentes tamaños de botella para cerveza</i> | 33 |
| Figura 9 <i>Diferentes colores de botellas de cerveza</i> | 34 |
| Figura 10 <i>Corona Pry – Off</i> | 35 |
| Figura 11 <i>Corona Twist-Off</i> | 35 |
| Figura 12 <i>Corona de plástico o silicona</i> | 36 |
| Figura 13 <i>Corona con revestimiento interno</i> | 36 |
| Figura 14 <i>Ejemplo de uso de las diferentes medidas de coronas</i> | 37 |
| Figura 15 <i>Máquina embotelladora con sistema de llenado por gravedad</i> | 38 |
| Figura 16 <i>Embotelladora con sistema de llenado contrapresión</i> | 39 |
| Figura 17 <i>Embotelladora con sistema de llenado por bombeo</i> | 40 |
| Figura 18 <i>Instrumentos utilizados en la medición de nivel en el proceso de embotellado</i> | 41 |
| Figura 19 <i>Sistema de tapado en dos fases</i> | 43 |
| Figura 20 <i>Sistema de tapado para coronas Twist-off</i> | 44 |
| Figura 21 <i>Transportadores de banda para botellas</i> | 45 |
| Figura 22 <i>Sistema de transportadores de cadena</i> | 46 |
| Figura 23 <i>Sistema de transportadores por rodillo</i> | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 24 <i>Matriz QFD para la máquina embotelladora</i> | 51 |
| Figura 25 <i>Propuesta concepto uno</i> | 53 |
| Figura 26 <i>Propuesta concepto dos</i> | 54 |
| Figura 27 <i>Diagrama funcional de nivel cero de la máquina embotelladora</i> | 58 |
| Figura 28 <i>Diagrama funcional de primer nivel de la máquina embotelladora</i> | 59 |
| Figura 29 <i>Módulos de la embotelladora de cerveza</i> | 60 |
| Figura 30 <i>Equipos otorgados por la empresa para la realización y posible utilización en el proyecto</i> | 61 |
| Figura 31 <i>Diagrama del subsistema de llenado</i> | 62 |
| Figura 32 <i>Electroválvula para el sistema de llenado</i> | 64 |
| Figura 33 <i>Diagrama de funcionamiento de vía de llenado</i> | 65 |
| Figura 34 <i>Vías de llenado encontradas a nivel local</i> | 66 |
| Figura 35 <i>Válvula de llenado de agua usada para ingeniería inversa</i> | 67 |
| Figura 36 <i>Especificaciones técnicas del pistón neumático otorgado por la empresa</i> | 67 |
| Figura 37 <i>Análisis estático de fuerzas en el sistema de llenado</i> | 68 |
| Figura 38 <i>Especificaciones necesarias para regulador de presión del sistema de llenado</i> | 71 |
| Figura 39 <i>Diagrama del subsistema de tapado</i> | 72 |
| Figura 40 <i>Corona de tapado</i> | 72 |
| Figura 41 <i>Pruebas de fuerza requerida para tapar una botella</i> | 73 |
| Figura 42 <i>Medidas estándar de cilindro neumático encontrados en el mercado local</i> | 74 |
| Figura 43 <i>Diagrama del subsistema de desplazamiento</i> | 76 |
| Figura 44 <i>Superficie deslizante del sistema de llenado</i> | 77 |
| Figura 45 <i>Rieles del sistema de desplazamiento</i> | 78 |
| Figura 46 <i>Válvulas solenoides 5/2 monoestables Festo</i> | 82 |
| Figura 47 <i>Calidad de aire neumático según norma ISO 8573-1:2010</i> | 83 |
| Figura 48 <i>Unidad de mantenimiento FORWARD</i> | 84 |

| | |
|---|-----|
| Figura 49 <i>Manguera neumática</i> | 85 |
| Figura 50 <i>Diagrama del sistema neumático</i> | 86 |
| Figura 51 <i>Modelado CAD de la máquina embotelladora</i> | 87 |
| Figura 52 <i>Análisis de esfuerzos en elementos sólidos del bastidor</i> | 88 |
| Figura 53 <i>Análisis de esfuerzos en vigas/columnas del bastidor</i> | 89 |
| Figura 54 <i>Análisis de factor de seguridad del bastidor</i> | 89 |
| Figura 55 <i>Análisis de deflexiones del bastidor</i> | 90 |
| Figura 56 <i>Análisis de esfuerzos en elementos sólidos del subsistema de llenado</i> | 91 |
| Figura 57 <i>Análisis de esfuerzos en elementos tipo viga/columna del subsistema de llenado</i> | 92 |
| Figura 58 <i>Análisis de factor de seguridad en el del subsistema de llenado</i> | 92 |
| Figura 59 <i>Análisis de deflexión del subsistema de llenado</i> | 93 |
| Figura 60 <i>Análisis de esfuerzos en elementos sólidos del subsistema de tapado</i> | 94 |
| Figura 61 <i>Análisis de esfuerzos en elementos tipo viga/columna del subsistema de tapado</i> | 95 |
| Figura 62 <i>Análisis de factor de seguridad del subsistema de tapado</i> | 95 |
| Figura 63 <i>Análisis de deflexiones del subsistema de tapado</i> | 96 |
| Figura 64 <i>Distribución de fuerzas en el soporte de las vías de llenado</i> | 97 |
| Figura 65 <i>Definición de parámetros estructurales y propiedades del material del soporte</i> | 98 |
| Figura 66 <i>Resultados del análisis estático del soporte de vías de llenado</i> | 99 |
| Figura 67 <i>Distribución de fuerzas en el soporte de las coronas de tapado</i> | 100 |
| Figura 68 <i>Definición de parámetros estructurales y propiedades del material del soporte</i> | 101 |
| Figura 69 <i>Resultados del análisis estático del soporte de coronas de tapado</i> | 102 |
| Figura 70 <i>Funcionamiento de la vía de llenado para agua vs funcionamiento adaptado</i> | 103 |
| Figura 71 <i>Diseño modificado de vía de llenado</i> | 104 |
| Figura 72 <i>Partes de vía de llenado modificada</i> | 105 |
| Figura 73 <i>Componentes del sistema de control entregados por la empresa</i> | 108 |
| Figura 74 <i>Sensor de reflexión directa</i> | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figura 75 <i>Botonera doble</i> | 109 |
| Figura 76 <i>Componentes del tablero de control</i> | 111 |
| Figura 77 <i>Metodología GRAFCET</i> | 112 |
| Figura 78 <i>Grafcet realizado para la implementación del proceso de embotellado</i> | 113 |
| Figura 79 <i>Pantalla de inicio</i> | 115 |
| Figura 80 <i>Pantalla de modo Manual</i> | 115 |
| Figura 81 <i>Pantalla de modo automatico</i> | 116 |
| Figura 82 <i>Variedades de cerveza</i> | 116 |
| Figura 83 <i>Pantalla de Estadísticos</i> | 117 |
| Figura 84 <i>Mesa de la máquina</i> | 118 |
| Figura 85 <i>Estructura General</i> | 119 |
| Figura 86 <i>Soporte de pistón de llenado</i> | 120 |
| Figura 87 <i>Soporte de los pistones de tapado</i> | 120 |
| Figura 88 <i>Rueda de la máquina</i> | 121 |
| Figura 89 <i>Base de desplazamiento de las botellas entre estaciones</i> | 122 |
| Figura 90 <i>Sistema de desplazamiento de botellas completo</i> | 122 |
| Figura 91 <i>Soporte de las vías de llenado</i> | 123 |
| Figura 92 <i>Resortes de las vías de llenado</i> | 124 |
| Figura 93 <i>Vías de llenado parte inferior</i> | 124 |
| Figura 94 <i>Vías de llenado</i> | 125 |
| Figura 95 <i>Tri-clamp</i> | 126 |
| Figura 96 <i>Electroválvulas del llenado</i> | 126 |
| Figura 97 <i>Distribuidor de llenado y drenaje</i> | 127 |
| Figura 98 <i>Regulador de presión del drenaje</i> | 128 |
| Figura 99 <i>Racor de acople rápido</i> | 128 |
| Figura 100 <i>Soporte del sistema de tapado</i> | 129 |

| | |
|---|-----|
| Figura 101 <i>Mandril de tapado</i> | 130 |
| Figura 102 <i>Compresor usado por la empresa</i> | 130 |
| Figura 103 <i>Unidad de mantenimiento</i> | 131 |
| Figura 104 <i>Electroválvulas neumáticas</i> | 131 |
| Figura 105 <i>Acople en T y su regulador de caudal</i> | 132 |
| Figura 106 <i>Implementación del sistema eléctrico y de control</i> | 133 |
| Figura 107 <i>Llenado físico del LSL, Target y USL</i> | 134 |
| Figura 108 <i>Etiquetado de nivel en las botellas de prueba</i> | 134 |
| Figura 109 <i>Medición del nivel de las botellas</i> | 135 |
| Figura 110 <i>Histograma de llenado de cerveza</i> | 138 |
| Figura 111 <i>Pruebas de fuga en el sistema de tapado</i> | 139 |
| Figura 112 <i>Prueba de fuga del tapado en sumersión</i> | 140 |

Resumen

En el Ecuador existen diferentes empresas y emprendimientos en la cerveza artesanal, muchos de los cuales tiene una dura competencia por parte de grandes marcas y empresas que tiene gran cantidad de participación en el mercado, sin embargo, las empresas pequeñas y medianas buscan ser más competitivas y automatizar su sistema de producción así ganando una mayor parte del mercado de cerveza artesanal ecuatoriana.

Existen una variedad de máquinas embotelladoras de cerveza industriales con diversos tipos de mecanismos de funcionamiento, en su gran mayoría del extranjero que tiene costes muy elevados para su adquisición dentro de las empresas medianas y pequeñas, por lo cual se determina este proyecto donde se centra el diseño, construcción, calibración y pruebas de una maquina embotelladora semiautomática de cerveza artesanal, con un precio mucho más accesible de las maquinas extranjeras y nacionales, enfocada en adquisición y construcción con equipos y materiales locales, donde se prioriza la manufactura local de determinadas en este proyecto se desglosara las diferentes áreas que deben ser tomadas en cuenta para el desarrollo del proyecto, como lo son el área mecánica y neumática, el área electrónica y de control y la programación, así como pruebas de funcionamiento de la misma para la sinergia de todos los componentes con el objetivo de llenar y tapar 60 botellas de cerveza artesanal durante un periodo de tiempo de una hora.

Palabras clave. Máquina embotelladora, sistema semiautomático, control, sistema neumático, cerveza

Abstract

In Ecuador there are different companies and enterprises in craft beer, many of which have stiff competition from large brands and companies that have a large market share, however, small and medium enterprises seek to be more competitive and automate their production system and thus gaining a larger share of the Ecuadorian craft beer market.

There are a variety of industrial beer bottling machines with different types of operating mechanisms, mostly from abroad, which are very expensive for small and medium-sized companies to purchase, which is why this project focuses on the design, construction, calibration and testing of a semi-automatic craft beer bottling machine, with a price much more accessible than the foreign and national machines focused on procurement and construction with local equipment and materials, where priority is given to the local manufacture of certain products. In this project, the different areas that must be taken into account for the development of the project will be broken down as follows, such as the mechanical and pneumatic area, the electronic and control area and the programming, as well as tests of operation of the same for the synergy of all the components with the objective of bottling and sealing 60 bottles of craft beer during a period of time of 1 hour, will be broken down.

Keywords. bottling machine, semi-automatic system, control, pneumatic system, beer.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Situación de la cerveza artesanal en el Ecuador

La última Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares Urbanos y Rurales de 2012 indica que más de 900 mil ecuatorianos consumen alcohol, de los cuales 79,2% prefiere tomar solamente cerveza. Pero además de las marcas tradicionales existentes en el país como son Pilsener y Club producidas por Cervecería Nacional SA, ahora se puede probar diferentes tipos de cervezas estas nacidas de los extranjeros residentes en el país que anhelaban variedad.

Dentro de la popularidad de cerveza dentro de nuestro país Ecuador tenemos en la primera posición a Pilsener una cerveza rubia ligera y común sabor suave, seguida por la Club Premium que es una cerveza rubia más fuerte y de sabor más intenso, en tercer lugar, tenemos a la Club verde una cerveza tipo lager suave con aromas ligeros a lúpulo.

En cuarto y quinto lugar tenemos a la cerveza Miller con característica suave y de poco amargor y Heineken una cerveza de un amargor marcado popular en todo el mundo.

Al día de hoy se tienen también diversos tipos de cervezas en las que se pueden destacar el toque amargo de una IPA, saborear el aroma a café de una Stout o sentir el refrescante burbujeo de una Golden Ale, entre otras

Las cervezas artesanales son la novedad en el Ecuador y su mercado ha vivido un boom impresionante en los últimos años. Sin embargo, todavía existen muchas barreras debido a que es un mercado nuevo y dominado aún por grandes monopolios. Según datos de la Asociación de Cervecerías del Ecuador (AsoCerv) del año 2018, las cervezas industriales dominan 99,48% del mercado, mientras que las cervezas artesanales solo ocupan 0,52%.

Marcas de cervezas artesanales ecuatorianas

Nota. Tomado de: (Revista ñan, 2017)

Una de las grandes complejidades del mercado de la cerveza artesanal en el Ecuador es que no existe una definición concreta. Por comparación, la asociación de cerveceros artesanales en EEUU, conocida en inglés como Brewer's Association, define al cervecero artesanal como a) pequeño, y lo define por una producción menor a seis millones de barriles anuales; b) independiente, que significa que menos de 25% de la cervecería puede ser controlada por una compañía industrial, y c) tradicional, con ingredientes innovadores y puros. El mercado de las cervezas artesanales se enfrenta con varias dificultades, pero es un mercado que está floreciendo en el Ecuador alrededor de un 20% de crecimiento se pudo observar entre los años 2017 y 2018 datos entregados por (AsoCerv). Existen varios lugares donde se pueden disfrutar cervezas artesanales de diferentes cervecerías, existe un lugar como es "La Reserva" es uno de los lugares más conocidos donde se consigue la mayor variedad de cervezas en Quito. Además, cada día hay más eventos y festivales dedicados a la promoción y apreciación de las cervezas artesanales.

Con este crecimiento del mercado de la cerveza artesanal se ve la oportunidad de la empresa Shaman Cervecería Artesanal de aumentar su visibilidad y producción de cerveza, como consecuencia se determina una urgencia de tener un proceso productivo mayor y más eficiente para poder cubrir la demanda del mercado.

Justificación e importancia

La empresa SHAMAN Cerveza Artesanal nació con la idea de realizar una cerveza artesanal de calidad, a lo largo de los años se ha dedicado a realizar esta tarea afrontando varios obstáculos como lo son la elaboración, embotellado y distribución saliendo con éxito, sin embargo al día de hoy se encuentra con una demanda mayor a la que se puede realizar por completo, se encuentra con inconvenientes tales como botellas rotas en el sellado o a su vez con tareas repetitivas y separadas que demandan mucho tiempo en producción y mano de obra que imposibilitan aumentar el rendimiento o la cantidad de producción.

Situación actual de la empresa

Actualmente la empresa cuenta con una embotelladora completamente manual de fabricación casera, esta cuenta únicamente con 4 vías de llenado de botellas y el tapado se realiza con una máquina manual, para esta actividad se requiere de dos personas una que se encargue de la apertura de las válvulas de llenado y otra que tape las botellas, en caso de solo contar con una persona el proceso se vuelve mucho más lento no pudiendo aprovechar las 4 vías con las que se cuenta.

Figura 2

Sistema manual de embotellado y tapado de la empresa SHAMAN Cervecería Artesanal

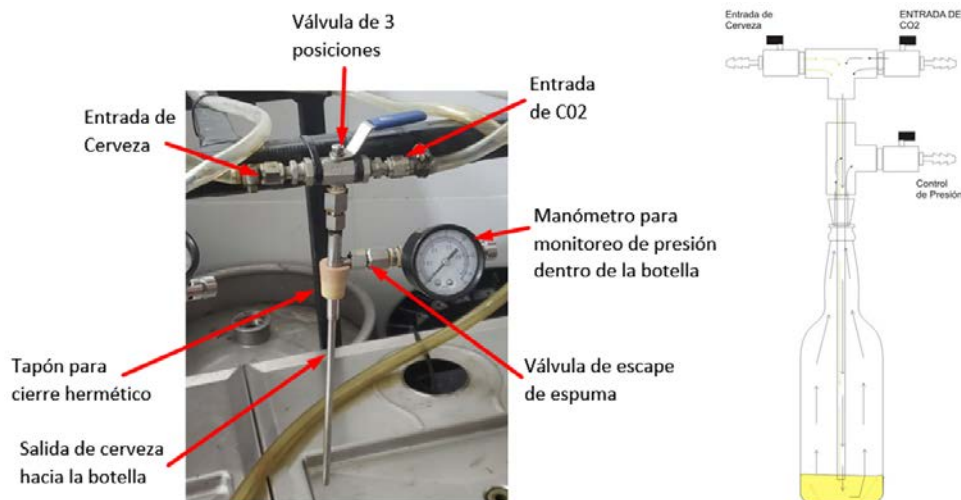


Nota. A la izquierda se observa el sistema de llenado de fabricación casera, a la derecha la máquina de tapado manual de una botella a la vez.

El proceso que se realiza es el siguiente, a la línea principal de alimentación de cerveza se conecta un barril de 50L, luego mediante una válvula se realiza el llenado primero de CO₂ dentro de la botella y seguido de cerveza para evitar que esta entre con demasiada fuerza en la botella y se genere espuma, adicionalmente se cuenta con una válvula de escape para que salga el aire de la botella y espuma en caso de que se llegara a formar.

Figura 3

Partes del sistema actual de llenado de cerveza de SHAMAN Cervecería Artesanal



Nota. El sistema actual funciona a contrapresión para un llenado suave de la cerveza

El presente trabajo de titulación servirá de apoyo al crecimiento de la empresa SHAMAN Cerveza Artesanal ya que actualmente se requieren de dos personas para el proceso de embotellado y tapado para obtener un flujo constante, con el equipo presentado en la Figura 2, en este trabajo se plantea realizar una máquina semiautomática la cual será operada por una sola persona y procesando simultáneamente 4 botellas de cerveza, de esta manera mejorando su cadena de producción y pudiendo está ayudar a ampliar el volumen de la misma, de esta manera la empresa puede ser más competitiva en el mercado llegando a ofrecer sus productos a supermercados o tiendas de la capital ecuatoriana así mismo, aumentar el volumen de entregas que se realizan fuera de la provincia de Pichincha manteniendo la calidad tan característica de su producto.

Alcance del Proyecto

Dentro del alcance del proyecto se considera los aspectos del diseño y construcción de la maquinaria abarcando sistemas mecánicos, electrónicos y de control del sistema automático. El diseño incluye la realización de cálculos de ingeniería, selección de componentes tanto mecánicos como electrónicos e implementación de algoritmos de control, también se generará documentación técnica de varios tipos, tales como: manual de operación y uso del equipo, planos mecánicos, planos de conexiones eléctricas y diagramas esquemáticos además de diagramas del sistema de control.

Con respecto al proyecto se contempla una máquina embotelladora de 4 vías de llenado y tapado que trabajaran de manera simultánea, también se ha considerado un volumen de producción de 60 botellas por hora, donde cada botella será de vidrio y tendrá un volumen de 330ml, la alimentación de cerveza hacia la máquina se realizará mediante la conexión de barriles de 50L y el tapado usando especies de tillos metálicos mediante coronas de tapado.

También se deberá asegurar el cumplimiento de los estándares y requerimientos de la norma NTE INEN 2262, BEBIDAS ALCOHÓLICAS. CERVEZA. REQUISITOS. Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la cerveza para ser considerada apta para el consumo humano.

A continuación, se describe el alcance propuesto del proyecto por cada área de diseño

Sistema Mecánico

- Diseño Estructural
- Selección de actuadores y elementos mecánicos
- Planos mecánicos

Sistema eléctrico/electrónico

- Selección de controlador (PLC)
- Selección de sensores
- Planos eléctricos y esquemáticos

Sistema de control

- Diseño de la secuencia de funcionamiento del automatismo (GRAFSET)
- Diseño de interfaz de usuario (HMI)
- Sistema de manejo de datos e históricos
- Implementación de algoritmo de control en PLC
- Comunicación de circuitos de control y potencia

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir una embotelladora de cerveza semiautomática con un volumen de producción de 60 botellas por hora para la empresa SHAMAN Cervecería Artesanal

Objetivos Específicos

- Realizar el diseño mecánico de los mecanismos de desplazamiento de botellas, llenado y tapado, así como su estructura soporte y sus análisis.
- Seleccionar sensores, actuadores y otros dispositivos electrónicos necesarios para monitoreo y control de los mecanismos, también realizar el acondicionamiento de las señales de los mismos.
- Diseñar e implementar el sistema de control secuencial en lenguaje Ladder de la máquina embotelladora para un PLC.
- Programación de interfaz HMI para accionamiento de maquinaria y observación de datos e históricos de la producción
- Realizar la evaluación y análisis del correcto funcionamiento del sistema para asegurar el cumplimiento del volumen de producción deseado

Capítulo II

Revisión de Literatura Técnica

Máquina embotelladora

Las máquinas de embotellado o envasado son un conjunto de equipos diseñados para llevar a cabo el proceso de llenado de botellas en la industria de bebidas. Sin importar el tamaño de la empresa, el proceso de embotellado siempre implica una serie de pasos de mucha importancia, cada uno de los cuales se realizan mediante máquinas especializadas dependiendo de la necesidad, se emplean para llenar y sellar diversos tipos de envases, como botellas, latas, jarras, frascos y bolsas. En general, hay cuatro tipos principales de embotelladoras: embotelladoras por gravedad, embotelladoras por presión, embotelladoras por vacío y embotelladoras por contrapresión.

Máquina embotelladora de cerveza

En las máquinas embotelladoras de cerveza en su gran mayoría trabajan con botellas de cristal y latas como envases, habiendo en la industria muy pocos sistemas adaptados para envasado en pequeños barriles de 5L a 10L, el sistema de embotellado toma en cuenta un aspecto que cambia en referencia a otros líquidos, la cerveza es una bebida carbonata la cual al momento de realizar una agitación brusca de la misma puede desencadenar en una reacción que genere espuma la cual daría como resultado un desperdicio de producto por lo cual los tipos de sistemas a usar en una embotelladora consideran este aspecto, estos sistemas se detallara más adelante.

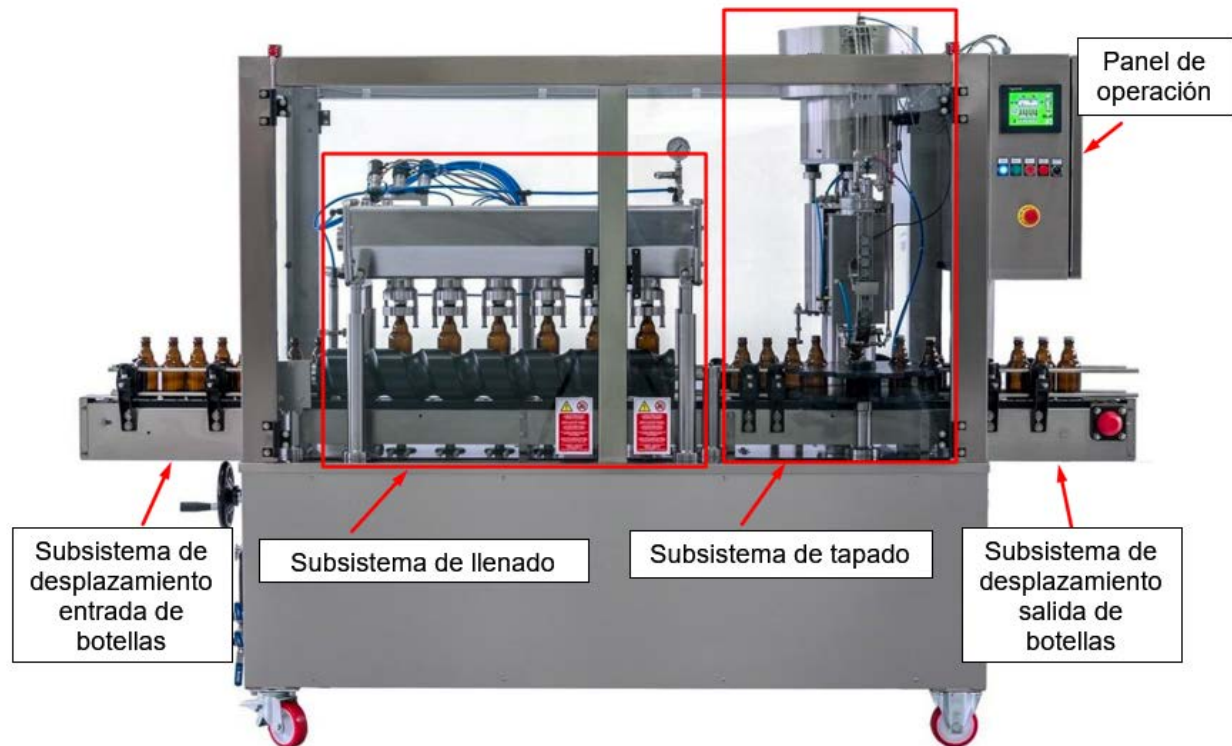
Partes de una máquina embotelladora de cerveza

Una máquina embotelladora está compuesta principalmente de tres subsistemas, sistema de transporte o desplazamiento de envases, el sistema de llenado y el sistema de tapado.

- Transporte de botellas vacías: Las botellas vacías se introducen en la línea de producción mediante cintas transportadoras u otros sistemas similares. Antes de continuar, se realiza una inspección visual para verificar que las botellas estén limpias y sin defectos.
- Llenado: Las botellas vacías pasan por una estación de llenado donde se les llena con cerveza. El proceso de llenado puede realizarse mediante distintos métodos, como el llenado por gravedad o el llenado a presión. Es esencial garantizar un llenado preciso y constante para mantener la calidad y el sabor de la cerveza.
- Tapado: Una vez que las botellas están llenas, se les coloca las tapas. Esta tarea se realiza generalmente mediante máquinas tapadoras automáticas que aplican y sellan herméticamente las tapas. El tipo de tapa utilizado puede variar, ya sea corona, corcho o cualquier otro tipo de cierre según el formato de la botella y las preferencias del fabricante.

Figura 4

Subsistemas principales de una máquina embotellador de cerveza



Nota. Cada subsistema puede variar en el tipo de funcionamiento empleado Tomado de: (Mercabrewers, 2020)

Sistemas de funcionamiento de máquinas embotelladoras de cerveza

Existen diferentes tipos de funcionamiento de las embotelladoras según su operación, estas se clasifican en manuales, semiautomáticas y automáticas.

Embotelladoras Automáticas. El funcionamiento automático de una máquina embotelladora requiere casi por completo o completa autonomía del trabajo de un operador en la planta, en esta configuración lo que se busca es niveles de producción de gran escala, reducción de la labor de un operador siendo su función la supervisión de una o varias máquinas a su cargo.

Figura 5

Máquina embotelladora Automática



Nota. Tomado de (Mercabrewers, 2020)

Embotelladoras Semi Automáticas. El funcionamiento de una máquina embotelladora semi automática requiere de un operador quien trabaja en conjunto con la misma, el operador realiza ciertas acciones para que la máquina entre en funcionamiento, continúe el trabajo y finalice el mismo, el operador está en constante supervisión de la máquina mientras la opera y no puede prescindir de esta atención durante el funcionamiento, sin embargo una vez que el operador la pone en marcha con las configuraciones necesarias para el trabajo específico la máquina continúa el trabajo parcial o por completo hasta la siguiente etapa.

Este tipo de funcionamiento es ideal para empresas medianas cuya demanda no sea de gran escala, pero se necesite de cierto volumen de producción mensual.

Figura 6

Máquina Embotelladoras Semi Automáticas



Nota. Tomado de (Mercabrewers, 2020)

Embotelladoras Manuales. El funcionamiento de una máquina embotelladora manual requiere del operador por completo, el operador realiza todas las acciones manualmente, desde el comienzo del funcionamiento de la máquina hasta la finalización de los procesos es el operador quien se encarga de la actividad en su totalidad, sin el operador ningún proceso se completaría, este tipo de sistema se usa cuando se tiene un volumen bajo en la demanda del producto.

Figura 7

Embotelladora Manual



Nota. Tomado de (Mercabrewers, 2020)

Tipos de botellas para cerveza

Las botellas utilizadas para el envasado de cerveza son de cristal, estas pudiendo variar principalmente en dos características tamaño y color.

Tamaños de botellas para cerveza

Existen diversos tamaños dentro de las botellas de cerveza, estos varían según diferentes factores como es la cantidad de líquido a envasar y otra la imagen que la empresa quiere dar al público sobre su producto.

Existen botellas desde los 200ml hasta 1000ml, siendo los tamaños más usados dentro del país los de 330ml, 600ml, 750ml y 1000ml

Figura 8

Diferentes tamaños de botella para cerveza



Nota. Tomado de (Cerveceria Nacional, s.f.)

Colores de botellas para cerveza

Existen diferentes colores de botella como lo es el color marrón o el color ámbar oscuro, también podemos encontrar botellas verdes y transparentes.

La coloración de la botella se debe a que la luz UV (luz ultravioleta) tiene por lo general un impacto negativo sobre la cerveza, puede llegar a deteriorar el sabor y el olor de la misma.

Por lo tanto, es el color de la botella lo que genera una barrera o protección de la cerveza para que esta se conserve adecuadamente, siendo las botellas marrones y ámbar oscuro las que ofrecen la máxima protección, las botellas verdes ofrecen una menor protección y las botellas transparentes y verde claro no ofrecen prácticamente ninguna protección, esta última se usa principalmente en variedades de cerveza las cuales no requieren protección.

Figura 9

Diferentes colores de botellas de cerveza



Nota. Tomado de (Cervecería Nacional, s.f.)

También existen diferentes formas de botellas, personales, de cuello largo, Praga, todo esto dependerá del fabricante, de la imagen que se quiera dar de su producto, de la cantidad de cerveza en la botella, la forma de llenado entre otros factores

Corona o tillo para botella de cristal

Las coronas para botellas de cerveza son generalmente tapas de metal que se utilizan para sellar la botella y mantener el contenido fresco y carbonatado.

Materiales de construcción

Las coronas para botellas de cerveza están hechas de aleaciones de metal, como aluminio, acero inoxidable o acero estañado. Estos materiales son resistentes a la corrosión y a la oxidación, lo que los hace ideales para su uso en envases de alimentos y bebidas.

Tipos

Hay varios tipos de coronas para botellas de cerveza, incluyendo:

- Corona Pry-Off: es una corona que se quita con un abridor de botellas. Está diseñada para encajar en un cuello de botella de vidrio.

Figura 10

Corona Pry – Off



Nota. Tomado de (Rizzolio semi automatic bottling systems, 2018)

- Corona Twist-Off: se quita girando la corona en lugar de usar un abridor de botellas. El cuello de la botella debe tener una rosca especial que coincida con la rosca de la corona.

Figura 11

Corona Twist-Off



Nota. Tomado de (Rizzolio semi automatic bottling systems, 2018)

- Corona de plástico o silicona: a diferencia de las coronas de metal, las coronas de plástico se utilizan para reducir el peso de la botella y ser reutilizables. Están hechas de polipropileno y son fáciles de aplicar con las máquinas de envasado.

Figura 12

Corona de plástico o silicona



Nota. Tomado de (Brewster B, 2019)

- Corona con revestimiento interno: estas coronas se utilizan en botellas que contienen bebidas ácidas o carbonatadas, ya que el revestimiento interno protege al metal de la corrosión, suelen encontrarse en tipo Pry-Off y Twist-Off.

Figura 13

Corona con revestimiento interno



Nota. Tomado de (Brewster B, 2019)

Formas

Las coronas para botellas de cerveza tienen una forma generalmente circular y plana, con un borde exterior dentado para sujetarse alrededor del cuello de la botella. Algunas coronas pueden tener diseños personalizados en su parte superior para identificar la marca o el sabor de la cerveza.

Medidas

La medida estándar de la corona para botellas de cerveza es de 26 mm de diámetro, aunque también existen coronas de otros diámetros, como 29 mm o 36 mm, dependiendo del tamaño de la botella. Usos generales de los diámetros de coronas:

- Botella de 330 a 375ml, la corona utilizada es de 26 mm
- Botella de 500ml, la corona utilizada es de 29 mm
- Botella de 650 a 750ml, la corona utilizada es de 36 mm

Es importante tener en cuenta que el tamaño de la corona utilizado puede variar según el fabricante y la región geográfica.

Figura 14

Ejemplo de uso de las diferentes medidas de coronas



Nota. 1 corresponde a una corona de 36mm, 2 a una corona de 29mm y 3 a una corona de 26mm Tomado de: (Cervecería Boliviana Nacional, s.f.)

Sistemas de llenado de cerveza en la industria

Las máquinas industriales de llenado de cerveza utilizan principalmente dos métodos: el llenado por gravedad y el llenado por contrapresión.

Llenado por gravedad

La cerveza fluye desde una cámara superior a través de una tubería hasta la botella o lata que se encuentra debajo. La gravedad hace que la cerveza fluya hacia abajo y llene el recipiente de manera uniforme. Este método es comúnmente utilizado en líneas de producción de cerveza enlatada.

Figura 15

Máquina embotelladora con sistema de llenado por gravedad



Nota. Tomado de (Americas Maquinaria, s.f.)

Llenado por contrapresión o isobárico

Utiliza un sistema que mantiene la presión en el interior de la botella o lata igual a la presión en el tanque de almacenamiento de la cerveza. En este proceso, se introduce dióxido de carbono en el recipiente antes de que la cerveza sea dispensada. De esta forma, se evita que la cerveza se oxide y se mantienen las burbujas de CO₂ en la cerveza.

Figura 16

Embotelladora con sistema de llenado contrapresión



Nota. Toma de (Americas Maquinaria, s.f.)

Llenado por bombeo

Este sistema utiliza bombas para transportar la cerveza desde los tanques de almacenamiento hasta las líneas de embotellado. Es más práctico para cervecerías de gran escala y se puede controlar fácilmente la velocidad y el volumen de la cerveza.

Figura 17

Embotelladora con sistema de llenado por bombeo



Nota. Tomado de (Americas Maquinaria, s.f.)

Estos métodos de llenado son los más utilizados por las máquinas industriales de cerveza, dependiendo del tipo de envase y la presión de la cerveza. También es posible utilizar una combinación de ambos métodos para lograr un llenado más preciso y uniforme, además de otros tipos de métodos poco comunes como:

- Llenado por gravedad asistida: Este sistema es una variante del llenado por gravedad y utiliza una bomba para acelerar el flujo de cerveza hacia la botella o lata.
- Llenado por vacío o succión: En este sistema, se utiliza una boquilla de llenado que genera en la botella vacío mediante una bomba, el cual se libera para llenarse con la cerveza. Este sistema es más adecuado para cervecerías de tamaño medio a grande.
- Llenado por contrapresión y gravedad combinados: Este sistema combina los dos métodos de llenado mencionados anteriormente, utilizando el llenado por contrapresión para llenar la botella o lata con CO₂ antes de pasar a un llenado por gravedad para llenarla con cerveza.

En general, la elección del sistema de llenado depende del tipo de envase, la presión requerida y la velocidad de producción. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia, precisión y calidad del llenado, por ejemplo, los sistemas de gravedad tienden a ser más rápidos por no requerir pasos extra como en el caso de sistemas isobáricos al llenar los envases con CO₂ previo a la cerveza, pero por su contraparte en un sistema isobárico se maneja de mejor manera la carbonatación de la cerveza evitando que esta genere abundante espuma durante el proceso

Sistemas de medición de nivel de llenado de cerveza

En su mayoría las maquinas industriales de cerveza utilizan sistemas de medición de flujo y nivel para controlar el correcto llenado de los envases, estos sistemas son:

- Medición de flujo: Este sistema mide la masa de la cerveza que fluye a través de un tubo, y lo convierte en un valor de flujo volumétrico. Este método es muy preciso
- Medición de nivel por presión diferencial: Este sistema mide la diferencia de presión entre el fondo del tanque de almacenamiento de cerveza y la parte superior del envase durante el llenado. El nivel de cerveza se calcula en función de la presión y la altura de la columna de líquido.

Figura 18

Instrumentos utilizados en la medición de nivel en el proceso de embotellado



Nota. A la izquierda un flujómetro para medida de flujo de líquido, a la derecha transmisor de presión para medida de presión diferencial en tanque de almacenamiento.

Otro tipo de sistemas utilizados, pero menos extendidos son:

- Medición de nivel por ultrasonidos: Este sistema utiliza ondas sonoras para medir la distancia entre el fondo del tanque de almacenamiento de cerveza y la superficie del líquido. La medición se convierte en un valor de nivel de cerveza.
- Medición de nivel por visión: Este sistema utiliza cámaras y software de procesamiento de imágenes para medir el nivel de cerveza en el envase. La cámara capta la imagen del nivel de líquido y el software lo analiza para determinar el volumen de cerveza en el envase.

Estos sistemas de medición permiten a las máquinas industriales de llenado de cerveza controlar el volumen de cerveza que se dispensa en cada envase, asegurando un llenado preciso y uniforme.

Sistemas de tapado de botellas en la industria

En el caso de los tapones de sellado mecánico o corona, el sistema de aplicación utiliza un cabezal de tapado que se encarga de colocar la corona en la boca de la botella y fijarlo en su lugar. Este cabezal puede ser accionado mediante diferentes mecanismos, como un motor eléctrico, un pistón hidráulico o neumático, dependiendo del modelo de la máquina. El cabezal de tapado está diseñado para ajustarse al tamaño y forma de la botella y del tapón corona, para garantizar una colocación precisa y uniforme.

El proceso de tapado consta de dos fases: la colocación y el sellado. En la fase de colocación, el cabezal de tapado se acerca a la botella y coloca el tapón corona en su posición correcta. El cabezal de tapado aplica una presión uniforme sobre el tapón corona para que se adapte perfectamente a la boca de la botella.

En la fase de sellado, se aplica una fuerza adicional para fijar el tapón en su lugar y garantizar la hermeticidad del sellado. Esta fuerza se aplica mediante una matriz de presión

que se ajusta a la forma de la botella y del tapón corona. La matriz de presión aplica una presión uniforme sobre el tapón corona para garantizar que el sello interno se ajuste perfectamente a la boca de la botella.

Figura 19

Sistema de tapado en dos fases



Nota. A la izquierda se observa la primera fase del sistema con la colocación de la corona mediante una rampa, a la derecha la segunda fase con el sellado de la corona.

Además de los tapones corona, existen otros tipos de tapones utilizados en la industria cervecera, como los tapones de rosca o Twist-Off.

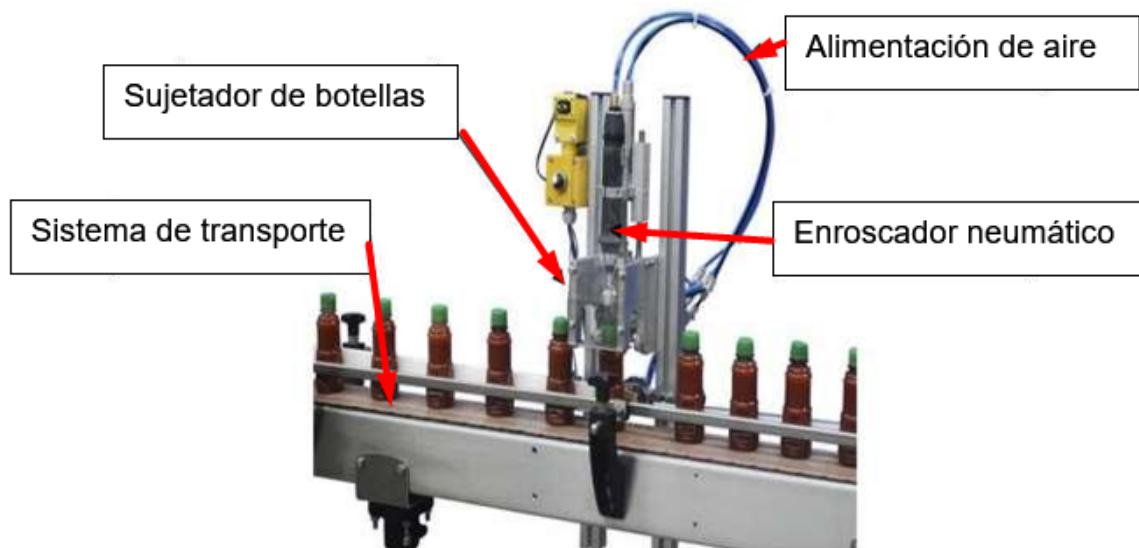
El proceso de tapado para los tapones de rosca implica el uso de una máquina que coloca el tapón en la boca de la botella y luego lo gira para fijarlo en su lugar.

Este proceso se realiza en dos etapas principales: la primera etapa es la colocación del tapón en la boca de la botella y la segunda etapa es el giro del tapón hasta que se ajuste de manera segura. En la primera etapa, el tapón se coloca en la boca de la botella y se presiona hacia abajo mediante una cabeza de tapado. Luego, la botella se mueve hacia una segunda estación, donde se gira el tapón hasta que esté firmemente ajustado en su lugar, generalmente el mecanismo de acción de estas máquinas es un motor eléctrico o neumático. La cantidad de fuerza necesaria para asegurar un tapón de rosca en su lugar depende del diseño del tapón, del material de la botella y de la máquina tapadora utilizada.

Cada tipo de tapón tiene sus propias características y requisitos de aplicación, por lo que el sistema de tapado debe estar diseñado para trabajar con el tipo de tapón específico utilizado en la producción de cerveza.

Figura 20

Sistema de tapado para coronas Twist-off



Nota. En este caso se tiene un sistema de acción neumático que enrosca la tapa en el envase

Sistemas de desplazamiento de botellas en la industria

En las máquinas embotelladoras de cerveza, el sistema de transporte es una parte fundamental para garantizar un proceso de producción fluido y eficiente. El sistema de transporte se encarga de mover las botellas desde la entrada de la máquina hasta el lugar donde se van a llenar y tapar. En función de las necesidades de producción, el sistema de transporte puede estar diseñado para trabajar con diferentes tipos de botellas y diferentes tamaños de producción.

Los principales tipos de sistemas de transporte utilizados en las máquinas industriales destinadas a cerveza son:

Transportadores de banda

Los transportadores de banda son uno de los sistemas de transporte más utilizados en las máquinas de alimentación de botellas. Estos transportadores consisten en una cinta transportadora que se encarga de mover las botellas a lo largo de la línea de producción. Las bandas pueden estar hechas de diferentes materiales, como goma o PVC, y pueden estar diseñadas con diferentes configuraciones, como bandas planas, bandas con chevron, bandas con perfil en V, entre otras. Los transportadores de banda son adecuados para transportar botellas de diferentes tamaños y formas, y su velocidad de transporte se puede ajustar para adaptarse a las necesidades de producción.

Figura 21

Transportadores de banda para botellas



Nota. Este tipo de sistemas se utiliza en embotelladoras lineales. Tomado de (AND&OR, s.f.)

Transportadores de cadena

Los transportadores de cadena utilizan una cadena que se encarga de mover las botellas a lo largo de la línea de producción. Estos transportadores son ideales para transportar botellas de vidrio pesadas o para trabajar en entornos de alta temperatura, ya que son muy resistentes y duraderos. Los transportadores de cadena también se pueden utilizar para

transportar botellas de diferentes tamaños y formas, y su velocidad de transporte se puede ajustar para adaptarse a las necesidades de producción.

Figura 22

Sistema de transportadores de cadena



Nota. Estos sistemas se encuentran en industrias con grandes volúmenes de producción.

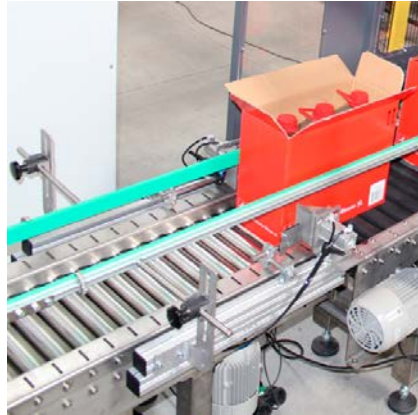
Tomado de (AND&OR, s.f.)

Transportadores de rodillos

Los transportadores de rodillos utilizan una serie de rodillos para mover las botellas a lo largo de la línea de producción. Estos transportadores son ideales para transportar botellas de diferentes tamaños y formas, y su velocidad de transporte se puede ajustar para adaptarse a las necesidades de producción. Además, los transportadores de rodillos son muy silenciosos y pueden ser muy eficientes energéticamente.

Figura 23

Sistema de transportadores por rodillo



Nota. Usados comúnmente en la zona de empaque para transporte de jabas de botellas.

Tomado de (AND&OR, s.f.)

Otro sistema poco utilizado sería:

Transportadores de aire

Los transportadores de aire utilizan una corriente de aire para mover las botellas a lo largo de la línea de producción. Estos transportadores son ideales para transportar botellas de vidrio muy ligeras o para trabajar en entornos donde se requiere una alta higiene, ya que no hay contacto directo con las botellas.

En resumen, el sistema de transporte en las máquinas industriales destinadas a cerveza es una parte fundamental para garantizar un proceso de producción eficiente y fluido. Los diferentes tipos de sistemas de transporte ofrecen diferentes ventajas y se pueden utilizar en función de las necesidades específicas de la producción.

Sistemas de alimentación y almacenamiento de cerveza en la industria

A nivel industrial para producción a gran escala de cerveza embotellada se utilizan grandes tanques los cuales contienen la cerveza lista para ser embotellada el sistema consta de los siguientes elementos claves:

- Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son donde se almacena la cerveza antes de ser transferida a las líneas de embotellado. Estos tanques suelen estar hechos de acero inoxidable y tienen una capacidad que varía desde unos pocos litros hasta varios miles de litros. La cerveza se mantiene en estos tanques a una temperatura controlada y bajo condiciones sanitarias para evitar la contaminación.

- Tuberías

Las tuberías se utilizan para transferir la cerveza desde los tanques de almacenamiento hasta las líneas de embotellado. Estas tuberías suelen estar hechas de acero inoxidable y están diseñadas para ser resistentes a la corrosión y fáciles de limpiar para evitar la contaminación.

- Bombas

Las bombas se utilizan para transferir la cerveza a través de las tuberías desde los tanques de almacenamiento hasta las líneas de embotellado. Estas bombas pueden ser de diferentes tipos, como las bombas centrífugas, que se utilizan para transferir líquidos de baja viscosidad, y las bombas de diafragma, que se utilizan para transferir líquidos más viscosos. Las bombas se seleccionan según el tipo de cerveza que se está manejando y las necesidades específicas de la línea de producción.

- Válvulas

Las válvulas se utilizan para controlar el flujo de la cerveza a través de las tuberías. Estas válvulas pueden ser manuales o automáticas y se utilizan para regular el flujo de cerveza según las necesidades específicas de la línea de producción.

Capítulo III

Diseño

Ingeniería de requisitos

Partiendo de las necesidades y requerimientos de la empresa Shaman Cervecería Artesanal, se enumera los siguientes requerimientos impuestos para cumplir las expectativas del proyecto

- Uso de botellas de cristal 300ml
- Uso de tillos de 26mm
- Alimentación a partir de barriles de 50L
- Producción de 60 botellas (envasadas y selladas) por hora

Adicionalmente se enumeran requerimientos deseados por parte de la empresa

- Fácil mantenimiento y limpieza
- Máquina de bajo costo
- Dimensiones mínimas posibles, ligereza y movilidad
- Fácil utilización y poco tiempo de capacitación
- Uso de conexiones estándar en la industria (Tipo CLAMP)
- Sellado y tapado simultáneo en bloques de botellas

Con los antes requerimientos mencionados por parte de la empresa y considerando otros importantes para su correcto funcionamiento, se procede a utilizar la herramienta de La Casa de la Calidad QFD, por lo que es necesario enumerar los parámetros técnicos de la máquina para ser estos relacionados con los requerimientos. En la Tabla 1 se encuentran los

requerimientos de la máquina mientras que en la Tabla 2 encontraremos las especificaciones técnicas.

Tabla 1

Requerimientos de la máquina embotelladora

| N. | Requerimiento de la máquina |
|-----------|--------------------------------------|
| 1 | Fácil mantenimiento |
| 2 | Producción |
| 3 | Costo de la máquina |
| 4 | Fácil utilización |
| 5 | Versatilidad en número de conexiones |
| 6 | Ocupación de espacio |
| 7 | Cantidad de botellas para llenar |
| 8 | Cantidad de botellas para tapar |

Nota. se seleccionaron 8 requerimientos importantes para una máquina embotelladora

Tabla 2

Especificaciones de la máquina embotelladora

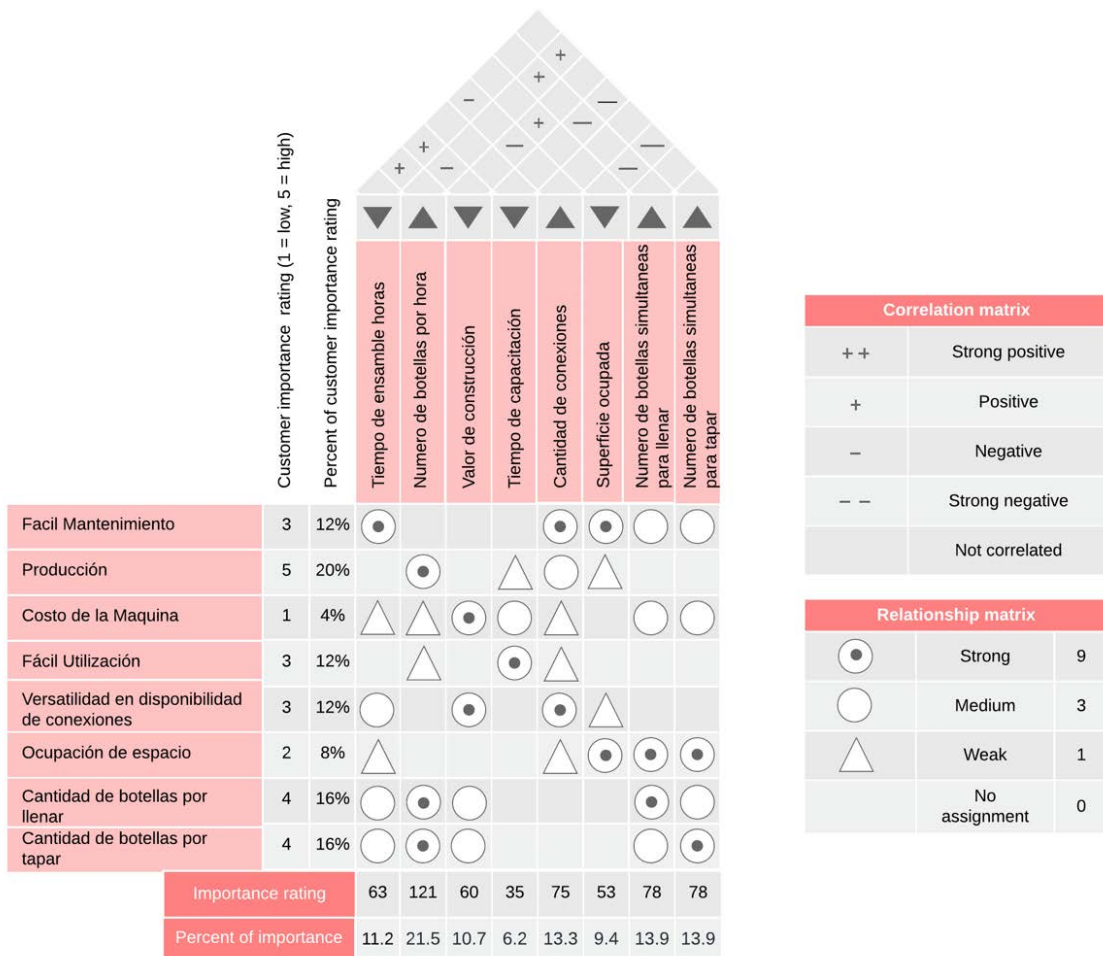
| N. | Especificación técnica |
|-----------|--|
| 1 | Tiempo de ensamble y desensamble en horas |
| 2 | Número de botellas por hora |
| 3 | Valor de construcción en dólares |
| 4 | Tiempo de capacitación en horas |
| 5 | Cantidad de conexiones tipo CLAMP |
| 6 | Superficie ocupada en m ² |
| 7 | Número de botellas simultáneas para llenar |
| 8 | Número de botellas simultáneas para tapar |

Nota: se seleccionaron 8 especificaciones relevantes de una máquina embotelladora

Enumeradas los requerimientos y especificaciones técnicas de la máquina embotelladora, se realiza la matriz QFD.

Figura 24

Matriz QFD para la máquina embotelladora



Nota. Nota los valores fueron estimados por los autores

Luego de la aplicación del método de La Casa de la Calidad, se obtuvo que la especificación técnica más importante es el número de botellas por hora, junto con el número de botellas simultáneo para llenado y tapado, lo que nos indica que la capacidad de producción

de la máquina embotelladora será el requerimiento más importante para el diseño de esta, además en la matriz QFD podemos denotar aspectos como el tiempo de ensamblaje, el valor de construcción y la cantidad de conexiones tipo clamp con porcentajes altos, los cuales son puntos a considerar para el diseño de la máquina embotelladora.

Tabla 3

Especificaciones técnicas y su peso relativo encontrado luego de realizar la matriz QFD

| N. | Especificación técnica | Peso Relativo |
|-----------|--|----------------------|
| 1 | Tiempo de ensamble y desensamble en horas | 11.2 |
| 2 | Número de botellas por hora | 21.5 |
| 3 | Valor de construcción en dólares | 10.7 |
| 4 | Tiempo de capacitación en horas | 6.2 |
| 5 | Cantidad de conexiones tipo CLAMP | 13.3 |
| 6 | Superficie ocupada en m2 | 9.4 |
| 7 | Número de botellas simultáneas para llenar | 13.9 |
| 8 | Número de botellas simultáneas para tapar | 13.9 |

Nota. El total de la especificación logra un 100 por ciento.

Diseño de concepto

A continuación, se presentan tres conceptos ideados, que recogen las especificaciones técnicas encontradas en la fase de requerimientos para la máquina embotelladora de cerveza artesanal, a partir de estos se realizará una matriz de selección a fin de encontrar la mejor opción para ser realizada en el presente proyecto.

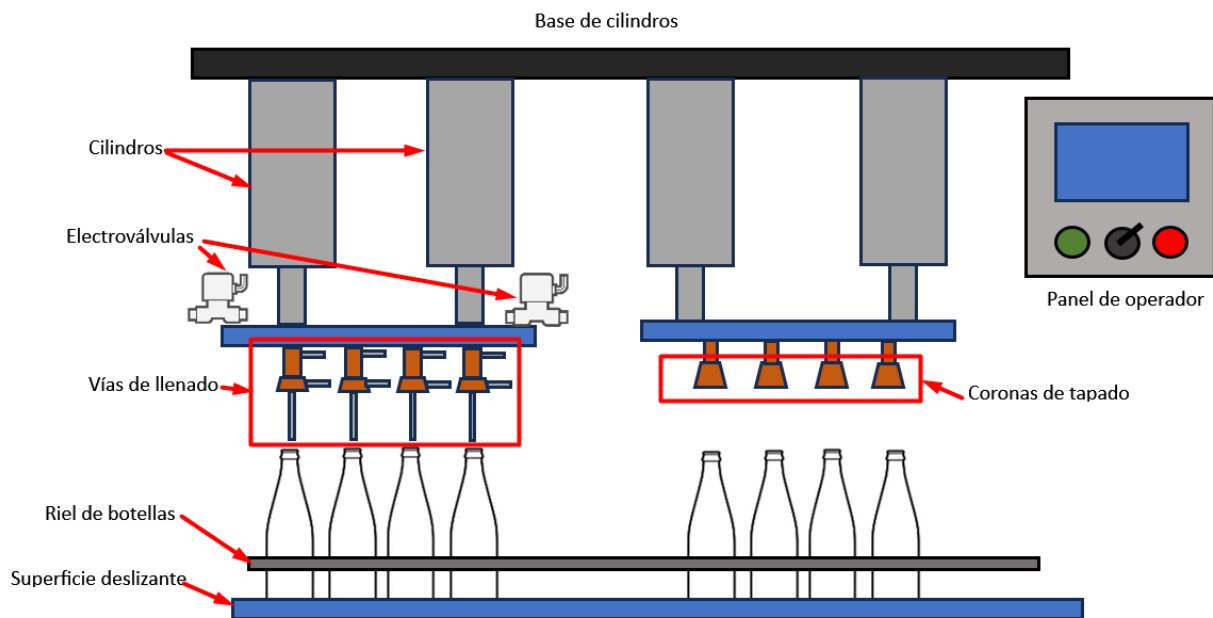
Concepto uno, sistema para cuatro botellas con movimiento manual

El concepto uno se enfoca en el bajo costo, este concepto consta de cuatro vías de llenado y cuatro de tapado que funcionaran simultáneamente y en cadena, funcionará bajo el principio de contrapresión el funcionamiento de este fue presentado y detallado anteriormente

en el marco teórico, en resumen este tipo de llenado se realiza primero generando presión dentro de la botella con gas (CO₂) para que luego ingrese la cerveza, la salida del CO₂ se controla mediante un regulador en el escape de la vía de llenado, esto se realiza con el fin de evitar la generación de espuma durante el llenado, el accionamiento de estos sistemas se realizará a través de pistones neumáticos, y la dosificación de cerveza mediante electroválvulas, el traslado de las botellas a las diferentes estaciones se realizará de manera manual a través de un riel, la estructura total y piezas necesarias se plantean ser construidas con acero inoxidable para una fácil limpieza y durabilidad frente a derrames de líquidos durante el proceso de embotellado, el sistema de control para su sencillez será a partir de dos botones que accionarían cada estación y un panel con pantalla HMI

Figura 25

Propuesta concepto uno



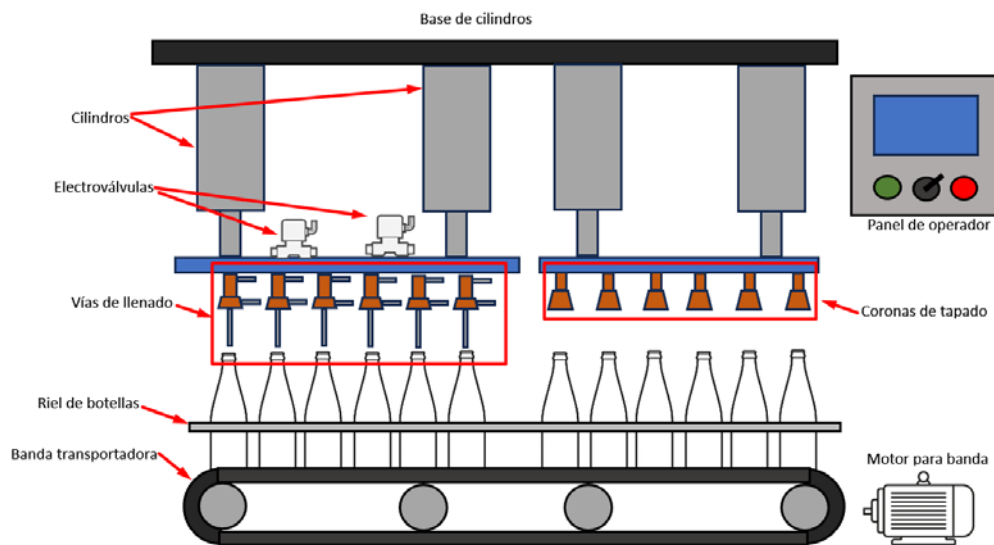
Nota. Propuesta realiza en base al menor costo posible

Concepto dos, sistema para cuatro botellas con movimiento por banda

El concepto tres se enfoca en un mayor grado de automatización y volumen de producción de la máquina, el funcionamiento de llenado de este concepto de igual manera usará el sistema de contrapresión mencionado anteriormente, este concepto consta de seis vías de llenado y seis de tapado que funcionaran simultáneamente y en cadena, el accionamiento de estos sistemas se realizará a través de pistones neumáticos, y la dosificación de cerveza mediante electroválvulas, el traslado de las botellas a las diferentes estaciones se realizará mediante una banda accionada por un motor, se plantea incluir un sistema automático para colocación de la corona para tapar la botella, la estructura total y piezas necesarias se plantean ser construidas con acero inoxidable para una fácil limpieza y durabilidad frente a derrames de líquidos durante el proceso de embotellado, el sistema de control contará de un panel con pulsadores para cada estación y accionamiento de manual de cada subsistema, además se su pantalla HMI.

Figura 26

Propuesta concepto dos



Nota. Propuesta realiza enfocada la mayor eficiencia posible

Luego de haber definido los dos conceptos propuestos como solución para este proyecto se procede a realizar una matriz de selección de conceptos (Ulrich & Eepinger, 2012), esta para definir cuál de los conceptos es el mejor para ser desarrollado y cumplir con los requisitos.

Tabla 4

Valor de calificación de matriz de selección de conceptos

| Ítem | Valor |
|-------------------------------|--------------|
| Mucho peor que la referencia | 1 |
| Peor que la referencia | 2 |
| Igual que la referencia | 3 |
| Mejor que la referencia | 4 |
| Mucho mejor que la referencia | 5 |

Nota. Obtenido de (Ulrich & Eepinger, 2012)

Tabla 5

Matriz de selección de conceptos

| Aspecto | Peso | Referencia | | Concepto 1 | | Concepto 2 | |
|---|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Valor | Evaluación | Valor | Evaluación | Valor | Evaluación |
| Tiempo de ensamble y desensamble en horas | 11.2 | 3 | 0.33 | 4 | 0.448 | 2 | 0.224 |
| Número de botellas por hora | 21.5 | 3 | 0.63 | 3 | 0.645 | 4 | 0.860 |
| Valor de construcción en dólares | 10.7 | 3 | 0.32 | 4 | 0.428 | 1 | 0.107 |

| Aspecto | Peso | Referencia | | Concepto 1 | | Concepto 2 | |
|--|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | Valor | Evaluación | Valor | Evaluación | Valor | Evaluación |
| Tiempo de capacitación en horas | 6.2 | 3 | 0.19 | 5 | 0.310 | 2 | 0.124 |
| Cantidad de conexiones tipo CLAMP | 13.3 | 3 | 0.41 | 3 | 0.399 | 3 | 0.399 |
| Superficie ocupada en m ² | 9.4 | 3 | 0.28 | 4 | 0.376 | 1 | 0.094 |
| Número de botellas simultáneas para llenar | 13.9 | 3 | 0.42 | 2 | 0.278 | 4 | 0.556 |
| Número de botellas simultáneas para tapar | 13.9 | 3 | 0.42 | 2 | 0.278 | 4 | 0.556 |
| Total de puntos | | | 3 | | 3.162 | | 2.920 |
| Posición | | | 2 | | 1 | | 3 |

Nota. Tanto las especificaciones técnicas como los pesos relativos de cada especificación fueron extraídos de la matriz QFD realizada anteriormente.

Con los resultados obtenidos, el concepto uno obtuvo la mayor puntuación, las especificaciones de este concepto que más destacan son: el tiempo de ensamble y desensamble, el valor de construcción, el tiempo de capacitación y la superficie ocupada, estos puntos denotan que el concepto está enfocado en la optimización del equipo en cuanto a funcionalidad y costos de construcción, por lo que permite al diseñar obtener un sistema óptimo entre productividad e inversión de la empresa.

En cuanto al concepto dos pese a tener una puntuación cercana, y tener entre sus aspectos más significativos los relacionados al volumen de producción flaquea en los aspectos

económicos y de tamaño, lo cual denota un sistema mucho más complejo y costoso que no se encamina a las prioridades de la empresa, que busca un sistema sencillo y de bajo costo que cumpla sus requerimientos de la manera más óptima.

Por lo cual el concepto unos será el elegido para ser desarrollado y construido, por el cumplimiento de los requisitos de la empresa y por su superioridad en puntaje frente al concepto dos.

Requerimientos y limitaciones

Tabla 6

Requerimientos y limitación para el diseño de la máquina embotelladora

| Característica | Valor |
|---|------------------------|
| Botellas de cristal oscuro | 300ml |
| Tillos o coronas | 26mm |
| Alimentación de cerveza para la máquina | Barril de 50L |
| Producción de botellas llenas y tapadas | 60 por hora |
| Vías de llenado | 4 botellas simultáneas |
| Tapado | 4 botellas simultáneas |
| Material de la estructura | Acero Inoxidable |

Nota: los requerimientos y limitaciones fueron dados por la empresa y obtenidos durante el diseño de concepto

Especificación (diagrama funcional)

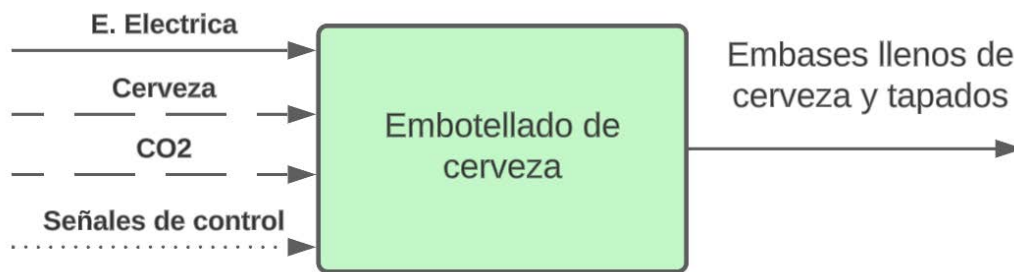
El proceso de embotellado de la cerveza comienza con la conexión del barril de 50L que alimentará la máquina con la cerveza a embotellar, conjuntamente con este se debe conectar un tanque de CO₂ que será utilizado en el sistema de llenado a contrapresión y con el barril para empujar la cerveza.

Con la alimentación lista se continúa ahora colocando las cuatro botellas en la zona de llenado, esta se accionará mediante un pistón neumático introduciendo las vías de llenado en cada botella, el proceso sigue con el llenado de CO2 en la botella para mantener una presión a continuación, ingresa la cerveza por la misma vía la presión que se generó por el CO2 en la botella en el primer paso evita que esta genere espuma al llenar la botella.

Una vez llenas las botellas pasaran a la zona de tapado esta de igual manera tendrá un pistón neumático como actuador para bajar el módulo de tapado que fijara los tillos colocados en cada botella de manera manual, una vez realizado el tapado el ciclo se da como terminado obteniendo como resultado cuatro botellas llenas de cerveza y tapadas con tillos metálicos.

Figura 27

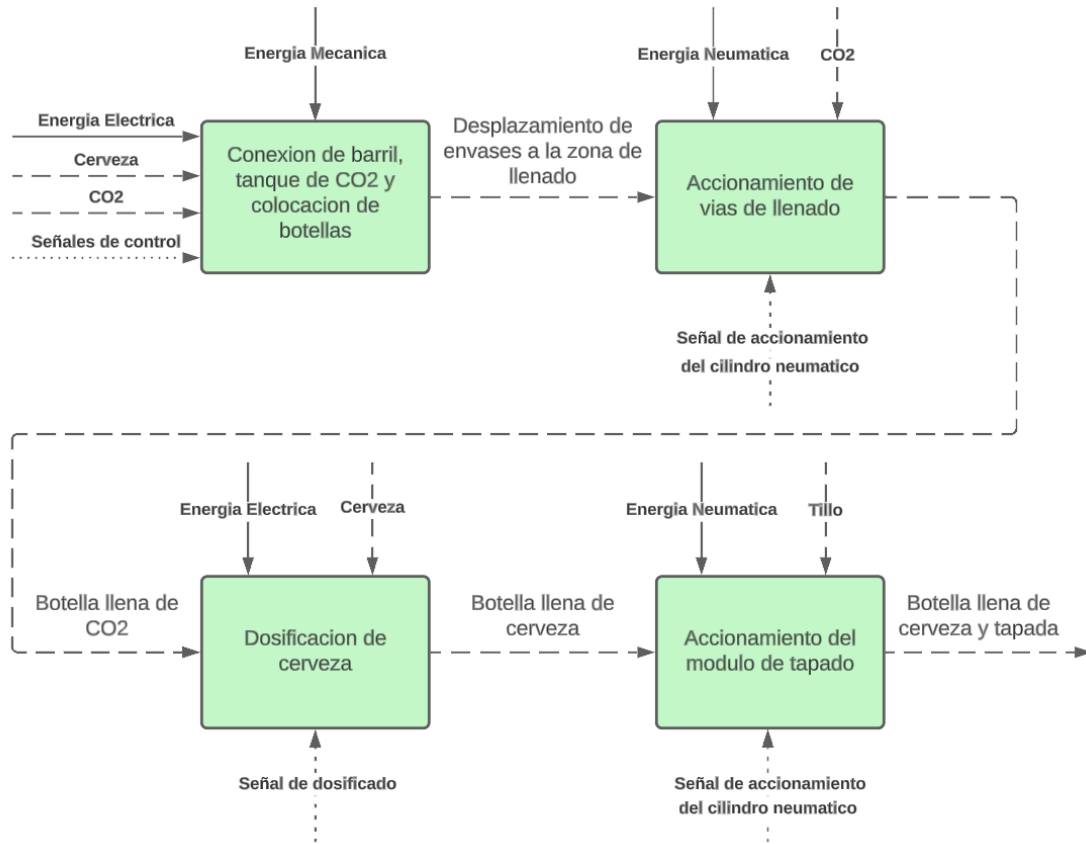
Diagrama funcional de nivel cero de la máquina embotelladora



Nota. Realizado en base a (Dieter & Schmidt, 2013)

Figura 28

Diagrama funcional de primer nivel de la máquina embotelladora

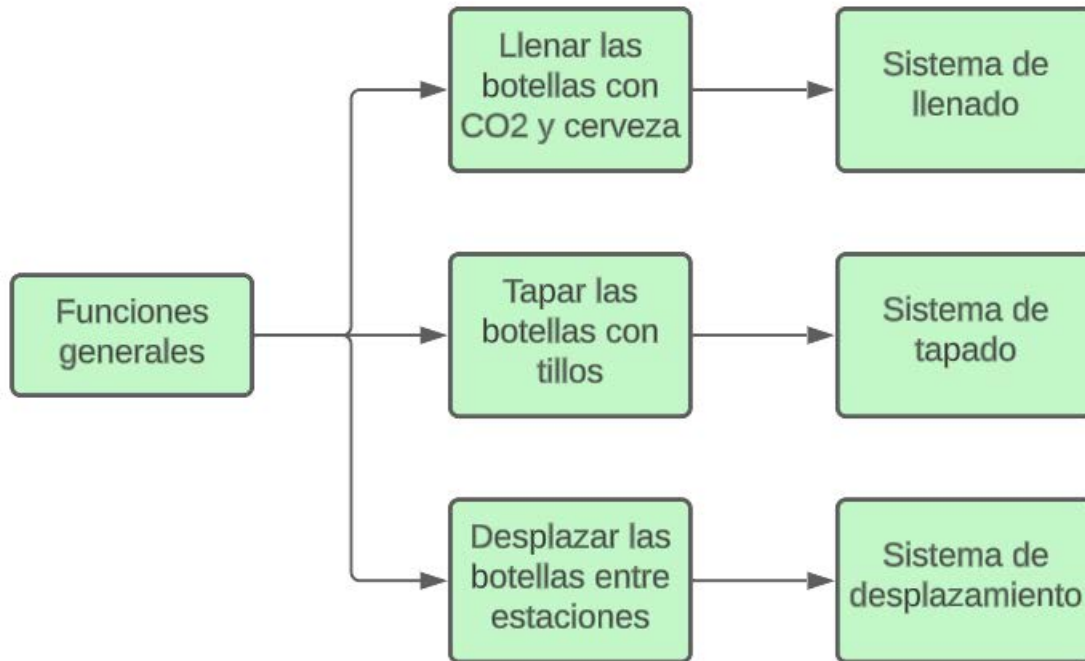


Nota. Realizado en base a (Dieter & Schmidt, 2013)

Con el diagrama funcional de la máquina embotelladora realizado se procede con el desglose de módulos esenciales para el funcionamiento de la máquina embotelladora.

Figura 29

Módulos de la embotelladora de cerveza



Nota. La estructura de la máquina es la encargada de integrar los módulos en un solo sistema.

El sistema de llenado estará conformado de un cilindro neumático que se encargará de accionar las vías de llenado que se introducirán en cada botella y del proceso de dosificación de CO₂ y cerveza necesaria para el correcto llenado.

El sistema de tapado estará conformado de un cilindro neumático que se encargará de accionar el módulo de tapado, que incluirá coronas de tapado que sellaran herméticamente las botellas con tillos de metal.

El sistema de desplazamiento estará conformado por un riel con superficie deslizante y guías, por el cual recorrerán las botellas para moverse entre las estaciones de tapado y llenado, además contendrá topes que funcionaran para el correcto posicionamiento de las botellas en cada estación.

Diseño de subsistemas

Con lo visto en la etapa de especificación de la máquina podemos determinar que esta cuenta con tres subsistemas, llenado, tapado y desplazamiento.

A continuación, se realizará el proceso de especificación y selección de los componentes necesarios para el funcionamiento correcto de cada subsistema, este proceso se llevó a cabo mediante cálculos de ingeniería, también se tomó en cuenta los equipos otorgados por la empresa y la adquisición de equipos necesarios de bajo costo y a nivel local.

Figura 30

Equipos otorgados por la empresa para la realización y posible utilización en el proyecto

| N | Ítem | Observaciones |
|---|--------------------------|--|
| 1 | PLC Siemens S7-1200 | |
| 2 | Fuente de 24VDC Siemens | |
| 3 | HMI Kinco de 8 pulgadas | |
| 4 | Cilindro neumático Festo | |
| 5 | Compresor de Aire de 2HP | No exclusivo para el uso en la máquina |

Nota. En la especificación de cada subsistema se procederá con la decisión de utilización o no de cada equipo o componente, además de la expansión de sus características completas.

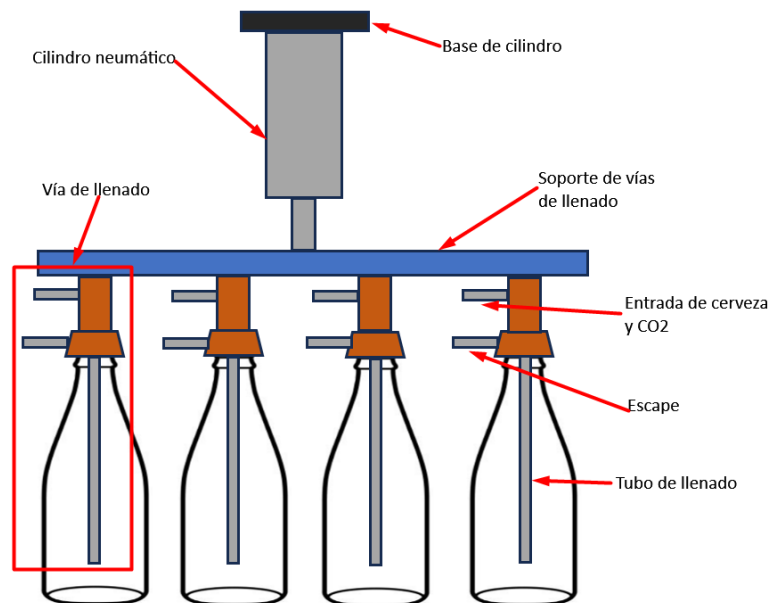
Subsistema de Llenado

El subsistema de llenado tiene por objetivo llenar las botellas con CO₂ en primera instancia para luego llenarlas con cerveza, este tipo de llenado se conoce como llenado por contrapresión, se realiza este tipo de llenado debido a su sencillez frente a otros métodos ya explorados en capítulos anteriores, para ello se ha planteado el uso de electroválvulas para el correcto dosificado, además el subsistema cuenta con un módulo de cuatro vías de llenado que deberán ser introducidas dentro de cada botella, este accionamiento se realizará a través de un

pistón neumático, además el sistema cuenta con un regulador de presión en la zona de escape para regulación de presión en las botellas y controlar la velocidad de llenado

Figura 31

Diagrama del subsistema de llenado.



Nota. Este diagrama es una propuesta del sistema final de llenado.

Selección de electroválvulas para CO2 y cerveza. Para la selección de las electroválvulas necesarias se tiene en cuenta dos aspectos importantes que estas sean de grado alimenticio, es decir no contaminen el producto durante el proceso por lo que influirá el material de construcción y además el material deberá ser resistente a la corrosión que se genera por la cerveza y líquidos desinfectantes usados en planta. Además de esos aspectos tenemos otros como el tipo de válvula, el voltaje de funcionamiento y el diámetro de conexión que están presenten.

- **Material:** En cuanto al material de construcción de la electroválvula, el material más adecuado para este tanto para cumplir con su uso de grado alimenticio como para ser resistente a oxidación será el acero inoxidable.

- Diámetro de conexiones: Para el tamaño de conexión se requiere de preferencia de 1/4 de pulgada ya que es la medida que utiliza la empresa para todos los acoples y mangueras encargadas de transportar CO2 y cerveza.
- Voltaje de operación: En cuanto al voltaje de operación de las electroválvulas estas deberán ser de preferencia de 24vdc si se encuentran disponibles en el mercado, esto debido a que la empresa entregó una fuente de 24vdc que será usada en circuito eléctrico para alimentación de la pantalla HMI.
- Tipo de electroválvula: Debido al requerimiento de trabajo de solo abrir y cerrar ya sea para CO2 o cerveza, el tipo de electroválvula será 2/2 en mecanismo de bola o mariposa.

Tabla 7

Resumen de especificaciones necesarias de la electroválvula para proceso de selección

| Especificación | Valor |
|------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de electroválvula | 2/2, mecanismo de bola o mariposa |
| Material | Acero Inoxidable |
| Voltaje de operación | 24 VDC |
| Diámetro de conexiones | 1/4 de pulgada |

Nota. En cuanto al diámetro de conexión es una especificación deseable mas no necesaria ya que se pueden usar reducción o acoples.

Luego de una investigación en el mercado local se obtuvo lo siguiente, una electroválvula de acero inoxidable de la marca ZTC del proveedor Surmaq, que sirve tanto para CO2 como para cerveza y cumple con los parámetros antes establecidos, por lo que es ideal para el proyecto.

Figura 32

Electroválvula para el sistema de llenado

Material: Stainless steel 304
Model: 2S040-08
Rated voltage: DC 12V
Thread: G1/4"



Especificaciones:
Material: acero inoxidable 304
Modelo: 2S040-08
Tensión nominal: 12 V DC
Tema: / 4"
Orificio: 2.5mm
medios plicable: Agua, IR, Petróleo, Gas
Modo de funcionamiento: Normalmente

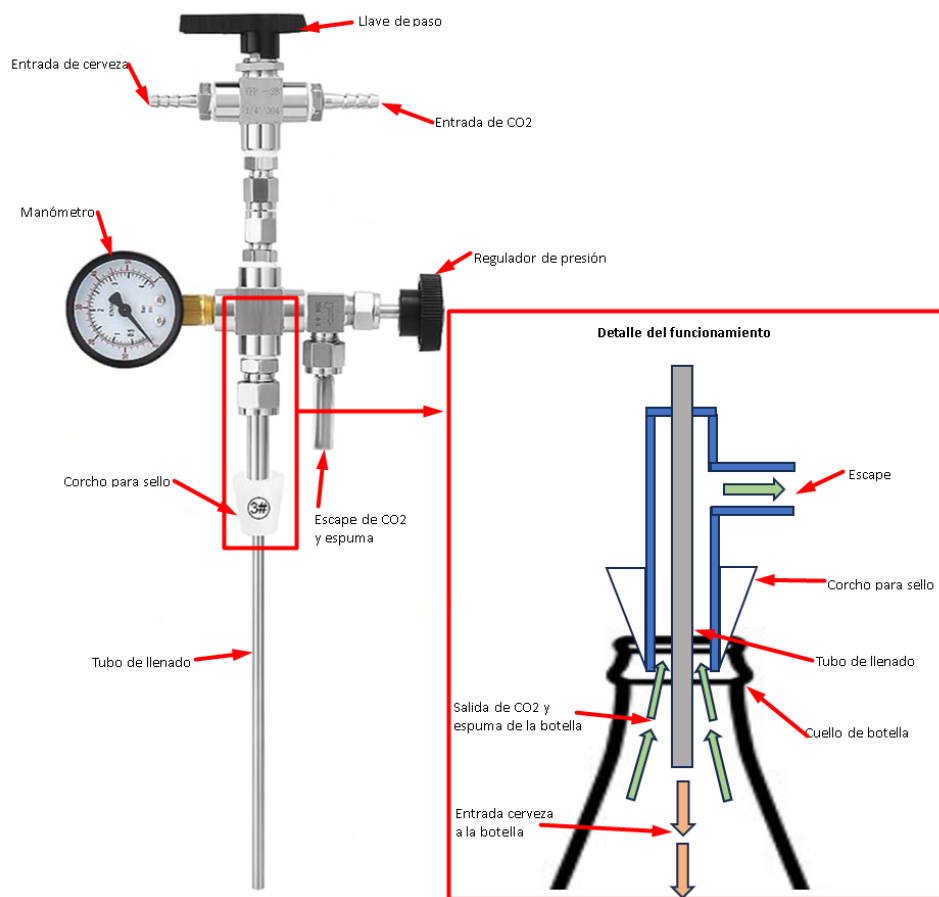


Nota. Se requerirán dos electroválvulas para sistema de llenado, obtenido de (Surmaq, s.f.)

Vía de llenado. Con la información recabada durante la fase de investigación del marco teórico en cuanto a los sistemas que se usan a nivel industrial y con el análisis del sistema de llenado manual que actualmente posee la empresa, se obtiene el siguiente diagrama de funcionamiento de la vía de llenado y las características que esta debe poseer.

Figura 33

Diagrama de funcionamiento de vía de llenado



Nota. Este diagrama se obtuvo a partir del análisis del equipo manual de embotellado que actualmente posee la empresa.

En cuanto a las características de la vía de llenado esta deberá llegar hasta la parte baja de la botella de cristal, debe poseer un sistema de escape para que se libere la presión de la botella y espuma en el momento del ingreso de la cerveza, por lo que deberá incluir, una

entrada para CO2 y cerveza, dos salidas una para la cerveza y CO2 dosificados a la botella de cristal y otra para el escape de CO2 y espuma durante el llenado.

Luego de realizar una investigación de las opciones encontradas en el mercado local y extranjero se encontraron los siguientes resultados, las vías de llenado o llenadoras son de difícil obtención en el mercado local, encontrado únicamente válvulas de uso manual o de fabricación casera las cuales no satisfacen las necesidades del proyecto.

Figura 34

Vías de llenado encontradas a nivel local



Nota. A la izquierda una llenadora de pistola, a la derecha una llenadora manual por contrapresión, obtenido de (Beerland, s.f.)

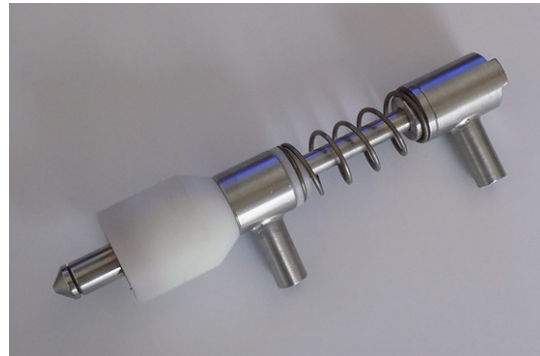
Explorando el mercado extranjero se logró encontrar vías de llenado que satisfacían las necesidades del proyecto, pero fueron descartadas para su compra debido a que estas necesitaban ser importadas incurriendo en mayores gastos en impuestos y transporte, además del tiempo de demora del proyecto ya que este podría demorar de uno a dos meses.

Por lo cual se opta por usar ingeniería inversa de una válvula de llenado de agua encontrada localmente, esta será modificada en cuanto a su diámetro y longitud para ser adaptada a las medidas necesarias de una botella de 300ml, este tipo de válvula cuenta con la

entrada que en este caso será utilizada para el ingreso de CO2 y cerveza y una vía de salida que será usada para el escape del sistema necesaria para el llenado a contrapresión que se utilizará en el proceso.

Figura 35

Válvula de llenado de agua usada para ingeniería inversa



Nota. El detalle de construcción se realizará más adelante.

Pistón o cilindro neumático. La empresa otorgo un pistón neumático el cual podría ser usado para el sistema de llenado, este es un cilindro neumático de vástago simple, doble efecto marca Festo bajo norma ISO 15552.

Figura 36

Especificaciones técnicas del pistón neumático otorgado por la empresa

| Especificación | Valor |
|---------------------------|--------------------|
| Longitud del vástago | 400mm |
| Diámetro del Émbolo | 63mm |
| Diámetro del vástago | 16mm |
| Rosca del vástago | M16x1,5 |
| Presión de Funcionamiento | 0.4 bar ... 12 bar |
| Conexión Neumática | G3/8 |

| Especificación | Valor |
|----------------------------|--------|
| Fuerza teórica con 6 bares | 1870 N |

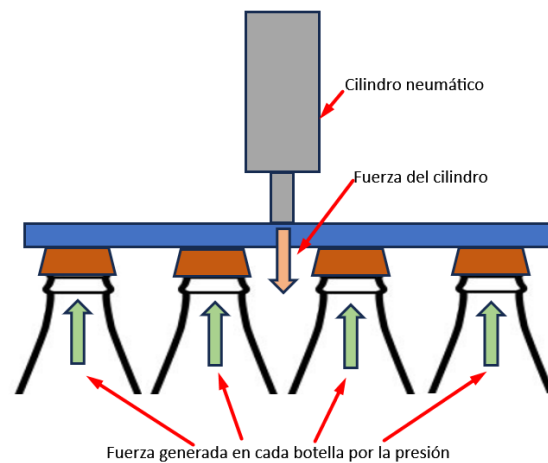
Nota. Las características fueron extraídas de la página del fabricante (Festo, s.f.)

Con las especificaciones técnicas obtenidas del cilindro disponible se procede a calcular la fuerza requerida por el sistema para determinar si este es apto para ser usado como accionamiento del subsistema de llenado.

Para la determinación de la fuerza necesaria que el cilindro debe ejercer se procederá con el cálculo de fuerza ejercido por la presión que se encontrará en cada botella al momento de realizar el llenado, cada botella deberá tener una presión de 20psi.

Figura 37

Análisis estático de fuerzas en el sistema de llenado



Nota. La presión en cada botella no superara los 20psi en ningún caso.

Para el cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$P = F * A$$

Donde:

P: es la presión del sistema

F: la fuerza generada

A: el área de contacto

Por lo cual se procede de la siguiente manera, donde el diámetro del cuello de la botella es 2.5cm y la presión es de 20 psi

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

$$F = \frac{\pi * \frac{(0.025)^2}{4} [m]}{20 [psi]}$$

$$F = 67.569 [N]$$

Con la fuerza encontrada para una botella esta se multiplica para encontrar el total de las 4 botellas.

$$F = 67.569 * 4 [N]$$

$$F = 270.276 [N]$$

Dando como resultado 270.276 Newtos siendo esta la fuerza mínima necesaria que deberá ejercer el cilindro neumático, por lo que se procede ahora al cálculo de esta

El cálculo de la fuerza generada por el cilindro

$$D_{cilindroL} = 63 [mm]$$

$$d_{vástagoL} = 20 [mm]$$

$$CarreraL = 400 [mm]$$

Donde:

DcilindroL: es el diámetro del émbolo del cilindro de llenado

dvastagoL: es el diámetro del vástago del cilindro de llenado

CarreraL: es la carrera del cilindro de llenado

$$AreaAvanceL = \pi * \frac{(D_{cilindroL})^2}{4}$$

$$AreaAvanceL = 3.117 \times 10^{-3} [m^2]$$

Donde:

AreaAvanceL: es el área del émbolo del cilindro de llenado cuando este se extiende.

Posteriormente se calcula la fuerza que generará en el avance y retroceso el pistón, esto tomando en cuenta que el sistema trabajará con una presión de 6 bares

$$FuerzaAvanceL = AreaAvanceL * Presion$$

$$FuerzaAvanceL = 1.87 \times 10^3 N$$

Donde:

FuerzaAvanceL: es la fuerza que se genera cuando el cilindro de extiende

Presion: Corresponde al valor de 6 bares que es la presión de trabajo a utilizar

Después de los cálculos realizados podemos encontrar un valor teórico de 1682 Newtons debido a posibles variaciones de presión y posibles pérdidas por fricción del aire, para un valor real se considera un 10% de pérdidas del valor total dando como resultado 1514 Newtons.

Dado que el cilindro neumático cumple las especificaciones técnicas en cuanto a fuerza necesaria con facilidad, ahora se evaluará su utilidad en cuanto a la longitud de carrera necesaria para el sistema las cuales son de 320mm mínimos ya que se toma en cuenta el alto de una botella de 300ml la cual es de 160mm y del largo de la vía de llenado que será aproximadamente de 140mm dejando 20mm para el fácil posicionamiento de botellas, ya que el cilindro neumático posee una carrera de 400mm es ideal para este subsistema.

Regulador de presión (escape). Para el escape de la sección de llenado se necesita un regulador para evitar que se pierda la presión dentro de las botellas durante el proceso de llenado, este regulador se encargará de la salida de CO₂ y espuma, que ya es un desperdicio por lo cual no es necesario que sea de grado alimenticio, por lo cual las características necesarias para este será la presión necesaria y el diámetro de las entradas para que se coloquen los acoples de manguera.

Especificaciones necesarias para regulador de presión del sistema de llenado

Figura 38

Especificaciones necesarias para regulador de presión del sistema de llenado

| Especificación | Especificación |
|-----------------------|-----------------------|
| Presión soportada | Min 40psi |
| Diámetro de conexión | 1/4 de pulgada |

Nota. Sería necesario que el regulador tenga un manómetro

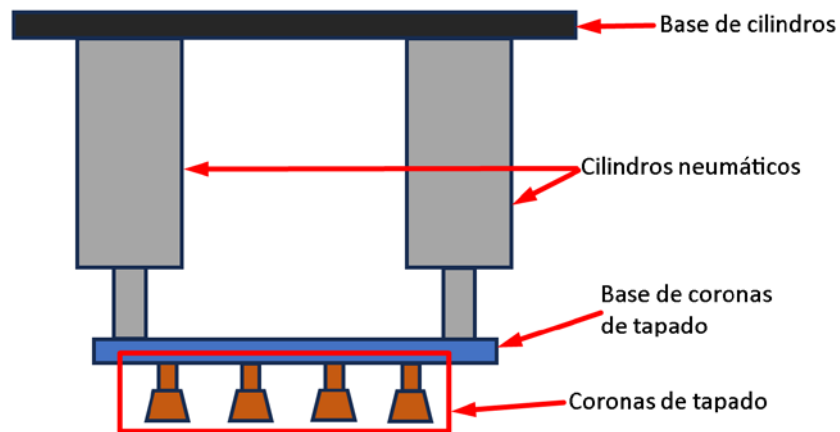
Se escogió un regulador de presión con manómetro de hasta 120psi y conexión de 1/4 de pulgada encontrado en el mercado local.

Subsistema de tapado

El subsistema de tapado tiene por objetivo sellar herméticamente las botellas provenientes del área de llenado, para ello se tiene un módulo de tapado para cuatro botellas que usará coronas de tapado o mandril, el accionamiento de este módulo se realizará mediante un pistón neumático.

Figura 39

Diagrama del subsistema de tapado



Nota. Este diagrama es una propuesta del sistema final de tapado

Coronas o mandril de tapado. Las coronas de tapado son elementos comerciales que se pueden adquirir en sus diferentes diámetros como se vio en el marco teórico de este trabajo, para esta aplicación será necesario una corona de 26mm de diámetro, la cual se encuentra disponible en el mercado local y estas al ser roscadas se fijaran de esta manera a la estructura soporte del sistema de tapado.

Figura 40

Corona de tapado



Nota. Se necesitará cuatro de estas coronas obtenido de (Beerland, S.f.)

Pistón o cilindro Neumático. Para saber la fuerza necesaria que necesitaran el pistón neumático del sistema de tapado, es necesario saber la fuerza que necesita un tillo para ser doblado y sellar la botella, dicha fuerza fue encontrada mediante pruebas con una corona de tapado y una botella usando una presan hidráulica en el laboratorio de mecánica de materiales de la Universidad.

Figura 41

Pruebas de fuerza requerida para tapar una botella



Nota. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de la Universidad un total de 5 veces.

La fuerza necesaria para tapar una botella fue de 675N por lo que para el sistema completo con cuatro botellas será necesario cumplir una fuerza mínima de 2700N, dada la fuerza necesaria se optará por usar dos pistones, esto con el fin de repartir la fuerza necesaria en ambos lados, en lugar de usar un solo pistón de gran diámetro de émbolo.

En el mercado local se encontraron varios proveedores de cilindros donde la opción más conveniente es utilizar cilindros de medidas estándar, por su inmediates en adquisición y costo frente a la fabricación de un cilindro de medidas particulares.

Figura 42

Medidas estándar de cilindro neumático encontrados en el mercado local

Especificaciones:

| Modelos: | MCQV2 | MCQV |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Diámetro interior de la camisa (mm): | 32, 40, 50, 63, 80, 100 | 125, 160, 200 |
| Max. Presión de trabajo: | 1 MPa (10 bar) | |
| Min. Presión de trabajo: | 0.05 MPa | |
| Temperatura ambiente: | - 5 ~ + 60 °C (Sin congelación) | |
| Interruptor de posición: | RCA | |
| Soporte del interruptor: | HV4, PM16, HA5V | |

Nota. Obtenido de la web del fabricante (UNITECH, s.f.)

Después de analizar los diámetros de émbolo encontrados a nivel local se dispone a calcular la fuerza entregada por un pistón de 63mm.

Se tienen las siguientes especificaciones del cilindro extraídas del catálogo del fabricante.

$$D_{cilindroT} = 63mm$$

$$d_{vstagoT} = 20mm$$

$$CarreraT = 250mm$$

Donde:

DcilindroT es el diámetro del émbolo del cilindro de tapado

dvastagoT es el diámetro del vástago del cilindro de tapado

CarreraT es la carrera del cilindro de tapado

Primero se calcula el área de avance y retroceso del cilindro del cilindro

$$AreaAvanceT = \pi * \frac{(DcilindroT)^2}{4}$$

$$AreaAvanceT = 3.117 \times 10^{-3} [m^2]$$

Donde:

AreaAvanceT: es el área del émbolo del cilindro de tapado cuando este se extiende.

Posteriormente se calcula la fuerza que generará en el avance y retroceso el pistón, esto tomando en cuenta que el sistema trabajará con una presión de 6 bares.

$$FuerzaAvanceT = AreaAvanceT * Presion$$

$$FuerzaAvanceT = 1.87 \times 10^3 [N]$$

Donde:

FuerzaAvanceT: es la fuerza que se genera cuando el cilindro de extiende

Presion: Corresponde al valor de 6 bares que es la presión de trabajo a utilizar

Ahora es necesario multiplicar la fuerza obtenido por dos para obtener la fuerza total que tendrá el sistema.

$$FuerzaAvanceTotal = 2 * AreaAvanceT * Presion$$

$$FuerzaAvanceTotal = 3.741 \times 10^3 [N]$$

Donde:

FuerzaAvanceTotal: Corresponde a la fuerza de avance total del sistema de tapado

Después de los cálculos realizados podemos encontrar un valor teórico de 3741 Newtons debido a posibles variaciones de presión y fricción del aire, para un valor real se discriminará un 10% de pérdidas del valor total dando como resultado 3367 Newtons.

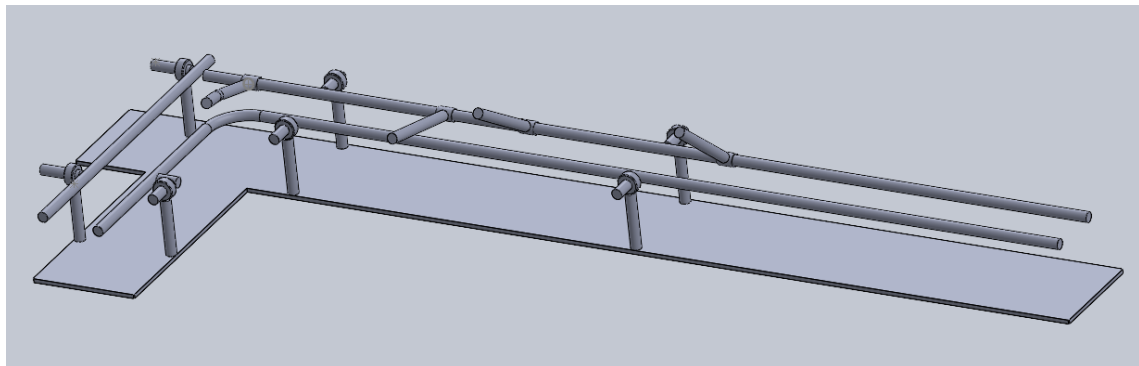
Por lo tanto, dos pistones neumáticos de 63mm de diámetro de émbolo son los ideales para esta aplicación ya que la fuerza requerida era de 2700 Newtons.

Subsistema de desplazamiento

El objetivo del subsistema de desplazamiento es transportar las botellas del área de llenado al de tapado, este contará de una superficie deslizante, rieles y topes para guiar las botellas, el movimiento a través del subsistema se realizará de manera manual.

Figura 43

Diagrama del subsistema de desplazamiento



Nota. Este diagrama es una propuesta del sistema final de desplazamiento

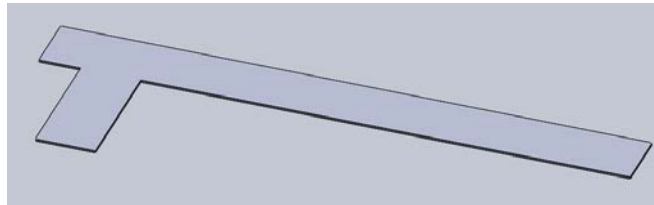
Superficie deslizante. Para la superficie del sistema se utilizará una platina de acero inoxidable esto debido a que el material debe ser de fácil limpieza y resistente a la corrosión producida por entrar en contacto con líquidos como cerveza o desinfectantes

Para ayudar a que el sistema tenga mayor deslizamiento este será pulido para menor el coeficiente de rozamiento.

Las medidas generales que este sistema debe tener son de 130 cm de largo, y 13 cm de ancho y también contará con una zona destinada a la entra de botellas desde la parte frontal de la máquina.

Figura 44

Superficie deslizante del sistema de llenado.



Nota. Se fijará esta placa con pernos a la mesa de trabajo

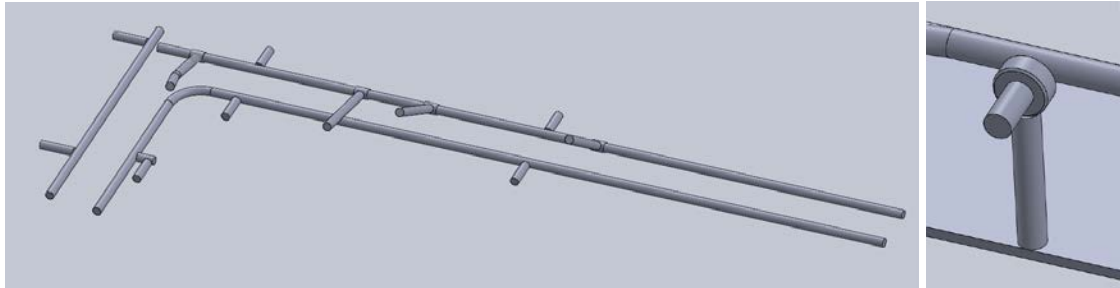
Esta platina también soportará la carga de los sistemas de tapado y llenado por lo que se usará un espesor de 5mm para evitar deflexiones en esta y en la mesa de trabajo.

Rieles y topes. Para guiar las botellas por el sistema y retener estas en cada estación se usará ejes, de igual manera estos serán de acero inoxidable y serán soldados a la superficie deslizante para conformar un único módulo.

La estructura estará construida a partir de ejes de 1/2 pulgada, una parte contará con soportes que irán soldados a la superficie deslizante con collarines al final para sostener las guías horizontales

Figura 45

Rieles del sistema de desplazamiento



Nota. Los rieles son regulables mediante el uso de collarines con prisioneros

Estos rieles serán cuentan con topes móviles que mantendrán las botellas en la posición idónea para que se realice tanto el llenado como tapado, toda la estructura del sistema de desplazamiento será extraíble fácilmente de la máquina para su limpieza o reemplazo en un futuro por un sistema de desplazamiento de mayor capacidad o autonomía como una banda accionada por motor.

Diseño de dominio específico

Para el dominio específico se realizará el diseño a detalle de los diferentes componentes que conforman parte de los subsistemas antes mencionados, estos son el diseño neumático, que conforma la selección de pistones neumáticos, compresor y válvulas, por la parte del diseño mecánico tenemos el diseño de las vías de llenado a través de ingeniería inversa y el diseño de la estructura de la máquina, para el diseño electrónico tenemos la selección de componentes de control y mando, el diseño del tablero de control, la programación del sistema de control PLC e interfaz HMI.

Diseño neumático

En cuanto al sistema neumático, los cilindros neumáticos que funcionaran como actuadores ya previamente seleccionados, por lo que es necesario ahora proceder con el

proceso de selección de las válvulas que activaran dichos cilindros, así como el resto de los accesorios necesario para el funcionamiento del sistema como mangueras, racores, reguladores de caudal, etc.

Además, hay que tener presente que uno de los componentes más importantes de este sistema, siendo el compresor de aire que alimentará el sistema es provisto por la empresa por lo que se procederá con el proceso de comprobación de que las especificaciones del sistema son suficientes para el correcto funcionamiento, finalmente se procederá con la selección de la unidad de mantenimiento requerida para el sistema

Compresor de Aire. El compresor de aire que se usará para la máquina embotelladora no es de uso exclusivo por lo cual el mismo se conectará externamente cuando la máquina será utilizada por lo que no es necesario una instalación eléctrica fija para el compresor y únicamente será necesario tener una conexión con un racor rápidos para la conexión de este a través de una manguera neumática.

El compresor es de la marca Porten modelo PCO-0224X, y cuenta con las siguientes especificaciones.

Especificaciones técnicas del compresor

| Especificación | Valor |
|-----------------------|-------------------|
| Motor | 2 HP |
| Velocidad | 3400 rpm |
| Caudal | 110L/min - 3,9CFM |
| Capacidad del tanque | 24 L |
| Presión máxima | 8 bar |
| Voltaje de trabajo | 120 V |
| Frecuencia de trabajo | 60 Hz |

Nota: El compresor está configurado para llenarse hasta una presión de 8 bares

Son dos las principales especificaciones que se deben comprobar para uso de un compresor en un sistema neumático estas son la presión y el caudal que entrega el compresor, dado que el compresor tiene una presión máxima de 8 bares y el sistema neumático funcionará

con 6 bares este parámetro es suficiente, para la comprobación del caudal se procederá a calcular el caudal requerido por la máquina embotelladora.

Establecemos los valores iniciales para el cálculo CFM necesario

$$cpm = 0.25 \left[\frac{1}{min} \right]$$

$$PresionBar = 6 [bar]$$

Donde:

cpm: es el número de ciclos completos por minuto

PresionBar: es la presión de trabajo del sistema en este caso 6 bares

Primero se calculó el volumen de aire necesario total del subsistema de llenado en un ciclo completo

$$VolumenL = CarreraL * (AreaAvanceL + AreaRetrocesoL)$$

$$VolumenL = 2.368 \times 10^{-3} [m^3]$$

Donde:

VolumenL: es el volumen total que necesita el subsistema de llenado

A continuación, se calculó el consumo total de la etapa de llenado

$$ConsumoL = PresionBar * VolumenL$$

$$ConsumoL = 0.014 [m^3]$$

Donde:

ConsumoL: es el consumo total de la etapa de llenado

Finalmente se calcula el CFM de toda la etapa de llenado

$$CFM_L = cpm * ConsumoL$$

$$CFM_L = 0.125 \left[\frac{ft^3}{min} \right]$$

Donde:

cpm: es el factor de conversión

CFM: es el valor necesario para el sistema de llenado en un ciclo completo

A continuación, se realiza el mismo cálculo, pero para la etapa de tapado

Cálculo del volumen necesario para el subsistema de tapado

$$VolumenT = CarreraT * (AreaAvanceT + AreaRetrocesoT)$$

$$VolumenT = 1.48 \times 10^{-3} [m^3]$$

Cálculo del consumo del subsistema de tapado

$$ConsumoT = PresionBar * VolumenT$$

$$ConsumoT = 8.88 \times 10^{-3} [m^3]$$

Cálculo del CFM necesario del subsistema

$$CFM_T = cpm * ConsumoT$$

$$CFM_T = 0.078 \left[\frac{ft^3}{min} \right]$$

Con el cálculo del CFM necesario de cada etapa ahora se procede a calcular el CFM total del sistema, sin olvidar que el cálculo realizado para el subsistema de tapado es de un pistón neumático y este cuenta con dos

$$CFM_{Total} = CFM_L + 2CFM_T$$

$$CFM_{Total} = 0.282 \left[\frac{ft^3}{min} \right]$$

El valor de CFM obtenido es relativamente bajo, esto debido a que el sistema no realiza ni un ciclo completo por minuto este debido al tiempo que se requiere para llenar la botella con cerveza, y también debido a los pocos componentes activos del sistema neumático

El compresor posee un CFM de 3,9 que es mucho mayor al requerido por el equipo por lo que no se tendrá ningún problema durante el funcionamiento.

Selección de válvulas. Para la selección de las electroválvulas solenoides se seleccionó del tipo monoestable de 5/2 vías, dado que se tiene únicamente cilindros neumáticos como actuador además de que estos solo se requieren se controlados en el

momento de extensión del cilindro manteniéndolo fuera hasta que se hallan llenado por completo las botellas, dados estos requerimientos simples se procese con la selección de estas válvulas

Para accionamiento eléctrico se requiere válvulas compatibles con 24 VDC, con un caudal nominal normal de 750l/min y presión de funcionamiento de 2-10 bar y con reposición del tipo muelle mecánico, las válvulas Festo MFH-5-1/8-B son ideales para la aplicación del proyecto

Figura 46

Válvulas solenoides 5/2 monoestables Festo






Nota. Foto extraída de la web del fabricante (Festo, s.f.)

Unidad de Mantenimiento. Para la selección de la unidad de mantenimiento del sistema se tomó como base los requerimientos de la norma ISO 8573-1:2010, en ese caso se cuenta con una aplicación estándar de sistema neumático el cual requiere un aire de calidad 7:4:4 que hace referencia a las partículas, agua y aceite que se pueden encontrar en el aire.

Figura 47

Calidad de aire neumático según norma ISO 8573-1:2010

| ISO 8573-1:2010 Clase | Partículas sólidas  | | | Agua  | | Aceite  | |
|--------------------------|--|------------|-----------|---|--|--|---|
| | Cantidad máxima de partículas por m ³ | | | Concentración de masa | Punto de condensación bajo presión Vapor | Líquido | Contenido total de aceite (líquido, aerosol y niebla) |
| | 0,1 – 0,5 µm | 0,5 – 1 µm | 1 – 5 µm | mg/m ³ | °C | g/m ³ | mg/m ³ |
| 0 | Según la definición del usuario del equipo, pureza mayor a la que se exige en la clase 1 | | | | | | |
| 1 | ≤ 20.000 | ≤ 400 | ≤ 10 | – | ≤ -70 | – | 0,01 |
| 2 | ≤ 400.000 | ≤ 6.000 | ≤ 100 | – | ≤ -40 | – | 0,1 |
| 3 | – | ≤ 90.000 | ≤ 1.000 | – | ≤ -20 | – | 1 |
| 4 | – | – | ≤ 10.000 | – | ≤ +3 | – | 5 |
| 5 | – | – | ≤ 100.000 | – | ≤ +7 | – | – |
| 6 | – | – | – | ≤ 5 | ≤ +10 | – | – |
| 7 | – | – | – | 5 – 10 | – | ≤ 0,5 | – |
| 8 | – | – | – | – | – | 0,5 – 5 | – |
| 9 | – | – | – | – | – | 5 – 10 | – |
| X | – | – | – | > 10 | – | > 10 | > 10 |

Nota. Para la aplicación en uso un aire de clase 7 es el indicado, obtenido de (Festo, s.f.)

- Partículas, para esta parte se requerirá de un filtro de 40 micras que asegure la calidad de aire de ISO clase 7
- Agua, este apartado viene dado por el contenido de agua en el aire enviado por el compresor, se requiere únicamente mantenimiento adecuado del compresor y purgado para llegar a la calidad ISO clase 4
- Aceite, para esta aplicación se ha optado por obviar la lubricación del aire mediante aceite, esto con el fin de evitar contaminación del producto y ya que al ser un sistema que cuenta con válvulas auto lubricadas y de muy corto trayecto a realizar por el aire no se verá afectado el correcto funcionamiento del sistema

Con los requerimientos de filtración necesario para la aplicación y tomando en cuenta la presión de trabajo que será de 6 bares, se procedió a la búsqueda en el mercado local de una

unidad que satisfaga todas las necesidades del proyecto, la cual es una unidad de la marca FORWARD de tipo OFR – G1/4, esta unidad cuenta con la fase de regulación y filtración, un manómetro y sistema de purga de la unidad

Figura 48

Unidad de mantenimiento FORWARD



Nota. Imagen extraída de la web del distribuidor (Unitech, s.f.)

Tabla 8

Especificaciones técnicas de las Unidad de mantenimiento del sistema

| Especificación | Valor |
|--------------------------------|-------------------------|
| Eficiencia de filtrado | 40 µm |
| Presión de trabajo | 0,05 ~ 1,2 MPa (12 bar) |
| Rango de regulación de presión | 0,05 ~ 0,7 Mpa (7 bar) |
| Tipo de conexión | G1/4 |
| Temperatura de trabajo | 0 ~ 60 °C |
| Qn NI/min | 1200 (1/4") |

Nota. Especificaciones extraídas de la web del distribuidor (Unitech, s.f.)


Manguera y accesorios. Para la selección de manguera, se tomará en cuenta que este soporte la presión del sistema y que el diámetro de la misma sea capaz de manejar el caudal de aire necesario para la el funcionamiento de la máquina, además se tomará en cuenta otros aspectos como su material de construcción para maniobrabilidad y su compatibilidad con racores rápidos (QS).

La maguera seleccionada es una de medida estándar de 8mm de poliuretano que soporta hasta 10 bares de presión

Figura 49

Manguera neumática

Tubo de plástico PUN



| Condiciones de funcionamiento y del entorno | | | | | |
|--|-------|---|-------|-------|-------|
| Código de producto | | PUN-3 | PUN-4 | PUN-6 | PUN-8 |
| Diámetro exterior | [mm] | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Conexión neumática | | | | | |
| Para racor de conexión | [mm] | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Para boquilla estriada | [mm] | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Para boquilla estriada con tuerca de unión | [mm] | – | 3 | 4 | 6 |
| Presión de funcionamiento en función de la temperatura | [MPa] | –0,095 ... +1 → Gráfico | | | |
| | [bar] | –0,95 ... +10 | | | |
| | [psi] | –13.775 ... +145 | | | |
| Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura | [MPa] | –0,095 ... +0,7 | | | |
| | [bar] | –0,95 ... +7 | | | |
| | [psi] | –13.775 ... +101,5 | | | |
| Fluido de funcionamiento | | Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:–:–] | | | |
| Temperatura ambiente | [°C] | –35 ... +60 | | | |
| Prueba de inflamabilidad del material | | UL94 HB | | | |
| Certificación | | TÜV | | | |
| Organismo que expide el certificado | | B 013277 0506 00 | | | |
| Características de los tubos flexibles | | Apropiado para cadenas de arrastre | | | |

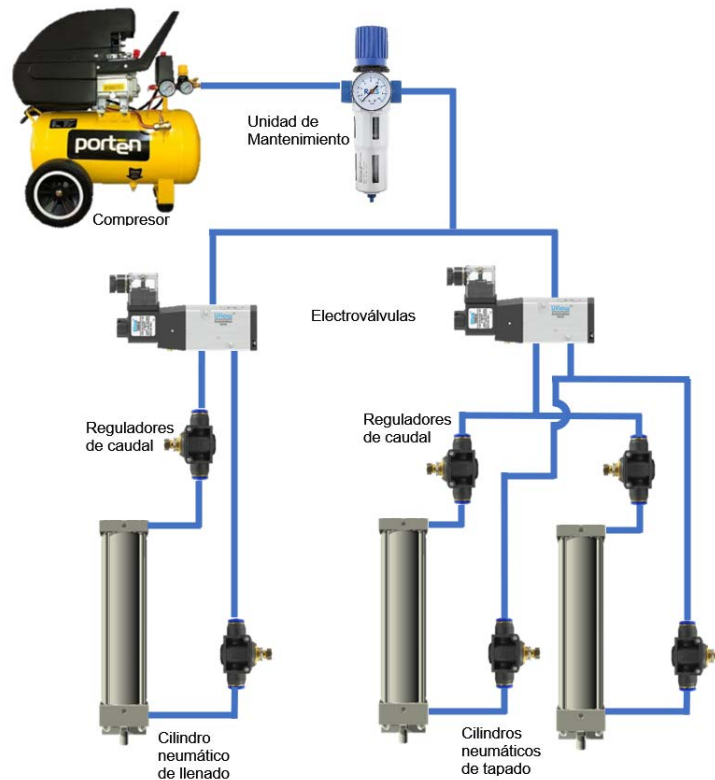
Nota. Obtenido de la web del fabricante (Festo, s.f.)

Además, para el correcto funcionamiento del sistema se requiere de reguladores de caudal para cada cilindro neumático del sistema, estos nos ayudan al control de velocidad en salida y retorno del cilindro y en la etapa de tapado a la sincronización de ambos pistones.

Finalmente, el sistema requiere de múltiples racores rápidos (QS) para las conexiones entre la unidad de mantenimiento, las válvulas y los cilindros neumáticos.

Figura 50

Diagrama del sistema neumático



Nota: Realizado por los autores

Diseño Mecánico

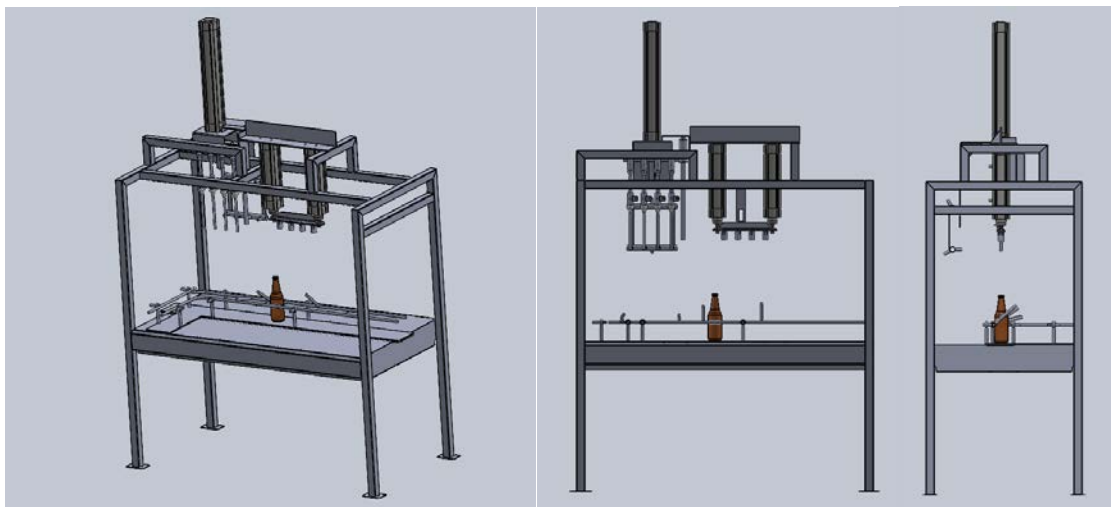
Para el diseño mecánico de la embotelladora se llevó a cabo en base a los resultados de selección de materiales en este caso acero inoxidable y apoyado con el modelamiento CAD de la estructura de la máquina embotelladora, este modelo contempla cada subsistema de la máquina, vías de llenado, soportes de pistones, coronas de tapado etc., con el software completo se utilizando métodos de elementos finitos con software CAD/CAE, el modelo contiene las dimensiones exactas y los mecanismos de sujeción entre ellas.

La estructura de la máquina embotelladora se diseñó usando perfiles y tubos de acero inoxidable de medidas estándar disponibles en el mercado local y en su mayoría unidos mediante el proceso de soldadura TIG, se diseñaron estructuras simétricas para vías de

llenado y tapado donde la distribución de estas mantiene la misma distancia y simetría en cuanto a aplicación de la fuerza de los pistones.

Figura 51

Modelado CAD de la máquina embotelladora.



Nota. El modelo fue realizado en el software SolidWorks

La máquina embotelladora en su totalidad estructural se encuentra realizada en acero inoxidable AISI 304, la estructura principal de soporte de la máquina esta realizada en tubo cuadrado de 1 y ½ pulgadas con 2mm de espesor y la mesa con una plancha de 1.5mm de espesor, para las secciones de mayor carga de la máquina como son los subsistemas de llenado y tapado se escogieron perfiles en L y su espesor fue definido mediante aplicación de métodos iterativos en simulación de elementos finitos, verificando que los valores de esfuerzos y deformación satisfagan las necesidades.

Se utilizó mallado fino tipo Blended Curvature Mesh en todos los casos para poder mallar correctamente tanto los elementos estructurales tipo viga o columna como los elementos compuestos por placas con perforaciones. Se realizaron varias simplificaciones al modelo, eliminando los componentes que no resisten cargas significantes para reducir el tiempo de corrida de las simulaciones y errores de singularidades en el mallado.

Bastidor. Como resultado de los estudios mediante simulación se obtuvieron los siguientes gráficos, que muestran los esfuerzos, deflexiones y el factor de seguridad del bastidor o estructura general de la máquina, como criterio se utilizó Von Mises ya que en su mayoría las diferentes partes se encuentran sometidas a tensión y a esfuerzos normales, para las simulaciones se consideró que la máquina se encuentra asentada en el suelo.

Figura 52

Análisis de esfuerzos en elementos solidos del bastidor

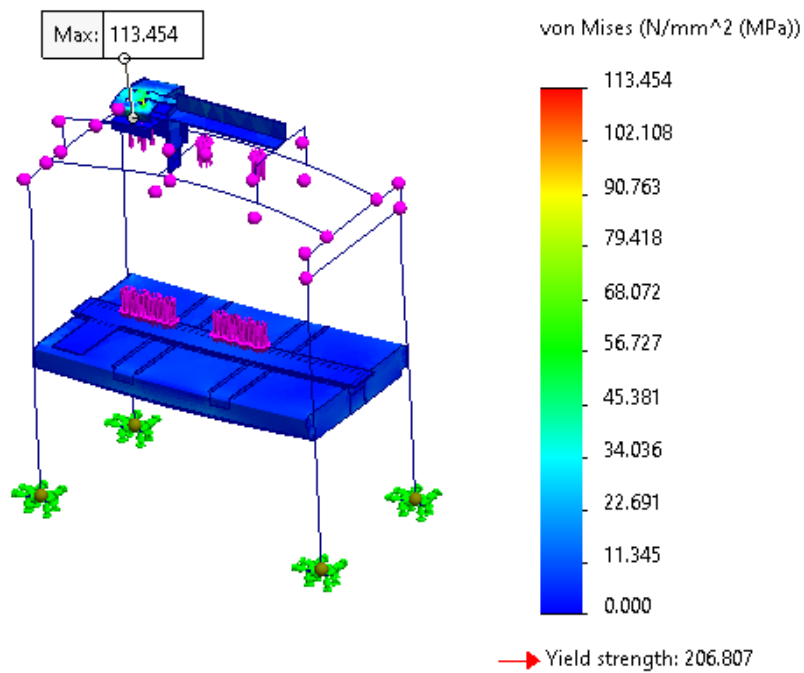


Figura 53

Análisis de esfuerzos en vigas/columnas del bastidor

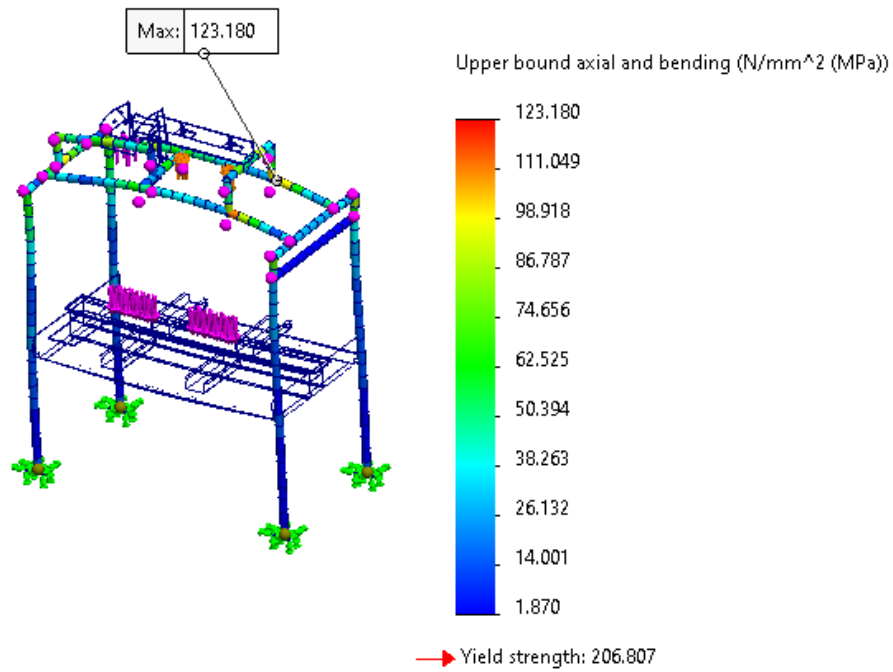
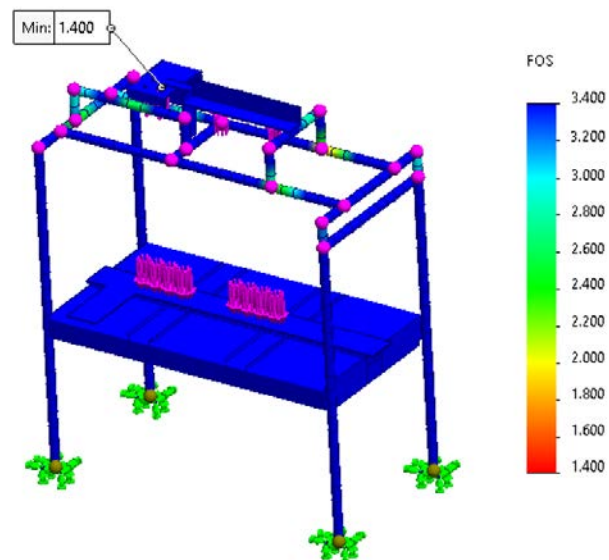


Figura 54

Análisis de factor de seguridad del bastidor



Figura

Análisis de deflexiones del bastidor

Figura 55

Análisis de deflexiones del bastidor

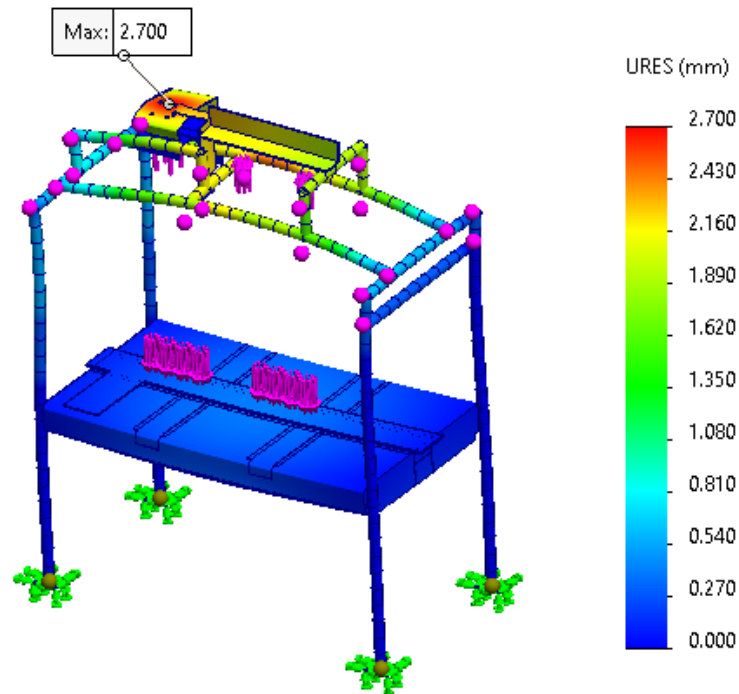


Tabla 9

Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del bastidor

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|-------------|
| Esfuerzo máximo | 113.454 MPa |
| Esfuerzo en viga máximo | 123.180 MPa |
| Deflexión máxima | 2.7 mm |
| Factor de seguridad mínimo | 1.4 |

Los resultados obtenidos de los estudios de elementos finitos mediante simulación permiten asegurar que la estructura de la máquina embotelladora soportará las cargas a las que se encontrará sometido durante la operación de la máquina embotelladora, el factor de seguridad supera a 1, los valores de esfuerzo máximo de 113,45 MPa son menores al valor de

limite elástico del acero AISI 304 que oscila los 460 MPa y la deflexión máxima presentada es de 2.7mm que es menor al valor admisible de L/360 dado por (AISC, 1967) The American Institute of Steel Construction, que especifica esta relación como la deflexión máxima que se debe presentar en vigas con cargas aplicadas, el largo total de la máquina es de 2400mm por que la deflexión máxima admisible es de 6.67mm para este caso se tiene una deflexión máxima de 2.7mm concluyendo que el ancho y espesor del tubo cuadrado estructural seleccionado es el correcto.

Soporte cilindro de llenado. Para el análisis del soporte del cilindro neumático del subsistema de llenado se realizará el mismo proceso realizado para el bastidor de la máquina en este caso excluyendo las fuerzas generadas por el subsistema de tapado, de igual manera para las simulaciones se considera que la máquina se encuentra apoyada en el suelo.

Figura 56

Análisis de esfuerzos en elementos sólidos del subsistema de llenado

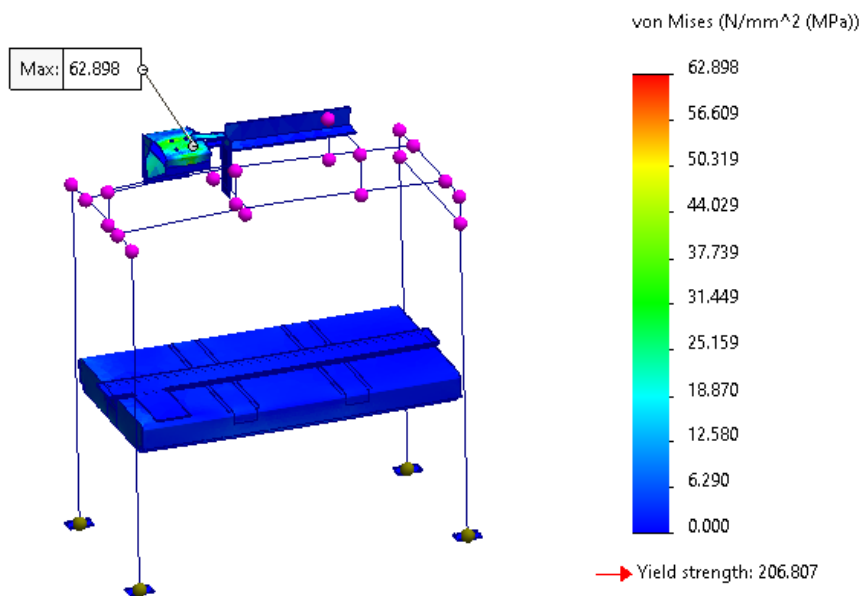


Figura 57

Análisis de esfuerzos en elementos tipo viga/columna del subsistema de llenado

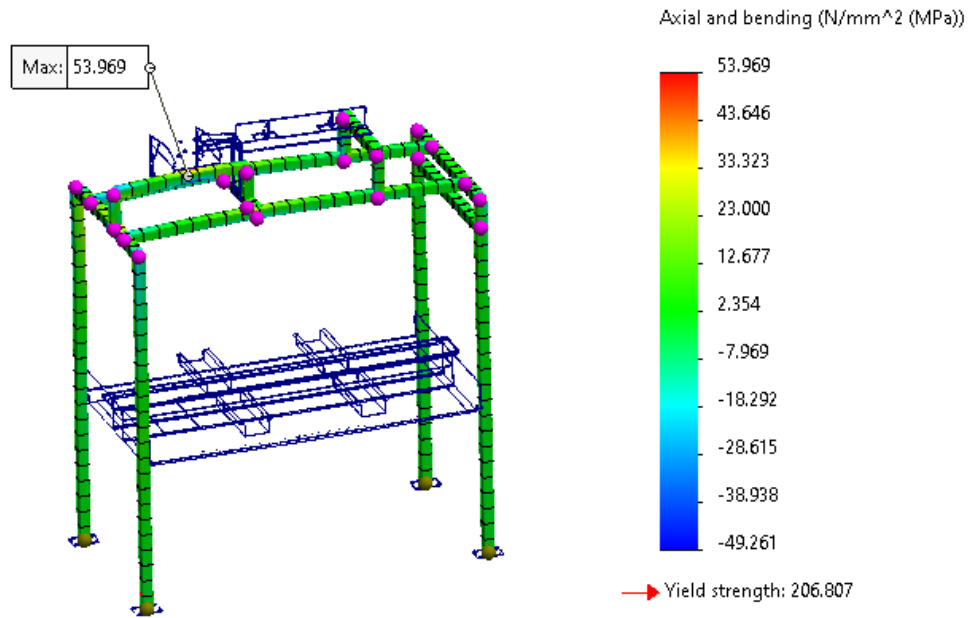


Figura 58

Análisis de factor de seguridad en el del subsistema de llenado

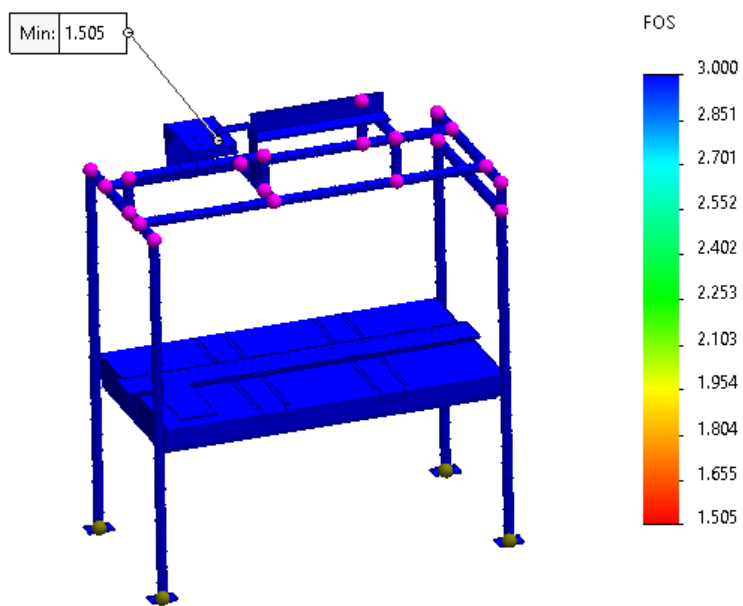


Figura 59

Análisis de deflexión del subsistema de llenado

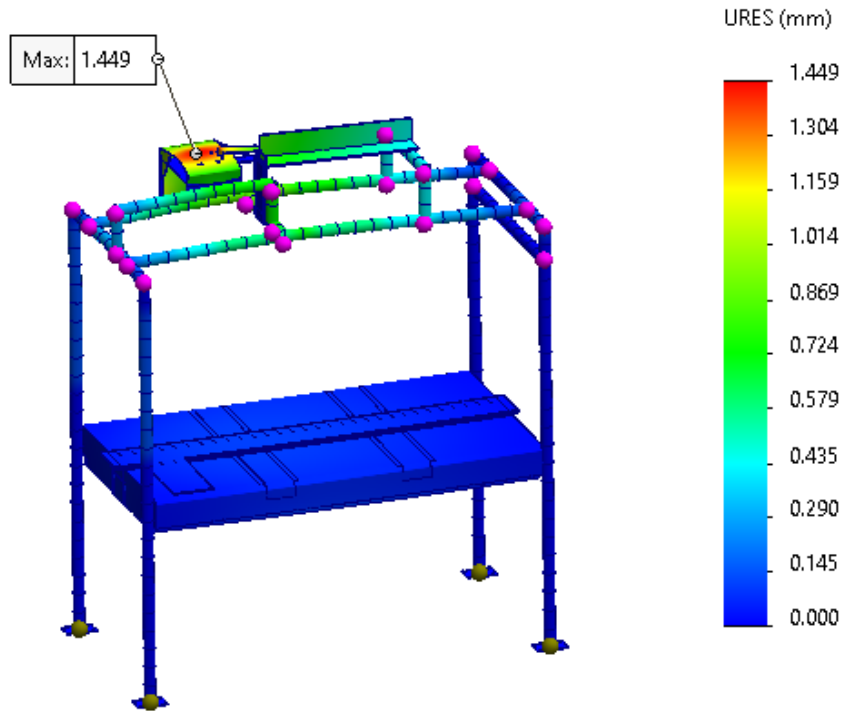


Tabla 10

Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del soporte de cilindro del subsistema de llenado

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|--------------|
| Esfuerzo máximo | 62.898 MPa |
| Esfuerzo en viga máximo | 53.969 MPa |
| Deflexión máxima | 1.449 mm |
| Factor de seguridad mínimo | 1.505 |

Para este de igual manera los valores de esfuerzos encontramos no superar el límite elástico del acero inoxidable, también nos encontramos con un factor de seguridad mayor a la unidad y la deflexión máxima hallada mediante la simulación es admisible ya que esta es despreciable por su ínfimo valor y no afecta al correcto funcionamiento del subsistema, por lo

que se concluye que el espesor de 5mm de la placa que hace de soporte es correcto y con el fin de evitar mayores deformaciones durante la construcción se agregaran un ángulo de acero inoxidable soldado para brindarle más rigidez a la estructura.

Soporte cilindro de tapado. Para el análisis del soporte del cilindro neumático del subsistema de tapado se realizará el mismo proceso realizado para el bastidor de la máquina en este caso excluyendo las fuerzas generadas por el subsistema de llenado, de igual manera para las simulaciones se considera que la máquina se encuentra apoyada en el suelo.

Figura 60

Análisis de esfuerzos en elementos sólidos del subsistema de tapado

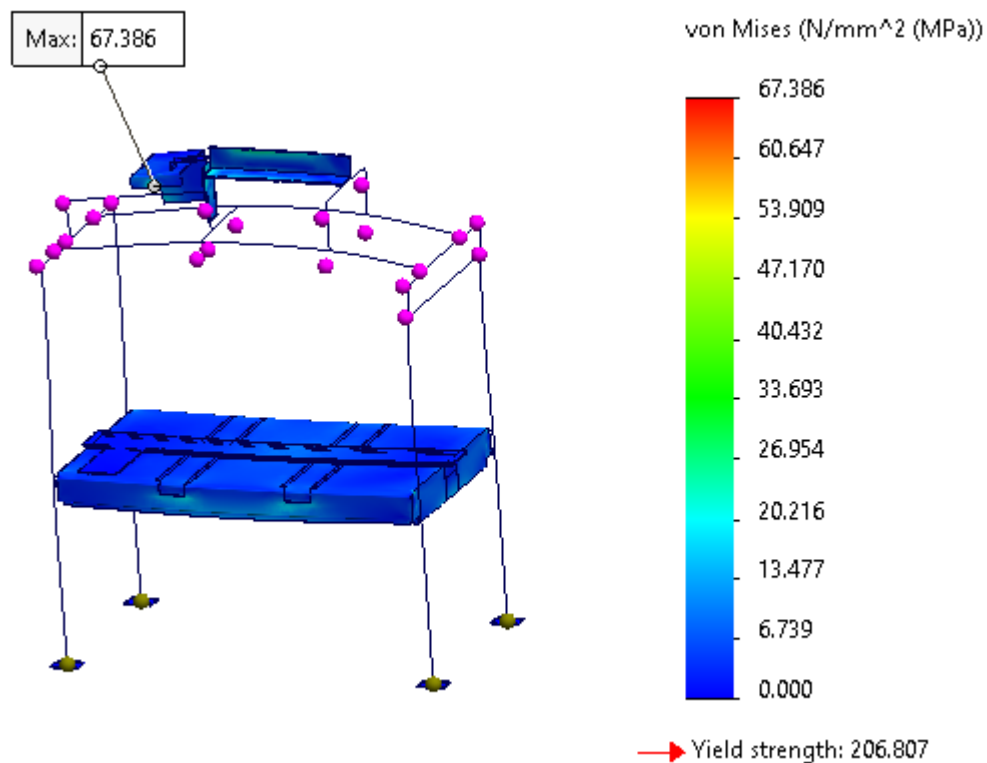


Figura 61

Análisis de esfuerzos en elementos tipo viga/columna del subsistema de tapado

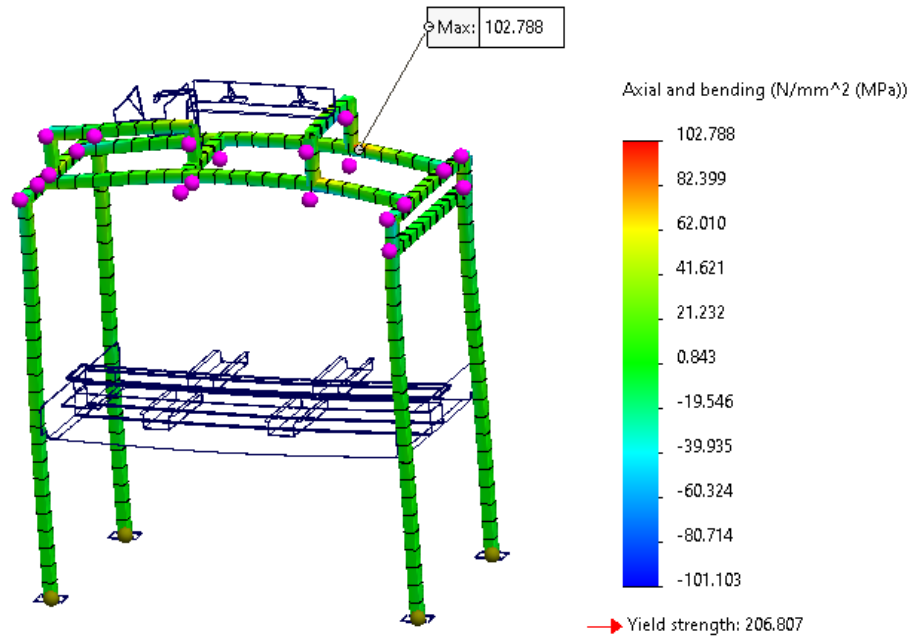


Figura 62

Análisis de factor de seguridad del subsistema de tapado

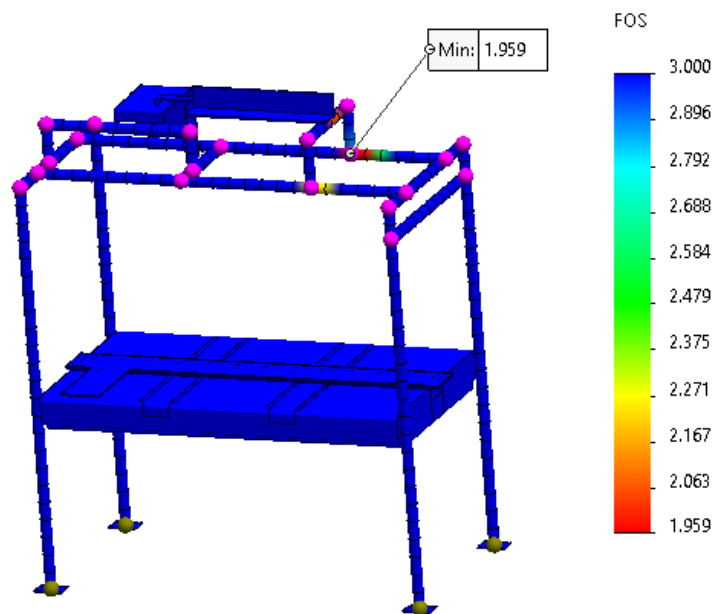


Figura 63

Análisis de deflexiones del subsistema de tapado

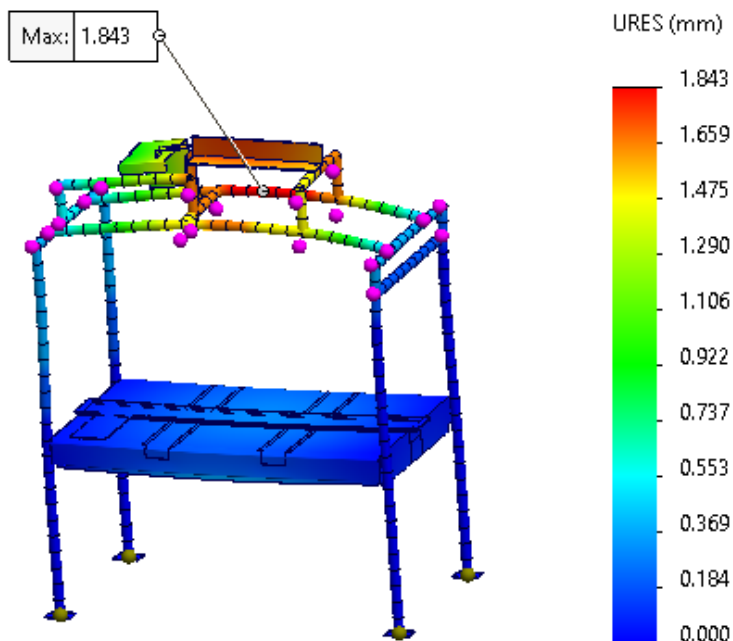


Tabla 11

Resumen de parámetros obtenidos en el estudio de elementos finitos del soporte de los cilindros del subsistema de tapado

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|--------------|
| Esfuerzo máximo | 67.386 MPa |
| Esfuerzo en viga máximo | 102.788 MPa |
| Deflexión máxima | 1.843 mm |
| Factor de seguridad mínimo | 1.959 |

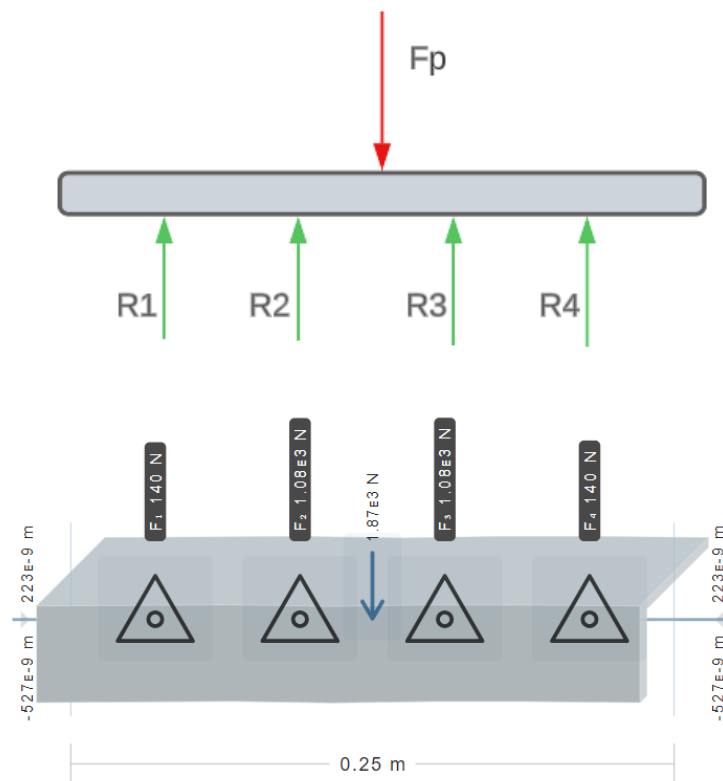
Para este de igual manera los valores de esfuerzos encontramos no superar el límite elástico del acero inoxidable, también nos encontramos con un factor de seguridad mayor a la unidad en este caso de 1.95 y la deflexión máxima hallada mediante la simulación es admisible ya que esta es despreciable por su ínfimo valor y no afecta al correcto funcionamiento del subsistema, por lo que se concluye que el espesor de 6mm del perfil en forma de L que hace

de soporte es correcto, en este caso se optó por un perfil y no una placa para brindarle mayor rigidez al soporte ya que este tiene que soportar la carga de dos cilindros neumáticos.

Soporte de vías de llenado. Para el caso del soporte de las vías del llenado se plantea el uso de un perfil tipo L de 40x40x4mm en el cual se encuentran las fuerzas distribuidas como se nota en la Figura 64 el diagrama se conforma por la fuerza impartida por el pistón y las reacciones del cuello de cada botella donde se asienta la vía de llenado.

Figura 64

Distribución de fuerzas en el soporte de las vías de llenado



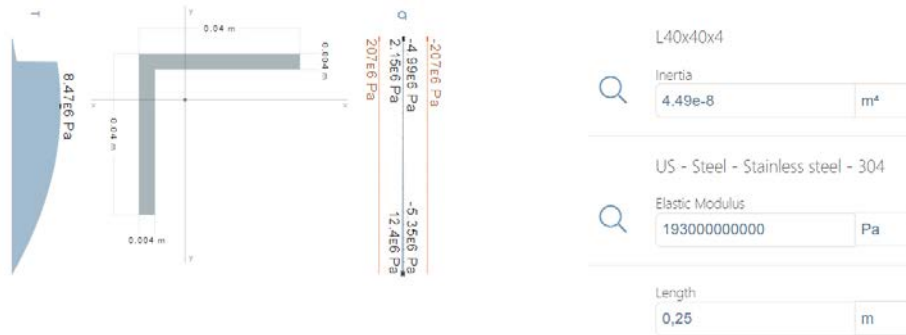
Nota. La fuerza F_p corresponde a la fuerza que aplica el cilindro neumático ya previamente calculado.

La viga es de 25cm de extensión y la distribución de las fuerzas es de 6cm entre cada una y 3.5cm en su inicio, la fuerza aplicada del cilindro se encuentra en la mitad a 12.5cm, con

la distribución de fuerzas, se procede a sacar el diagrama de fuerzas cortantes, momentos y deflexiones máximas, apoyados del método de vigas mediante software.

Figura 65

Definición de parámetros estructurales y propiedades del material del soporte

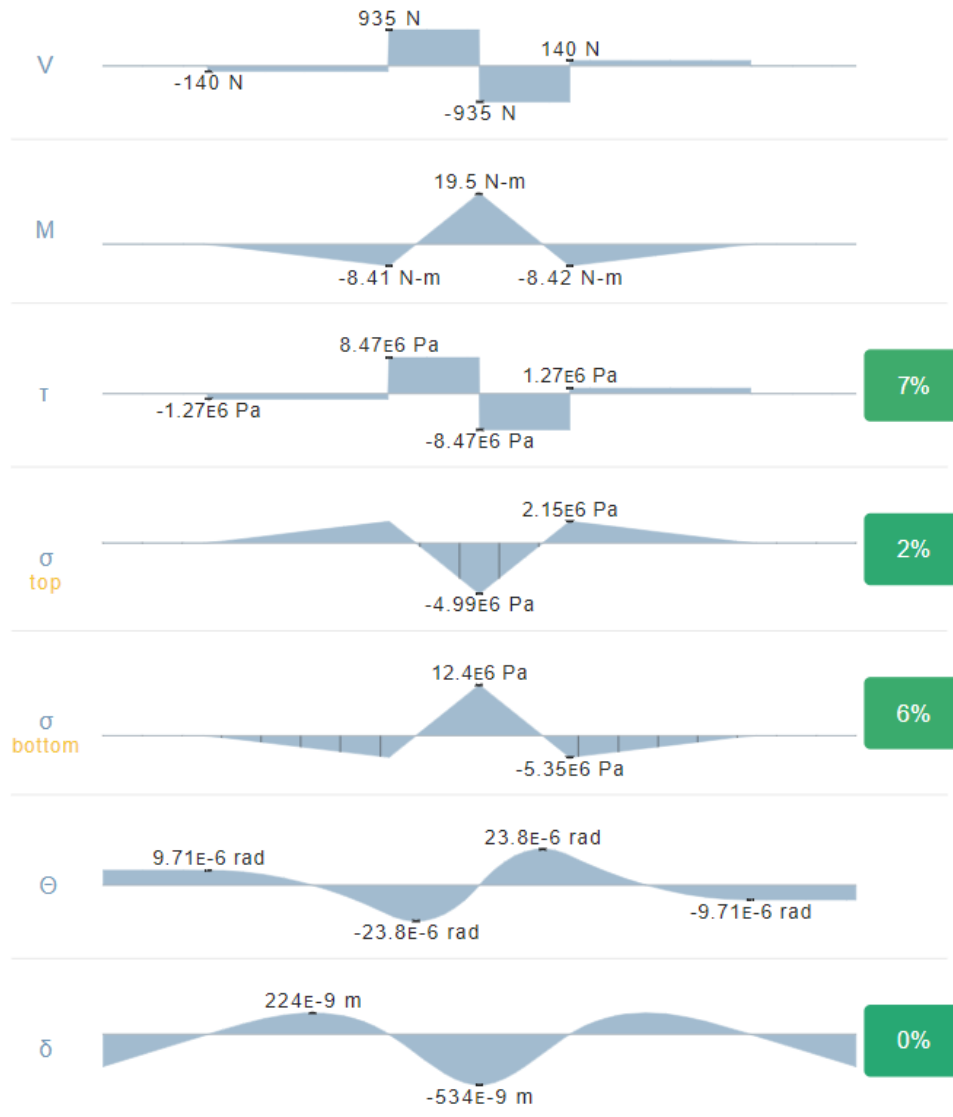


Nota. Realizado en el software Deflection

Para el análisis se considera una carga que sería la fuerza generada por el cilindro y 4 reacciones de cada botella, para este análisis se discriminará el peso de los elementos esto debido a que durante el momento de mayor esfuerzo las fuerzas aplicación son 10 veces mayores al peso y no influyen en un posible fallo o deformación del perfil.

Figura 66

Resultados del análisis estático del soporte de vías de llenado



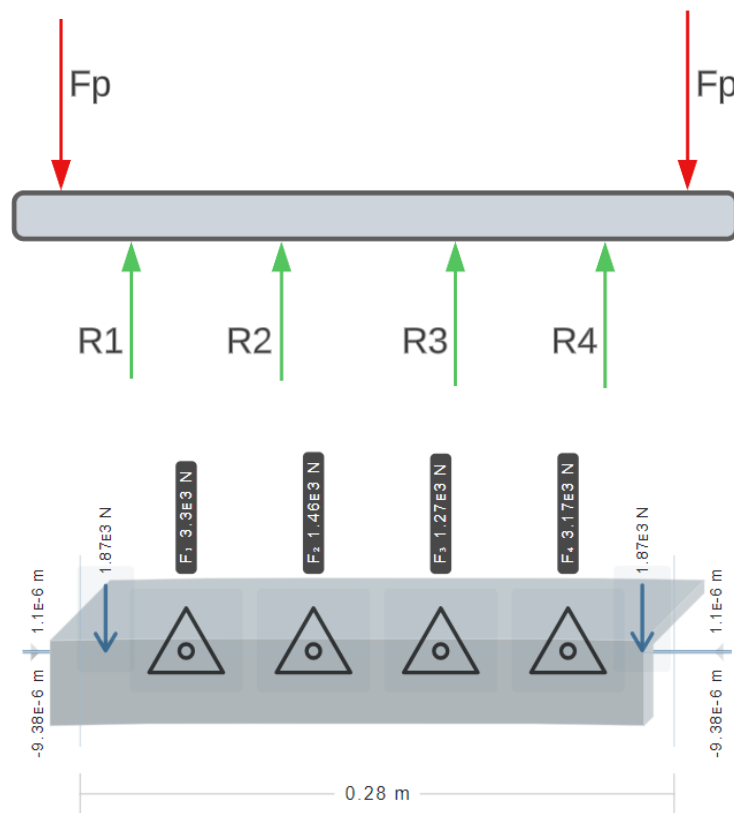
Nota. Realizado en el software Deflection

Con los resultados del análisis se comprueba que los esfuerzos generados en el perfil no superan el límite elástico del material, en este caso 12.4 MPa como esfuerzo máximo y además los valores de deflexión y torsión máxima son ínfimos por lo que se determina que el perfil $40\times 40\times 4$ elegido es el correcto y funcional para la aplicación.

Soporte de coronas de tapado. Para el caso del soporte de las coronas de tapado se realiza el mismo proceso anterior y de igual manera se plantea el uso de un perfil tipo L pero de mayores dimensiones, en este caso de 40x40x6mm en el cual se encuentran las fuerzas distribuidas como se nota en la Figura 67 el diagrama se conforma de la fuerza impartida por los pistones y las reacciones del cuello de cada botella donde se asienta el tillo para el tapado.

Figura 67

Distribución de fuerzas en el soporte de las coronas de tapado



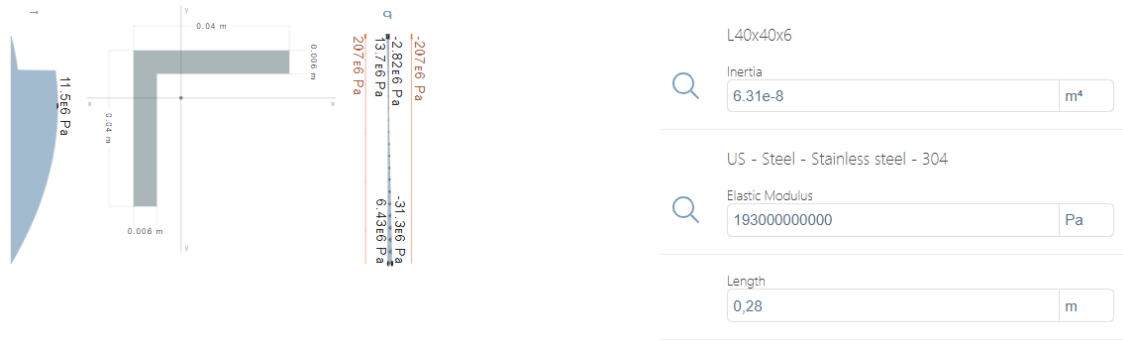
Nota. La fuerza F_p corresponde a la fuerza que aplica el cilindro neumático ya previamente calculado

La viga es de 28cm de extensión y la distribución de las fuerzas es de 6cm entre cada una y 5cm en su inicio, la fuerza aplicada de los cilindros se encuentra en los extremos de la

viga a 2cm del borde y 24cm entre sí, se procede a sacar el diagrama de fuerzas cortantes, momentos y deflexiones máximas, apoyados del método de vigas mediante software

Figura 68

Definición de parámetros estructurales y propiedades del material del soporte

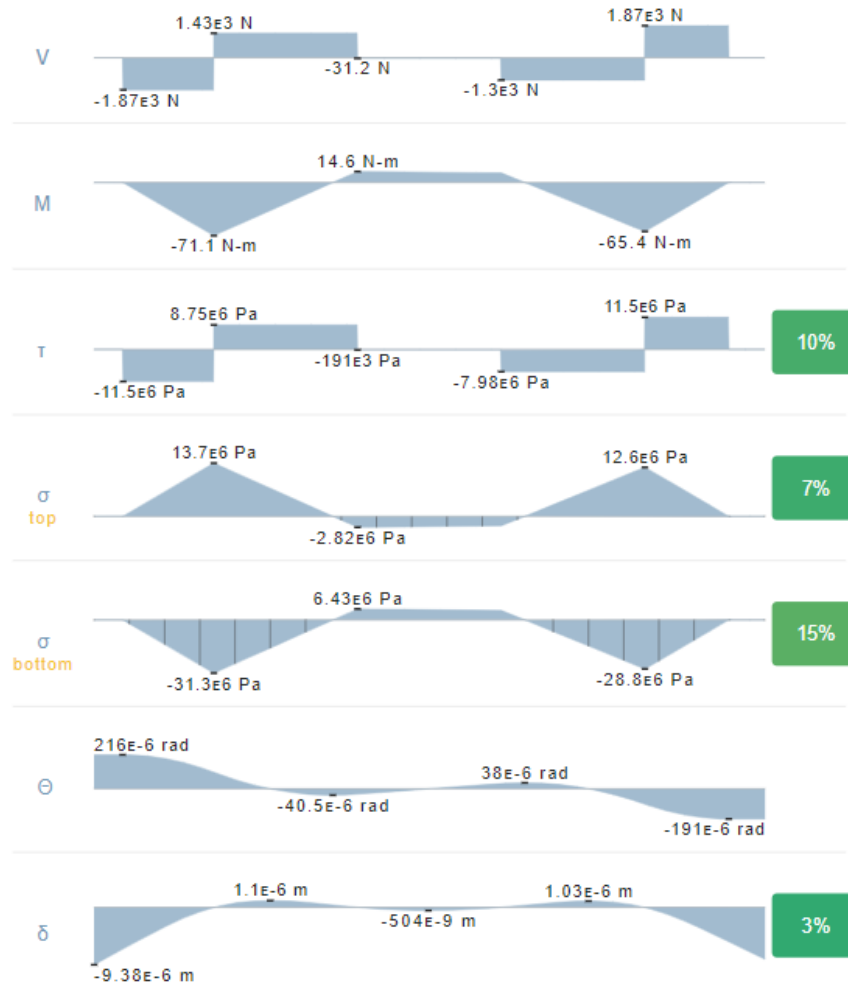


Nota. Realizado en el software Deflection

Para el análisis se considera una carga que sería la fuerza generada por los dos cilindros y 4 reacciones de cada botella, para este análisis se discriminará el peso de los elementos esto debido a que durante el momento de mayor esfuerzo las fuerzas aplicación son 10 veces mayores al peso y no influyen en un posible fallo o deformación del perfil

Figura 69

Resultados del análisis estático del soporte de coronas de tapado



Nota: Realizado en el software Defelction.

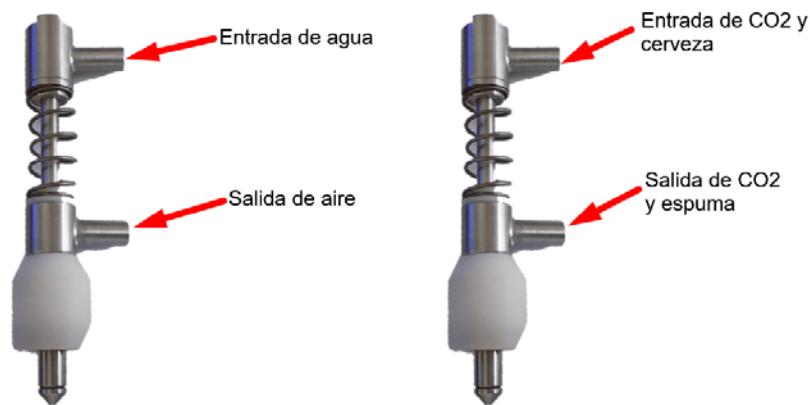
Con los resultados del análisis se comprueba que los esfuerzos generados en el perfil no superan el límite elástico del material, en este caso 11.5 MPa como esfuerzo máximo y además los valores de deflexión y torsión máxima son ínfimos por lo que se determina que el perfil 40x40x6 elegido es el correcto y funcional para la aplicación.

Diseño de vías de llenado. Para el diseño de las vías de llenado dado la difícil obtención de una vía como tal dentro del mercado local y la complicación que se podría dar en la importación de este componente desde el extranjero se optó por otra alternativa más

sencilla, que es la utilización de una vía de llenado de agua como modelo para realizar ingeniería inversa de su construcción y funcionamiento, adaptando los diámetros de esta para una botella de 300ml, la construcción de las 4 vías de llenado se realizaría con procesos de torneado y con acero inoxidable AISI 304.

Figura 70

Funcionamiento de la vía de llenado para agua vs funcionamiento adaptado



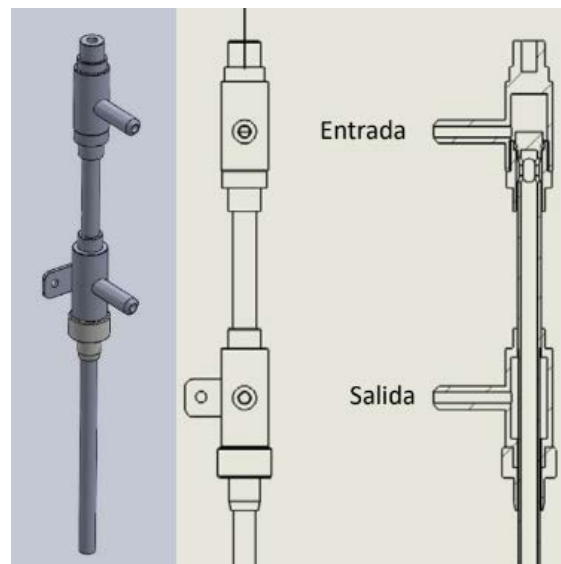
Nota. A la derecha el sistema actual, a la izquierda la opción modificada deseada

Para la modificación de esta válvula primero se realizó el estudio y despiece de la válvula para agua para comprender su funcionamiento y mecanismo, con esto mente se procedió con la consideración de aspectos necesarios para la aplicación, como el diámetro del tubo de llenado el mismo será reducido para sea compatible con las botellas de 300ml que es de 18mm, la longitud del tubo de llenado será extendida esto ya que la cerveza es recomendable ser llenada desde el fondo de la botella para evitar la generación de espuma a 20cm, adicionalmente se mantendrán las juntas plásticas de duralón como es el caso para evitar el choque directo entre el vidrio de las botellas y el acero de las vías de llenado para que este no pueda verse lastimado o roto, dado que se va a trabajar con gas (CO₂), en la punta de las vías de llenado se agregara un empaque de silicona que haga de junta y selle

herméticamente el proceso, finalmente el material de construcción se mantendrá en acero inoxidable y el método de construcción será máquina mediante torno.

Figura 71

Diseño modificado de vía de llenado

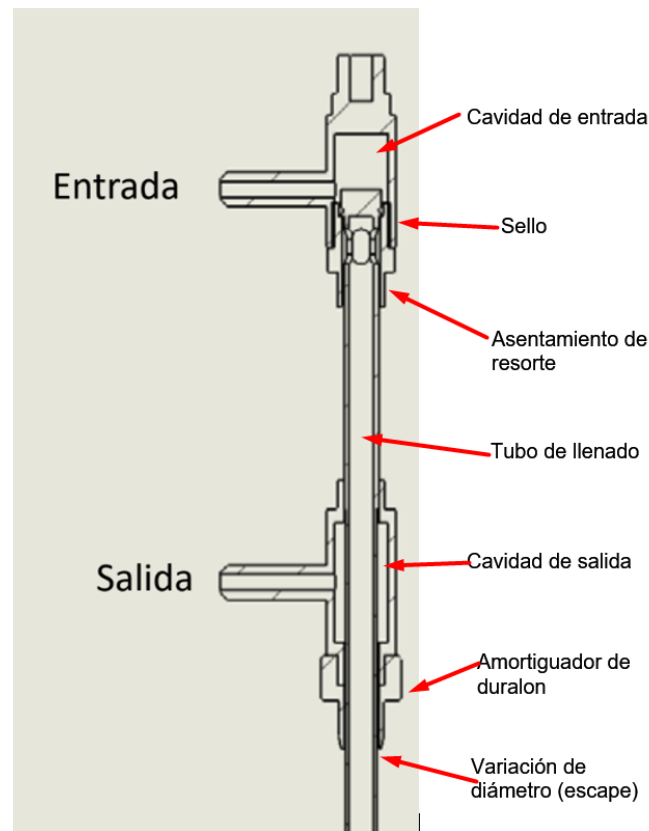


Nota. Se incluyó un roscado superior para fijación

La válvula cuenta con un mecanismo de apertura mecánico, cuando el pistón se extiende y la vía es presionada contra el cuello de una botella, dentro de la válvula sube el tubo de llenado principal que libera la entrada de cerveza, permitiendo el flujo, caso contrario si el pistón retorna, el sistema retorna a su posición mediante un resorte y se obstruye el paso de la entrada, en el caso del funcionamiento del escape este posee un diámetro apenas mayor que el tubo de llenado por lo que permite el escape de CO₂ al momento del ingreso de la cerveza a presión, las conexiones para este sistema fueron soldadas mediante el proceso TIG, finalmente el nuevo diseño también incluye una pequeña pestaña para alineación de las 4 vías de llenado.

Figura 72

Partes de vía de llenado modificada



Nota. El material del resorte también es acero inoxidable AISI 304

La válvula diseñada mantiene el principio de funcionamiento de la válvula original, además el funcionamiento se asemeja a los sistemas de llenado manuales vistos anteriormente, por lo que el sistema diseñado es ideal para el proyecto y soluciona los requerimientos de una vía de llenado para cerveza.

Diseño eléctrico y sistema de control

Sistema en general. En esta sección comprende el diseño de sistema eléctrico y de control para el mando de los actuadores neumáticos y electroválvulas para el funcionamiento manual y automático de la embotelladora de cerveza artesanal.

Se debe tomar en cuenta que la empresa auspiciante proporcionó los siguientes equipos, dado este caso no se realizó selección externa de componentes solo se comprobó que cumplían con los requerimientos necesarios para la aplicación.

A continuación, se presenta un breve resumen de las características de los componentes proporcionados.

Tabla 12

Componentes proporcionados por la empresa auspiciante

| Componente | Modelo | Características |
|--------------------------|--------------------------|---|
| PLC SIEMENS S7-1200 | AC/DC/RELAY | <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación 120 VAC • Frecuencia de tensión: 60 Hz • Memoria de usuario/trabajo; 75Kb • Valor nominal DC: 24V • Salidas tipo Relé:10 • Entradas analógicas: 2 <ul style="list-style-type: none"> • Interfaz Ethernet • Alimentación DC12V-28DC28V <ul style="list-style-type: none"> • Protección IP65 • Pantalla 7" TFT • Resolución 800x480 px |
| HMI KINCO GL070E | GL070E | <ul style="list-style-type: none"> • CPU ARM-RISC 32bit 800MHz • Memoria 256MB NAND flash <ul style="list-style-type: none"> • Comunicación RS232/RS485/RS422 COM2:RS232 |
| Fuente de 24V SIEMENS | 6ES7212- 1BE40-0 XB00 | <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación 120VAC 60Hz • Valor de salida: 24VDC • Salida máxima: 300mA |

Para el caso del PLC este cuenta con las entradas y salidas necesarias para el proceso a comandar.

Tabla 13*Resumen de entradas y salidas requeridas*

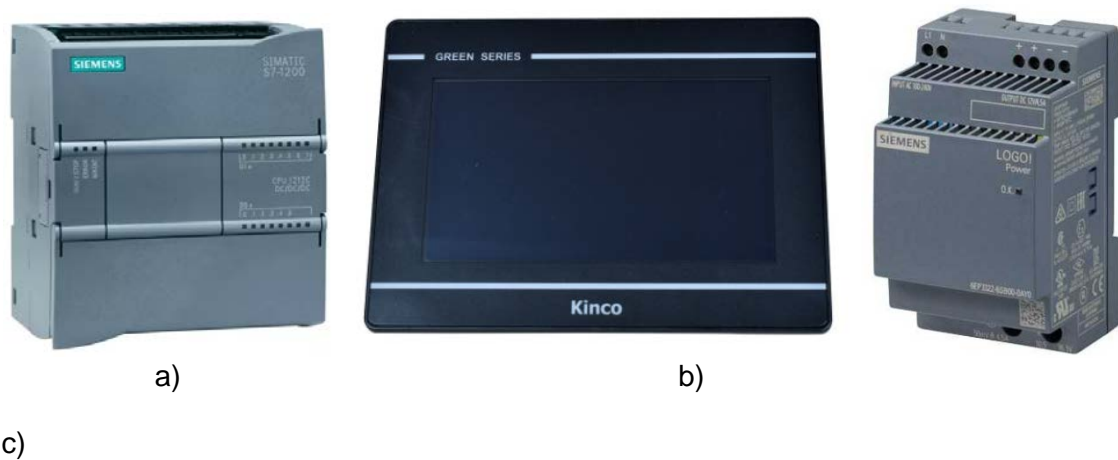
| Ítem | Características |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Pulsador llenado | Entrada, digital 24VDC |
| Pulsador tapado | Entrada, digital 24VDC |
| Sensor llenado | Entrada, señal digital de detección |
| Sensor tapado | Entrada, señal digital de detección |
| Botón de emergencia | Entrada, digital 24VDC |
| Electroválvula cerveza | Salida, tipo relé 24VDC |
| Electroválvula CO2 | Salida, tipo relé 24VDC |
| Válvula solenoide llenado | Salida, tipo relé 24VDC |
| Válvula solenoide tapado | Salida, tipo relé 24VDC |

Dado que se tiene 5 entradas todas de tipo digital y 4 salidas tipo relé se constata que el PLC proporcionado por la empresa es completamente apto para su uso, además de disponer de interfaz de conexión ethernet para comunicación con la HMI.

Para el caso de HMI es compatible en cuanto al tipo de interfaz de comunicación como es ethernet, además de su voltaje de funcionamiento es de 24VDC, finalmente la fuente de 24V del sistema es adecuada para todos los componentes ya que estos fueron elegidos con este voltaje como parámetro.

Figura 73

Componentes del sistema de control entregados por la empresa



Nota. a) PLC Siemens S7-1200, B) HMI KINCO GL070E, C) Fuente de poder 24V Simenes

Sensores. Para los sensores de llenado y de tapado se seleccionaron sensores de reflexión directa mediante tecnología infrarroja, esto para verificar el correcto accionamiento de las estaciones de llenado y tapado, la justificación del uso de este sensor fue de las opciones de más sencilla implementación y resultado óptimo, ya que este será montado en la estructura de la máquina y superficie reflectante sobre los soportes de las vías llenado y coronas de tapado respectivamente, enviando una señal cuando en estas estaciones se encuentren extendido el cilindro neumático de cada una, estos sensores con una tensión de alimentación de 10 a 36VDC por lo que pueden ser usados con la fuente que se tiene de 24VDC, tienen un consumo de corriente menor a 32mA con protección contra inversión de polaridad, con salida de tipo PNP, con un alcance de 1-600mm con protección IP67, con montaje de tipo rosca.

Figura 74

Sensor de reflexión directa.



Nota

Botones de mando. Además del accionamiento a realizar mediante la pantalla HMI se plantea usar pulsadores los cuales se encontrarán montados en una caja en la estructura de la máquina para fácil accionamiento de las estaciones de llenado y tapado, y un botón de emergencia que se encontrar en el tablero de control de la máquina.

Figura 75

Botonera doble



Cables y caja térmica. Dado que los componentes de control que se tienen en el sistema y al no disponer de circuitos de potencia para equipos pesados como motores, el sistema estará limitado mediante la utilización de fusibles, tanto en las líneas de alimentación general como 110V y la línea de alimentación de control 24V esta limitación será de una corriente no máxima a 2 amperios, esto con el fin de salvaguardar los elementos de control del tablero como son el PLC y pantalla HMI, dados sus límites de corriente establecidos en su datasheet, esta limitación a 2A no afecta al consumo de otros elementos como sensores o electroválvulas ya que estos elementos tampoco sobrepasan el umbral de 2A en consumo de corriente.

Finalmente dado la limitación total del sistema a 2A para todo el cableado interno del tablero se ocupará cable calibre 18 según estándar AWG, borneras portas fusibles, borneras de hasta 2A para riel DIN, canaletas plásticas y terminales de tipo puntera para cable de calibre 16-18.

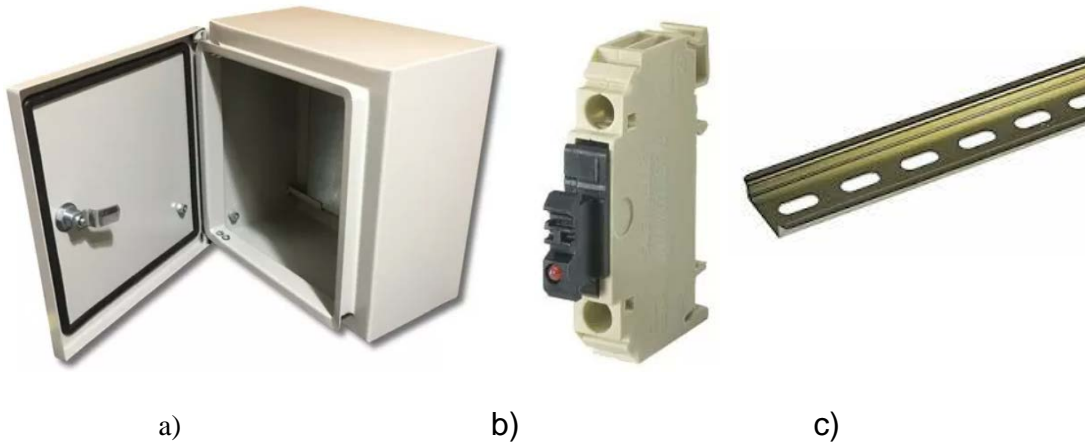
Tabla 14

Características de tablero de control para albergar el sistema eléctrico

| Envolvente | características | Dimensiones | Material |
|-------------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| eléctrico | Caja de control | 300x300x200 | Acero |

Figura 76

Componentes del tablero de control

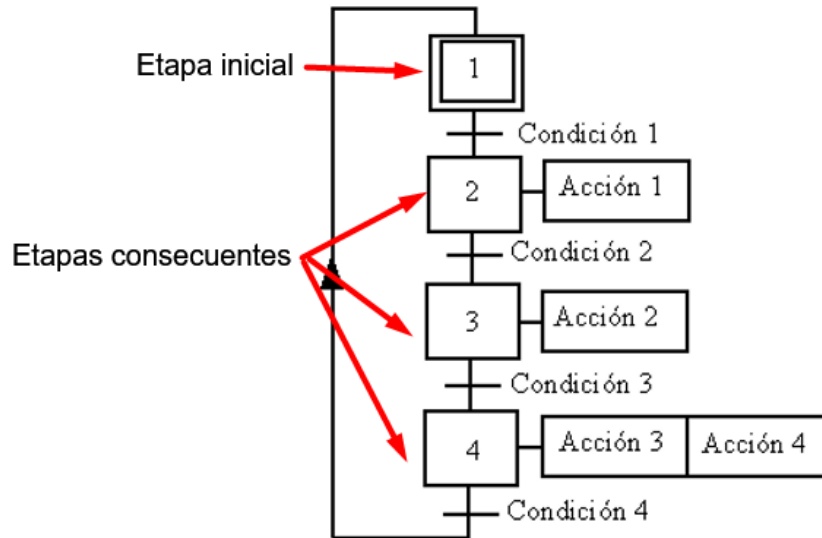


Nota. a) caja de control 30x30x20, b) bornera porta fusibles, c) riel din

Sistema de control. Se programó al PLC mediante la metodología GRAFCET que segmenta los procesos en pequeñas etapas con sus acciones puntuales que conforman el proceso total y condiciones para el cambio entre etapas asegurando el cumplimiento de las acciones correspondientes a cada etapa antes de proseguir con la siguiente, esta metodología es ideal para procesos discretos secuenciales los cuales no cuenten con extensas cadenas de secuencias o varios procesos internos.

Figura 77

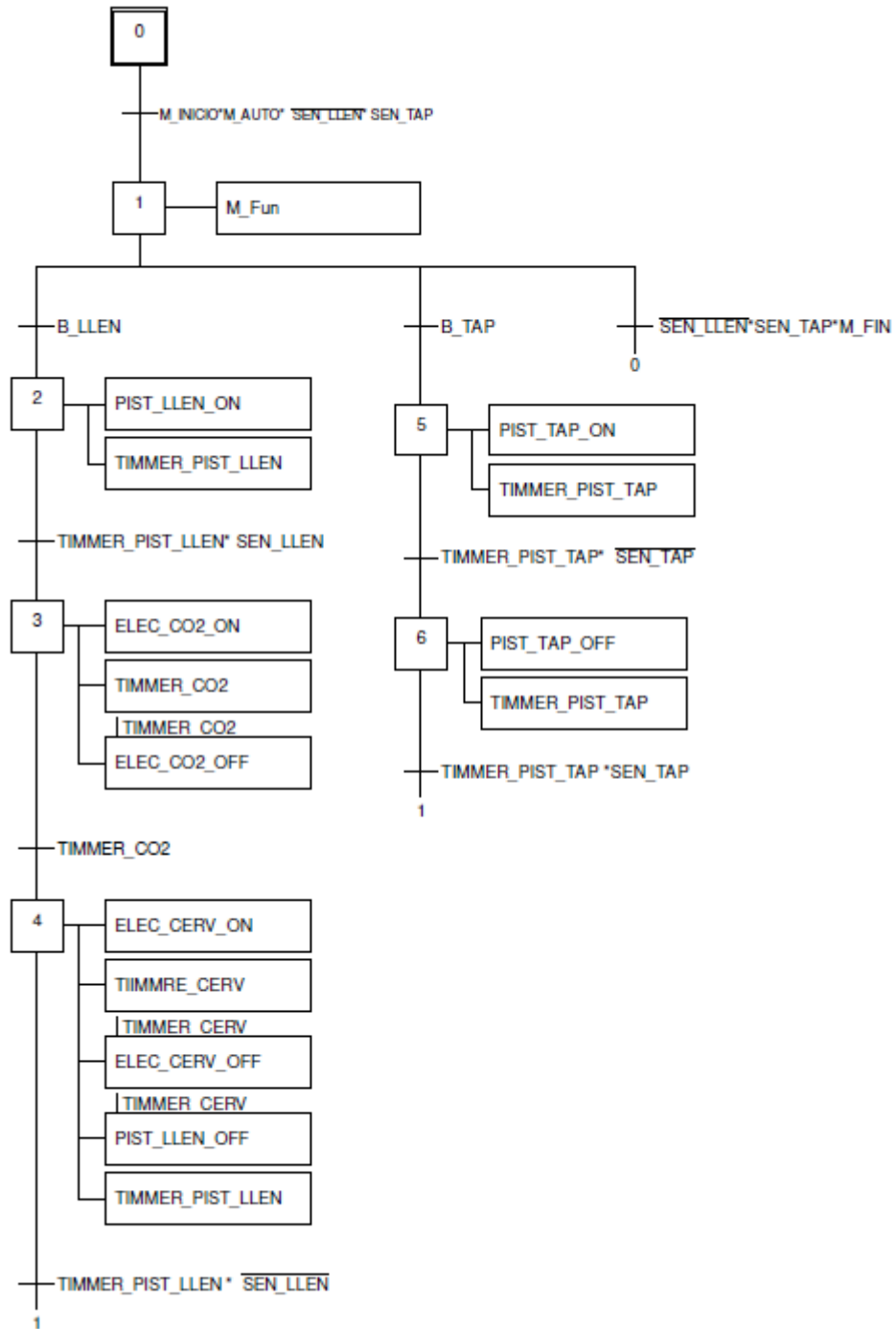
Metodología GRAFCET



A continuación, se muestra el diagrama grafcet realizado para el proceso de embotellado de cerveza.

Figura 78

Grafcet realizado para la implementación del proceso de embotellado



El funcionamiento comienza con la selección del modo de funcionamiento de la máquina ya se automático o manual, el funcionamiento de modo manual se realiza desde la

pantalla HMI, para el modo automático se habilitó una botonera con dos botones correspondientes a comandar los subsistemas de llenado y tapado, luego de presionar el botón de llenado o tapado, el sistema seguirá la ramificación del graficet correspondiente a cada subproceso, en el caso del llenado la primera etapa bajará el pistón ingresando las vías de llenado en cada botella, la siguiente etapa suministrará CO₂ en la botella por un tiempo, para que en la siguiente etapa se dosifique cerveza de igual manera controlada por tiempo, la etapa final retrae el cilindro y deja las botellas llenas y listas para el tapado, en la ramificación del graficet para el tapado se tiene solo dos etapas una para la extensión del cilindro neumático para que se tape la botella y otra que lo retrae a su posición, las acciones de cambio entre cada etapa están comandadas por los sensores de cada subsistema y un timer para asegurarse que los cilindros tengan el tiempo necesario para moverse entre sus posiciones de reposo y trabajo.

Interfaz Humano – Máquina. El comando de la máquina se lo puede realizar mediante una pantalla HMI, la cual se diseñó tomando en cuenta las recomendaciones de la guía GEDIS para una correcta distribución de elementos y fácil acceso a indicadores en tiempo real, modos de operación, estadísticos y tipos de cervezas, tal y como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 79

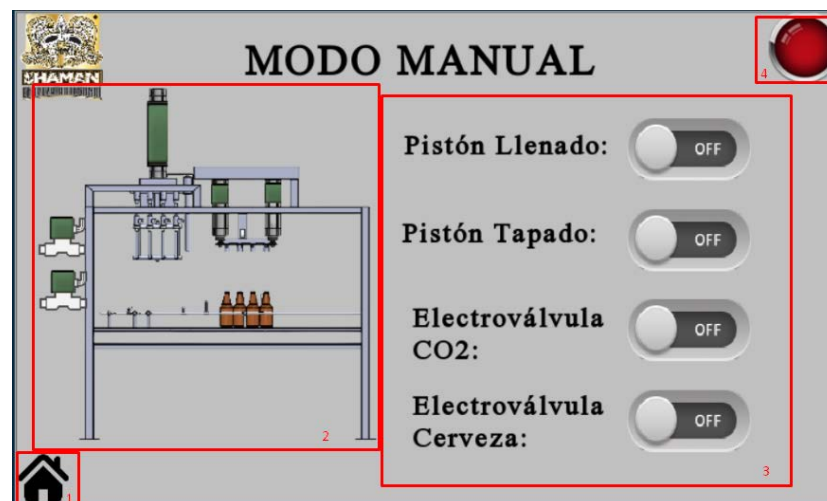
Pantalla de inicio



Nota. 1. Logotipo de la empresa auspiciante. 2. Esquema del proceso 3. Fecha y hora en una ubicación de fácil identificación. 4. Indicadores visuales del modo de operación. 5. Selector de dos posiciones del modo de operación. 6. Paneles adicionales de operación y monitoreo.

Figura 80

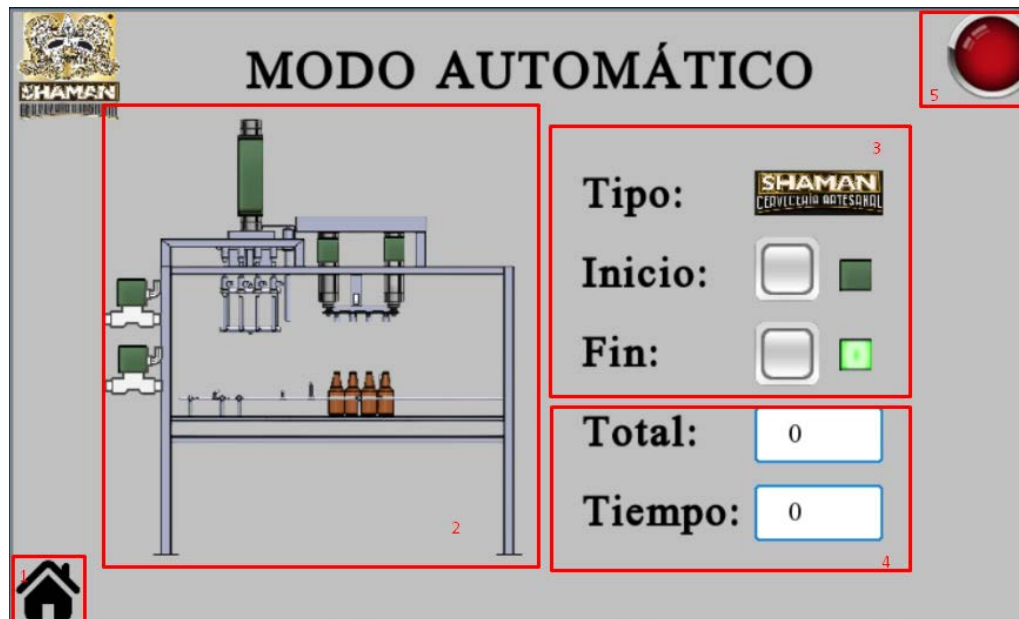
Pantalla de modo Manual



Nota. 1. Botón retroceso pantalla de inicio. 2. Esquemático del proceso. 3. Interruptores de accionamiento de los actuadores. 4. Indicador de emergencia.

Figura 81

Pantalla de modo automatico



Nota. 1. Botón retroceso pantalla de inicio. 2.Esquemático del proceso. 3. Indicadores de estado del proceso. 4. Indicador de total de botellas completadas. 5.Indicador de emergencia.

Figura 82

Varietades de cerveza



Nota. 1. Botón retroceso. 2.Pulsadores de selección del tipo de cerveza.

Se agregó una pantalla de estadísticas del proceso, donde se despliega información acerca del número de proceso, fecha, hora, tipo de cerveza embotellada y la cantidad, con la finalidad de facilitar los procesos de inventario y seguimiento de la máquina.

Figura 83

Pantalla de Estadísticos



Nota. 1. Botón retroceso pantalla de inicio. 2. Tabla de registro de parámetros 3. Indicadores de emergencia.

Capítulo IV

Construcción

Documentación para la manufactura

La embotelladora fue construida y ensamblada según los diseños y planos, toda la máquina, fue construida con estándares para grado alimenticio implementando en todos los elementos acero inoxidable 304 como material, excepto en ciertas piezas que se especifique su material.

El diagrama eléctrico con el cual fue armado el tablero eléctrico y la distribución de los respectivos cables a los diferentes componentes se puede ver en el anexo A

Construcción

Estructura. Para la mesa se usó una plancha de 1.5 milímetros de espesor, y para el soporte de las cargas ya vistas en el diseño se usó un perfil con forma de U de igual forma de 1.5 milímetros de espesor, como se ve en la Figura 84.

Figura 84

Mesa de la máquina.



Nota. Construcción de la mesa a partir de una plancha de 1.5 milímetros de espesor.

Para la estructura general se usó un tubo cuadrado con medida 1 ½ pulgadas y 2mm de espesor, después del estudio y análisis de las cargas. Esta estructura fue soldada mediante el proceso GTAW con un electrodo ER-308L con gas argón de protección de la soldadura como se puede ver en la Figura 85.

Figura 85

Estructura General



Nota. Estructura general soldada

Dentro de la estructura también se incluye el soporte de los pistones del tapado y del llenado.

Soporte del pistón de llenado. Dentro de la estructura de soporte del pistón de llenado se usó tubo cuadrado de 1 ½ y de placas de 5 milímetros de espesor del mismo material como se muestra en la Figura, estas placas son las que reciben los esfuerzos que se generan en el movimiento del sistema de llenado, además se incluyó una guía para que el sistema de llenado pueda subir y bajar de forma nivelada, esta guía es un eje de ¾ de pulgadas de diámetro.

Figura 86

Soporte de pistón de llenado



Nota. Pistón y soporte del pistón ensamblados

Soporte de los pistones de tapado. Dentro de la estructura de soporte de los pistones de tapado se usó tubo cuadrado de 1 ½ y de placas de 6 milímetros de espesor, como se muestra en la Figura, se tiene una placa de 6 milímetros con forma en L para el soporte de los pistones del llenado junto con las placas pequeñas para ajuste de los pistones y refuerzos como nervios.

Figura 87

Soporte de los pistones de tapado



Nota. A la izquierda vista frontal, a la derecha vista lateral derecha del soporte de los pistones de tapado.

Desplazamiento de la máquina. Como parte de la estructura se tiene en la parte inferior 4 rueda de diámetro de 6 pulgadas, que permiten el movimiento de la máquina, facilitan su limpieza y su mantenimiento, y permiten ajustes rápidos de la misma. Las ruedas cuentan con un sistema de frenado de pedal para dejar estática la máquina durante operación.

Figura 88

Rueda de la máquina



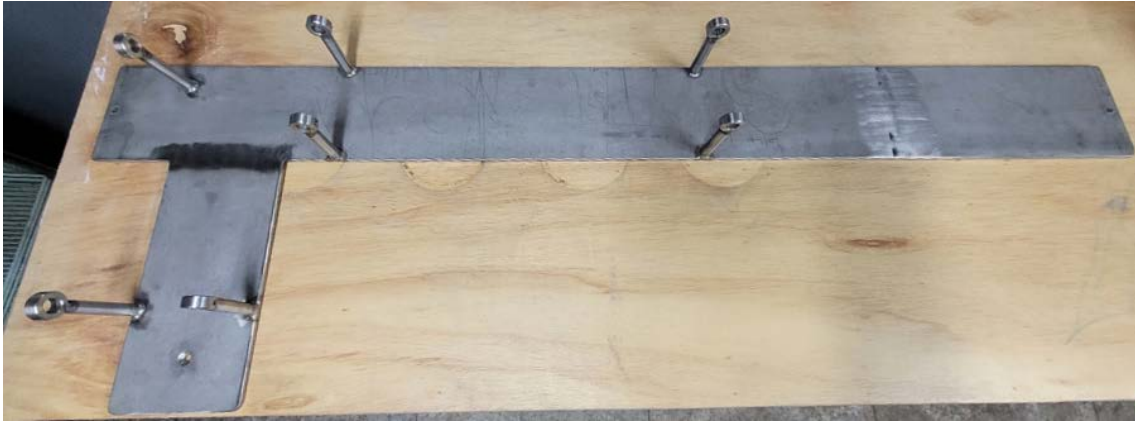
Nota. Ruedas de la máquina de 6 pulgadas de diámetro con freno de pedal

Desplazamiento de botellas. Para el desplazamiento de las botellas del llenado al tapado y la salida de las botellas de la máquina se utilizó una placa de 5 milímetros de espesor, esta placa es desmontable para facilitar su limpieza y que se pueda tener la oportunidad de cambiar el sistema de transporte de botellas en un futuro si la empresa lo decide.

Se implementó unas guías para el paso de las botellas del sistema de llenado al sistema de tapado, para las guías se usó un eje de ½ pulgada de diámetro y estos fueron soldados a la placa base de forma vertical y en la parte superior de estos ejes se soldó un collar de eje (collarín) de medida 1/2 pulgada como se puede ver en la Figura 89.

Figura 89

Base de desplazamiento de las botellas entre estaciones



Nota. Ejes verticales y collarines de ejes del sistema de desplazamiento de botellas.

La función de los collarines es el que pueda insertarse y ajustar los ejes horizontales de $\frac{1}{2}$ pulgada que se usa a lo largo de todo del sistema de desplazamiento como guías en el movimiento de las botellas entre estaciones.

Adicional se usó unos tubos de $\frac{5}{8}$ de pulgada de diámetro y 1 milímetro de espesor, y ejes de $\frac{1}{2}$ pulgada para crear los topes donde se divide el tapado y llenado y ayuda a la fijación de las botellas en su lugar para el correcto funcionamiento de los pistones de llenado y tapado como se ve en la Figura 90.

Figura 90

Sistema de desplazamiento de botellas completo



Nota. A la izquierda el sistema sin botellas, a la derecha sistema con botellas

Sistema de llenado

Soporte de las vías de llenado. Para el soporte de las vías de llenado se usó un perfil en L de medidas 1 ½ pulgadas y de espesor 4 milímetros, en este perfil se sujeta las 4 vías de llenado.

Figura 91

Soporte de las vías de llenado



Nota. A la izquierda se encuentra la vista frontal, a la derecha la vista izquierda del soporte de las vías de llenado

Vías de llenado. Cada vía de llenado fue fabricada con acero inoxidable 304 aplicado la máquina herramienta torno, esto se dio mediante la ingeniería inversa del sistema de llenado de botellones de agua como se detalló en el capítulo de diseño, en cada vía de llenado tiene un resorte, los resortes fueron fabricados con un acero inoxidable 302 con un grosor de 2 milímetros de espesor y un diámetro de 26 milímetros, estos necesitaron de un tratamiento térmico de temple a 300 grados centígrados, con un enfriado lento a temperatura ambiente.

Figura 92

Resortes de las vías de llenado



Nota. Ensamble de los resortes dentro de la vía de llenado

Cada vía de llenado cuenta en la parte inferior con un cono insertable de grilon de grado alimenticio, este es el que permite que no se golpee la botella en la operación, además se tiene un tope de grilon en la parte superior donde se realizará un sello hermético entre la botella y las vías de llenado, para esto se cuenta con un empaque de silicona de grado alimenticio de diámetro interior de 10 milímetros. Información de materiales obtenida (Roehling, 2011)

Figura 93

Vías de llenado parte inferior



Nota. Sistema de acoples y empaque para el sellado hermético durante el llenado de botellas

Se soldó a cada una de las vías de llenado una platina de 3 milímetros de espesor con el fin de regular y sincronizar la subida y baja las vías de llenado durante la operación, esta es conectada con pernos M4 con otra platina del mismo espesor con la cual se sincroniza el movimiento de todas las vías de llenado.

Figura 94

Vías de llenado



Nota. Sincronización de las vías de llenado mediante platinas

Se construyó el distribuidor de acuerdo a las especificaciones del capítulo de diseño, este cuenta con 4 conexiones tri-clamp, 2 de entradas y 2 de salida; estas siguiendo los requerimientos de la empresa con vistas a un crecimiento futuro para suplir una mayor demanda, ya que estas conexiones tri-clamp pueden conectarse fácilmente a todo el sistema de producción de la empresa, y permite el cambio y conexión rápida a diferentes tipos de accesorios, es de fácil uso y limpieza; y es uno de los accesorios más usados en las empresas cerveceras.

Figura 95

Tri-clamp



Nota. Uso de las conexiones tri-clamp en el distribuidor para futuros usos.

Para el llenado se usaron 2 electroválvulas 2S040-08 de ¼ pulgadas con acople a 3/8, desde el barril de cerveza se tiene conexión a una de las electroválvulas, del tanque de CO2 se tiene conexión a la segunda electroválvula, estas 2 se conectan a una T para el ingreso al distribuidor para el llenado.

Figura 96

Electroválvulas del llenado



Nota. Conexión de las electroválvulas y de acoples en el llenado, a la izquierda electroválvula de CO2, a la derecha electroválvula de Cerveza

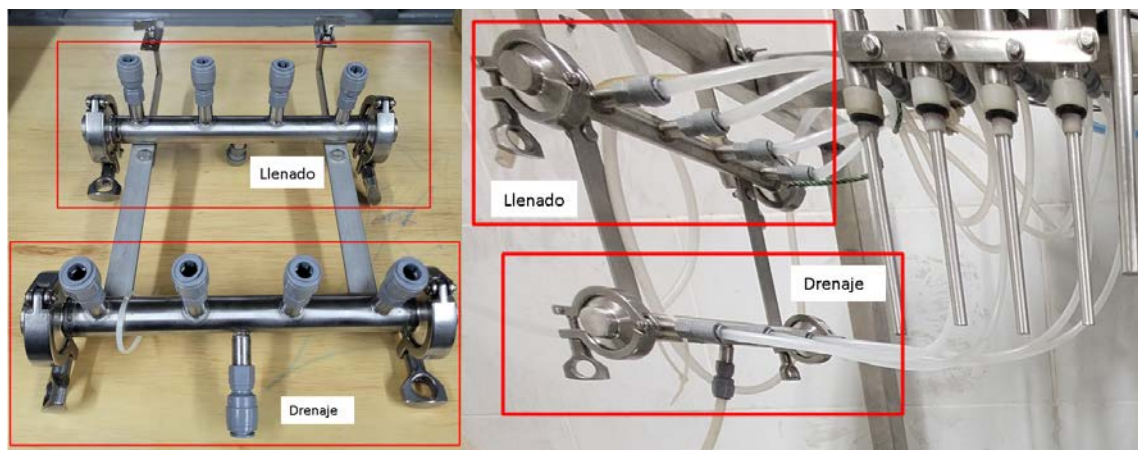
El distribuidor cuenta con 2 tubos de 1 pulgada para la conexión tri-clamp que contine 10 tubos de 1/2 pulgada soldados, 5 de estos tubos son para el llenado y los 5 restante son para el escape o drenaje.

De estos 5 tubos de llenado se tiene una distribución de 1 tubo en un extremo y de 4 tubos en el otro extremo, por lo cual de la T de llenado se ingresa al distribuidor por el tubo que se encuentra solo de un extremo y posterior a esto su distribución a los 4 tubos del otro extremo que ingresarán a las vías de llenado directamente a la botella.

De forma similar, de las 4 vías de llenado se tiene un escape de espuma o líquido, cada una de las salidas de escape de las vías de llenado son conectadas a los 4 tubos del distribuidor de un extremo, con lo cual estas se conectan en el otro extremo al tubo que se encuentra solo para el drenaje.

Figura 97

Distribuidor de llenado y drenaje



Nota. A la izquierda el distribuidor aislado, a la derecha el distribuidor ensamblado y conectado con todo el sistema.

La salida del drenaje está conectada a un regulador de presión cuya función es mantener la presión del gas CO₂ dentro de la botella, y permitir el escape de espuma o líquido necesario sin afectar la gasificación de la cerveza.

Figura 98

Regulador de presión del drenaje



Nota. Regulador de presión conectado con 2 acoples rápidos para las mangueras del sistema

Todo el sistema de llenado fue conectado a través de mangueras de 3/8 de pulgada de silicona, las mismas que son conectadas con racores de acople rápido de mangueras de 3/8.

Figura 99

Racor de acople rápido



Nota. Racor de acople rápido usado en todas las conexiones del sistema de llenado de cervezas de la máquina

Sistema de tapado

Soporte de las coronas de tapado. Para el soporte de las vías de llenado se implementó un perfil de 1 ½ pulgadas y 6 milímetros de espesor, este fue cortado en sus esquinas como en su diseño para evitar el choque con los pistones, al mismo se le realizó 6 orificios, los 2 orificios de los extremos se usan para sujetar los pistones de llenado, y los demás orificios se usarán para sujetar los mandriles de tapado con un acople realizados con un eje de 1 pulgada, los mismos fueron roscados para poder insertar los mandriles de tapado y así tener el sistema de tapado completo.

Figura 100

Soporte del sistema de tapado



Nota. A la izquierda se observa las piezas usadas en el soporte de las coronas de tapado

Mandril o corona de tapado. Para el tapado se implementaron 4 mandriles de 26 milímetros que es la medida de los tillos usados para el tapado de las botellas de 300 mililitros, las mismas que cuentan con un roscado que se colocan en los acoples realizados anteriormente.

Figura 101

Mandril de tapado



Nota. Vista superior de los mandriles de tapado de 26 milímetros, se muestra el roscado interno de los mismos.

Sistema neumático. Para el sistema neumático se implementó un compresor 2 HP con un tanque de 24 litros y presión máxima de 8 bar.

Figura 102

Compresor usado por la empresa



Se integra una unidad de mantenimiento OFR-1/4-5M-MINI-S de marca Forward con una presión máxima de regulación de 16 bar, esta se conecta con el compresor y permite el registro exacto de la presión dentro del sistema de la máquina además de filtrado del aire.

Figura 103

Unidad de mantenimiento



Se cuenta con 2 electroválvulas neumáticas MFH-5-1/4-B de 5/2 vías de marca Festo, con un rango de presión de 2-10 bar, estas están conectadas después de la unidad de mantenimiento, estas son las que permiten el control del movimiento de los pistones del llenado y del tapado.

Figura 104

Electroválvulas neumáticas



Nota. electroválvulas neumáticas conectadas con sus respectivos racores de acople rápido en

L.

Para todo el sistema neumático se utilizó una manguera de 8 milímetros, además se usaron racores para la unidad de mantenimiento, racores de acoples rápido en forma de T y L, reguladores de caudal.

Figura 105

Acople en T y su regulador de caudal

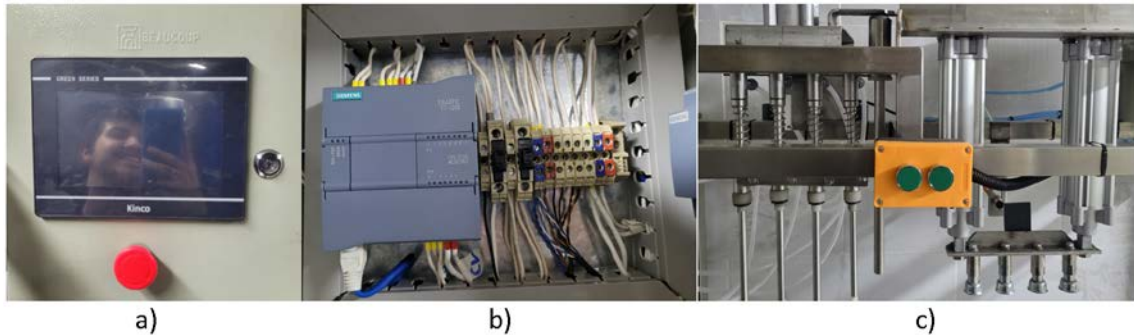


Nota. Se observa un ejemplo de la configuración de un pistón con un acople rápido en forma de T, conectado con un regulador de caudal, todo conectado con manguera neumática de 8 milímetros

Tablero eléctrico. Para el tablero se implementó una caja térmica de 30x30x20 centímetros, un PLC 1212C AC/DC/Rly marca siemens, también se cuenta con una fuente de 24 voltios siemens 6ES7212-1BE40-0-XB00, se utilizaron 10 borneras para riel DIN, 2 borneras portafusibles DIN, se usó cable 18 AWG para las conexiones del tablero, para el manejo de la máquina en operación se implementó la botonera para la activación del llenado y tapado, se agregó un botón de emergencia para la seguridad durante la maniobra y se cuenta con un panel HMI de 7 pulgadas Kinco GL070e.

Figura 106

Implementación del sistema eléctrico y de control



Nota. a) El tablero térmico con la pantalla HMI y el botón de emergencia. b) Interior del tablero con el PLC, la fuente de 24V, las borneras y porta fusibles. c) Botonera de operación de llenado y tapado.

Calibración y pruebas

Recursos aplicados. Para la calibración de la máquina se puso en ejecución tanto el programa del PLC programado en Tia Portal, como la integración de la HMI diseñado en Kinco, habilitando de igual forma los diferentes botones necesarios para la operación.

Calibración. La empresa tiene como objetivo llenar cervezas de 300 mililitros, esto con unas tolerancias establecidas siendo las siguientes:

LSL (Lower Specification Limit) de 290 mililitros, Target de 300 mililitros y USL (Upper Specification Limit) de 310 mililitros.

Estos valores se encuentran dentro de los rangos permitidos por el acuerdo ministerial Acuerdo Ministerial No. 340 del 23 de diciembre de 2010, emitido por el Ministerio de Industrias y Productividad de Ecuador según este acuerdo, las tolerancias permitidas para el contenido de líquido en envases de productos de venta al público para envases con un contenido declarado de más de 150 ml y hasta 1 litro (1000 ml): la tolerancia permitida es de +/- 15 ml.

Figura 107

Llenado físico del LSL, Target y USL

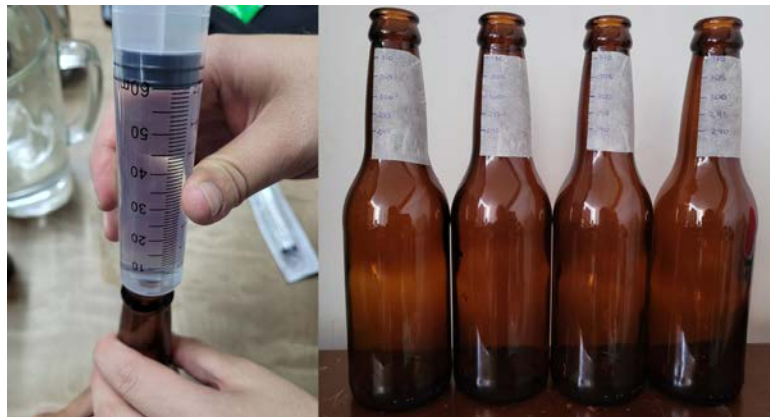


Nota. A la izquierda se observa el LSL con sus 290 mililitros, en el centro se observa el target con 300 mililitros, a la derecha se observa el USL con 310 mililitros.

Para la medición del nivel de llenado en cada botella se utilizaron 3 métodos de medición, para el primero se utilizó una jeringa para contabilizar con precisión el nivel de llenado de una botella, con esto se partió al segundo método de crear un etiquetado en las botellas con la cantidad exacta de mililitros dentro del rango LSL el Target y el USL.

Figura 108

Etiquetado de nivel en las botellas de prueba



Nota. A la izquierda el llenado para un etiquetado correcto, a la derecha las 4 botellas de prueba etiquetadas

Para comprobar el llenado de cada una de las botellas se utilizó también una balanza tomando en cuenta la densidad del agua es de 1kg/l por lo que cada litro de agua tiene como masa 1000 gramos y encerando la balanza con el valor de la botella, por lo tanto, fue nuestro método de comprobación.

Figura 109

Medición del nivel de las botellas



Nota. A la izquierda el valor de la botella encerado, a la derecha el nivel de llenado de la botella medida visualmente y mediante la balanza.

Para la calibración de la máquina basándonos en las especificaciones dadas por la empresa en el llenado de cerveza se aplicó el método experimental ya que la variable crítica para el llenado es el tiempo, por lo cual se determinó la misma como variable principal y para la calibración de la misma, se impuso una base de 10 segundos, a partir de esta base se realizaron incrementos definidos de 0.25 segundos en cada iteración y se midió el resultado del

llenado de las 4 botellas en cada iteración, los datos de llenado fueron promediados para obtener un detalle general del llenado de la máquina.

Tabla 15

Tiempo de llenado y el promedio de nivel en botella

| Tiempo de llenado [s] | Promedio de nivel llenado de las 4 botellas [mm] |
|------------------------------|---|
| 10 | 220 |
| 14 | 268 |
| 14,25 | 271 |
| 14,5 | 274 |
| 14,75 | 277 |
| 15 | 280 |
| 15,25 | 283 |
| 15,5 | 286 |
| 15,75 | 289 |
| 16 | 292 |
| 16,25 | 295 |
| 16,5 | 298 |
| 16,75 | 301 |

Nota. Dado que 10 segundos era un tiempo demasiado corto se procedió a probar con 14 segundos directamente para continuar con las pruebas y se determina que el tiempo ideal para el llenado es de 16,75 segundos.

4.3.3 Pruebas de llenado

Una vez determinado el tiempo de 16,75 segundos de llenado en el cual se cumple el rango y especificaciones proporcionados por la empresa con respecto a los niveles de llenado de las botellas, y con el fin de determinar que la máquina en operación dará resultados consistentes en producción se realizó pruebas para determinar las variaciones en el llenado de una caja de cervezas, en la misma se tiene un total de 32 cervezas.

Para esto se midió los resultados individuales de cada botella durante el llenado, se realizaron las 8 iteraciones necesarias para completar la caja de cerveza obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 16

Iteraciones en el llenado de una caja de 32 cervezas

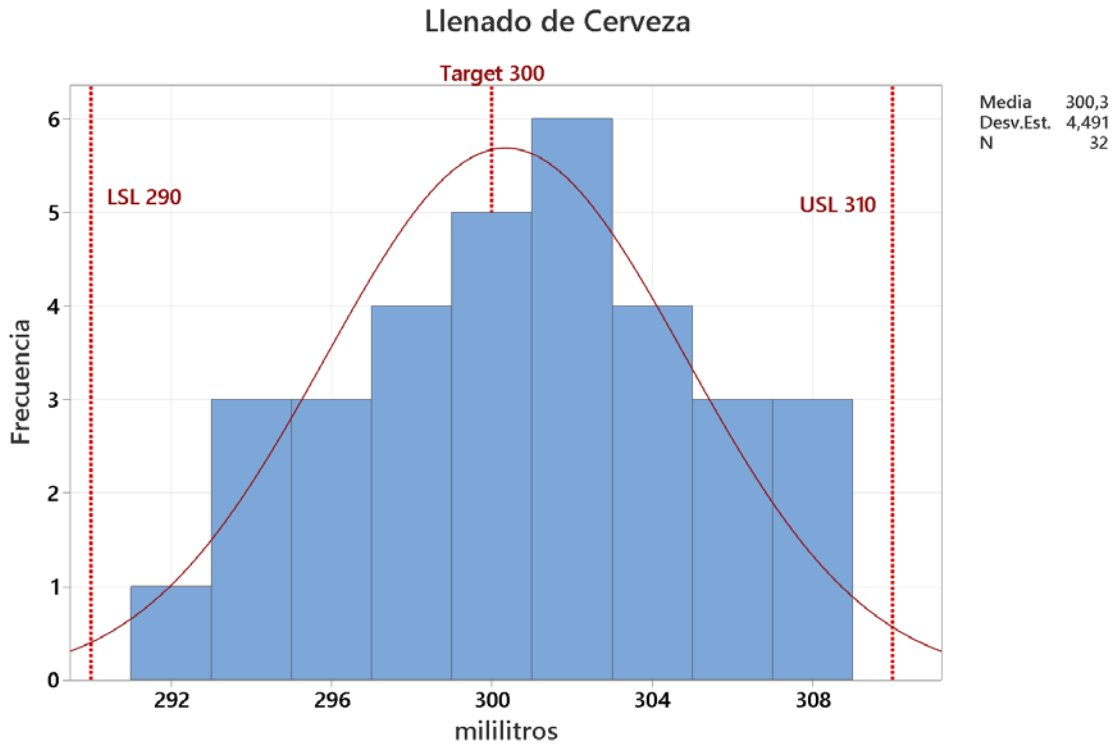
| Número de iteración | Nivel botella 1 | Nivel botella 2 | Nivel Botella 3 | Nivel botella 4 |
|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 305 | 308 | 301 | 304 |
| 2 | 302 | 300 | 306 | 298 |
| 3 | 294 | 296 | 302 | 308 |
| 4 | 297 | 304 | 300 | 298 |
| 5 | 301 | 295 | 299 | 293 |
| 6 | 305 | 295 | 303 | 298 |
| 7 | 302 | 294 | 304 | 300 |
| 8 | 302 | 299 | 307 | 291 |

Nota. Datos obtenidos en la medición de las 8 iteraciones en el llenado de una caja de 32 cervezas

Con estos resultados se realizó un histograma como se puede ver en la figura (histograma llenado de cerveza), en donde se visualiza la distribución normal de los datos obtenidos durante el llenado de las botellas de cerveza, además se puede apreciar que se tiene una ligera desviación hacia el USL que es compensada en general por el llenado general de todas las botellas obteniendo una media de 300,3 mililitros dentro de la caja de cervezas.

Figura 110

Histograma de llenado de cerveza



Nota. Figura obtenida mediante programa estadístico

Pruebas de tapado. Se realizó 2 pruebas principales para la verificación en el sistema de tapado, la prueba de fugas y la prueba de sumersión, la prueba fugas consiste en poner de cabeza la botella de cerveza y revisar si en el periodo de 1 hora presenta alguna fuga, esto se realizó con muestras aleatorias de la caja de pruebas de 32 botellas.

Figura 111

Pruebas de fuga en el sistema de tapado



Nota. Se verifico el sello hermético de las botellas durante 1 hora.

La prueba de sumersión consiste en poner la botella de igual forma de cabeza y sumergirla bajo el agua, y realizar una inspección visual de la misma, si presentara alguna burbuja significa que la botella no cumple con el sello hermético.

Figura 112

Prueba de fuga del tapado en sumersión



Nota. Se verifica que las muestras seleccionadas de forma aleatoria no tengan fugas en la prueba de sumersión

Resultados

Durante el llenado cada botella de cerveza tiene variaciones que se encuentran dentro del rango de especificaciones dadas por la empresa, y al realizar el llenado de una caja de 32 botellas de cerveza se observó que se encuentra en la media del Target esperado tal y como se lo puede ver en los apartados anteriores, teniendo así un resultado esperado y exitoso en las pruebas de llenado.

Los resultados del tapado fueron satisfactorios, ninguna de las botellas presento ningún tipo de fuga en el tapado, siendo las botellas puestas a prueba tanto en el método de sumersión como el método de fuga, así pasando con éxito todas las pruebas.

Capítulo V

Análisis Financiero

Máquina embotelladora

Para la construcción y ensamblaje de la máquina embotelladora, es esencial considerar una serie de elementos clave que impactan directamente en su viabilidad y rentabilidad, examinando los aspectos relacionados con su ensamblaje, costos de producción, ingresos proyectados y gastos incurridos, además, considerando que se trata de una inversión importante es necesario evaluar los posibles resultados financieros en los escenarios optimista y pesimista.

Inversión Inicial

La inversión inicial es el desembolso económico necesario para adquirir, diseñar, construir y poner en funcionamiento la máquina embotelladora de cerveza. Incluye todos los costos asociados con la creación y puesta en marcha del proyecto. En este caso, la inversión inicial de la máquina embotelladora de cerveza se desglosa de la siguiente manera:

Tabla 17

Inversión Inicial

| Detalle | Monto |
|-------------------|--------------------|
| Estructura | \$ 1.520,00 |
| Sistema Neumático | \$ 996,00 |
| Sistema Eléctrico | \$ 873,4 |
| Total | \$ 3.389,40 |

Estos valores representan los gastos directos en la adquisición de los componentes y sistemas necesarios para construir la máquina embotelladora. La inversión inicial es un factor

crítico para el análisis financiero, ya que impacta en la rentabilidad del proyecto y el tiempo de recuperación de la inversión.

Nivel de Producción

El análisis de la producción es fundamental para evaluar la capacidad del negocio para satisfacer la demanda del mercado y alcanzar las metas de ingresos, este revela que actualmente la máquina embotelladora produce 90 botellas semanales, lo que se traduce en 360 botellas mensuales y 4320 botellas anuales. El objetivo es aumentar la producción semanal a 150 botellas, lo que llevaría la producción mensual a 600 botellas y la producción anual a 7200 botellas.

Tabla 18

Producción actual de botellas y producción objetivo

| TIEMPO | PRODUCCIÓN | | PRODUCCIÓN CAJAS | |
|--------------------|------------|--------|------------------|--------|
| | BOTELLAS | | | |
| | OBJETIVO | ACTUAL | OBJETIVO | ACTUAL |
| Producción Semanal | 150 | 90 | 5 | 3 |
| Producción Mensual | 600 | 360 | 20 | 12 |
| Producción Anual | 7200 | 4320 | 240 | 144 |

Nota. los valores de producción fueron dados por la empresa y los actuales son el objetivo a cumplir.

La diferencia entre la producción actual y la producción objetivo implica la necesidad de optimizar la velocidad y el rendimiento del equipo para cumplir con los objetivos de producción y la disminución de gastos operativos.

Ingresos

El análisis de los ingresos anuales proyectados para la construcción de la máquina embotelladora de cerveza indica que, considerando el precio de venta de \$2.50 por botella de 300 ml, los ingresos anuales actuales ascenderían a \$10,800. No obstante, el objetivo del proyecto es alcanzar ingresos anuales de \$18,000, por lo que para alcanzarlos se proyecta una producción anual de aproximadamente 7200 botellas.

Los ingresos son un factor crítico en el análisis financiero del proyecto, ya que representan la cantidad total de dinero que el negocio generará por la venta de sus productos. En este caso, los ingresos se basan en las proyecciones de producción y el precio de venta establecido para las botellas de cerveza.

Egresos

Es esencial examinar detalladamente los costos de mano de obra, mantenimiento, gastos operativos y otros desembolsos relevantes para la construcción de la máquina, ya que su optimización y correcto control y manejo producirán un mayor beneficio.

Mano de Obra

Actualmente, los gastos de mano de obra ascienden a \$194.475, estos costos están relacionados con el trabajo de dos personas que emplean 3 horas para embotellar 80 cervezas. El objetivo del proyecto es optimizar la eficiencia de producción, reduciendo la mano de obra necesaria a una persona que embotele en 2 horas. Esto permitirá mejorar la productividad y disminuir los costos laborales.

Mantenimiento

El correcto mantenimiento de la máquina embotelladora es indispensable para asegurar su operatividad y prolongar su vida útil, además de reducir posibles gastos imprevistos por reparaciones, estos gastos actualmente ascienden a \$ 50.

Flujo de Caja

El flujo de caja es una herramienta financiera esencial para evaluar el comportamiento financiero anual proyectado. A partir del primer año, los ingresos anuales proyectados aumentan gradualmente debido al crecimiento del 10% y los gastos aumentan en un 5% anual.

En cada año, se restan las imposiciones fiscales correspondientes al 15% de participación de los trabajadores y al 25% de impuesto a la renta, para obtener un análisis más exacto. Este análisis del flujo de caja es esencial para evaluar la capacidad del proyecto para generar beneficios, evaluar los gastos para evitar incurrir en pérdida y calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es por esto que se requiere considerar escenarios tanto optimistas como pesimistas para evaluar la variabilidad de los gastos operativos, ya que un escenario optimista puede considerar eficiencias adicionales en la producción y menores costos de mantenimiento, mientras que un escenario pesimista puede contemplar mayores costos de mano de obra y gastos adicionales no previstos.

Aumento de la producción

En el escenario optimista, se espera que la producción aumente a 7200 botellas por año. Esto representa un incremento significativo en comparación con el escenario base de 4320 botellas por año. Este aumento en la producción implica un mayor flujo de ingresos, ya que se estarían vendiendo más botellas de cerveza.

Ahorro de tiempo en la producción

En el escenario optimista, se plantea una reducción en el tiempo requerido para la producción diaria. En lugar de 3 horas al día con 2 personas, se propone 2 horas al día con 1 persona, con un costo hora de \$ 6,00.

Este ahorro de tiempo conlleva beneficios en términos de eficiencia y costos operativos, puesto que, al reducir el tiempo de producción, se podría optimizar la utilización de recursos y minimizar los costos asociados con la mano de obra y también podría contribuir a un aumento

en la capacidad de producción de la máquina, permitiendo así un mayor número de botellas embotelladas en menos tiempo.

En el escenario optimista el VAN es positivo, lo que indica que el proyecto generaría ganancias. La TIR es del 157%, superando la tasa de descuento del 10%. Esto sugiere que el proyecto es rentable en el escenario optimista, mientras que en el escenario pesimista el VAN sigue siendo positivo, lo que indica ganancias, pero en menor medida que en el escenario optimista.

Tabla 19

Flujo de caja del proyecto (VAN y TIR)

| CONCEPTO | FLUJO DE CAJA | | AÑO | | | |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ingresos | | \$ 10.800,00 | \$ 11.880,00 | \$ 13.068,00 | \$ 14.374,80 | \$ 15.812,28 |
| Gastos | | \$ 2.933,70 | \$ 3.080,39 | \$ 3.234,40 | \$ 3.396,12 | \$ 3.565,93 |
| Utilidad antes de participación e impuestos | | \$ 7.866,30 | \$ 8.799,62 | \$ 9.833,60 | \$ 10.978,68 | \$ 12.246,35 |
| Participación Trabajadores (15%) | | \$ 1.179,95 | \$ 1.319,94 | \$ 1.475,04 | \$ 1.646,80 | \$ 1.836,95 |

| | | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Utilidad | | | | | | |
| antes de | | \$ 6.686,36 | \$ 7.479,67 | \$ 8.358,56 | \$ 9.331,87 | \$ 10.409,40 |
| impuestos | | | | | | |
| 25% Imp Rta | | \$ 1.671,59 | \$ 1.869,92 | \$ 2.089,64 | \$ 2.332,97 | \$ 2.602,35 |
| Empresarial | | | | | | |
| Utilidad Neta | | \$ 5.014,77 | \$ 5.609,75 | \$ 6.268,92 | \$ 6.998,91 | \$ 7.807,05 |
| del Ejercicio | | | | | | |
| Inversión | | | | | | |
| inicial | -\$ 3.389,40 | | | | | |
| <hr/> | | | | | | |
| Flujo de | | | | | | |
| caja del | -\$ 3.389,40 | \$ 5.014,77 | \$ 5.609,75 | \$ 6.268,92 | \$ 6.998,91 | \$ 7.807,05 |
| proyecto | | | | | | |
| | | | | | | |
| VAN | \$ 20.143,48 | | | | | |
| TIR | 157% | | | | | |
| <hr/> | | | | | | |

En resumen, el proyecto de la máquina embotelladora de cerveza muestra beneficios anuales y mensuales positivos, alcanzando el punto de recuperación de la inversión en un plazo razonable de 12 meses, además, sigue siendo rentable tanto en el escenario optimista como en el pesimista. El VAN positivo y la TIR alta indican que el proyecto es atractivo y ofrece un rendimiento de la inversión significativo.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó y construyó una máquina embotelladora de cerveza semiautomática para la empresa SHAMAN cervecería artesanal bajo las especificaciones y requerimientos solicitados con una producción que supera el llenado y tapado de 60 botellas dentro de un periodo de tiempo de una hora.
- Se realizó el diseño mecánico de todos los componentes de la máquina incluyendo el sistema de desplazamiento de las botellas, el sistema de llenado y el sistema de tapado, además del control y calibración de los mismos.
- Se implementaron sensores, actuadores, HMI, fuente de voltaje y dispositivo de control como lo es el PLC, para el funcionamiento adecuado y el control de los mecanismos, así como la interpretación adecuada de las señales.
- Se diseñó y se implementó el sistema de control secuencial en lenguaje Ladder mediante el programa Tia portal de la máquina embotelladora usando un PLC siemens aplicando una HMI para el usuario, así como botoneras para el uso durante la producción y sistema de seguridad como el botón de emergencia.
- Se realizaron exhaustivas pruebas experimentales y de análisis estadísticos para la calibración y pruebas de correcto funcionamiento del sistema garantizando la confiabilidad de la máquina en producción.

Recomendaciones

- En un futuro se ve la posibilidad de integrar diferentes sistemas de la empresa directamente al sistema tri-clamp como puede ser la conexión directa del tanque fermentador a la máquina embotelladora.

- En un futuro se puede cambiar el sistema de transporte de la máquina por un sistema más automático y sofisticado que requiera menos interacción del operador y una capacidad de producción aun mayor con menos esfuerzo implementando pistones de movimientos automáticos que moverán las bandejas que contienen las cervezas y así evitar el movimiento manual de la carga y descarga del sistema de llenado al sistema de tapado.
- Se ve la posibilidad a futuro de tener un control mucho más exacto implementando una electroválvula a cada una de las vías de llenado para el control individual y la programación específica para cada vía de llenado así teniendo un control aún más exacto del llenado en la máquina embotelladora.

Bibliografía

- Alcázar, A., & Jiménez, E. (2019). *Barrel-Aged Beers: A Critical Review of Recent Advances. Beverages*, 5(4), 81.
- Alstrom, J. (2019). *The ultimate guide to beer bottle caps*, BeerAdvocate. Obtenido de <https://www.beeradvocate.com/articles/17033/the-ultimate-guide-to-beer-bottle-caps/>
- Americas Maquinaria. (s.f.). *Empacadoras Automáticas / Líquidos y Viscosos*. Obtenido de <https://americasmaquinaria.com/producto/llenadora-lineal-de-pastosos-para-envase-rigido/>
- AND&OR. (s.f.). *Transportadores de envases*. Obtenido de <https://andyor.com/transportadores-de-envases/>
- AsoCerv. (2018). *Asociacion de cervecerias del Ecuador, estadísticas*. Obtenido de <https://asocerv.beer/estadisticas>
- Balluff Inc. (2018). *Fundamentals of Conveyor Systems*. Obtenido de <https://www.balluff.com/local/us/newsroom/fundamentals-of-conveyor-systems/>
- Bamforth, C. W. (2016). *The Brewing Industry and Environmental Challenges. In The Brewing Industry and Environmental Challenges (pp. 3-26)*. Springer International Publishing.
- Beerland Store. (2023). *Equipos Cerveceros BeerLand*. Obtenido de <https://www.beerlandstore.com>
- Brewers Association. (2018). *The fundamentals of beer packaging*. Obtenido de <https://www.brewersassociation.org/wp-content/uploads/2018/11/Fundamentals-of-Beer-Packaging-Manual.pdf>
- Brewster B. (2019). *The Different Types of Beer Bottle Caps. The Spruce Eats*. Obtenido de <https://www.thespruceeats.com/different-types-of-beer-bottle-caps-760615>
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). *Brewing: Science and Practice*. CRC Press.
- Cerveceria Boliviana Nacional. (s.f.). Obtenido de <https://www.cbn.bo/nuestras-marcas/corona/>

Cerveceria Nacional. (s.f.). *Cerveza Pilsener*. Obtenido de <https://www.cervecerianacional.ec/productos/cerveza/cerveza-pilsener>

Dierter, G., & Schmidt, L. (2013). *Engineering Design*. Pennsylvania: McGrawhill.

Dorner Mfg. Corp. (2021). *Conveyors & Automation Solutions*. Obtenido de <https://www.dornerconveyors.com/>

Ensinger. (s.f.). *Plasticos TECAMID/TECAST de Ensinger*. Obtenido de <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plasticos-de-ingenieria/poliamida-pa>

Hough, J. S., Briggs, D. E., & Stevens, R. (2012). *Malting and brewing science: Volume 1-2*. Springer Science & Business Media.

How to Brew. (2019). *Bottle and Cap Sizes*. Obtenido de <https://howtobrew.com/book/section-1/the-basics/bottle-and-cap-sizes>

Hughes, D., & Riddick, J. (2018). *Handbook of beverage packaging*. Elsevier.

IC Filling Systems Srl. (2021). *Bottle Conveyor Systems*. Obtenido de <https://www.icfillingsystems.com/bottle-conveyor-systems>

Importadora y exportadora las americas S.A.S. (s.f.). *Empaque silicona*. Obtenido de <https://www.importadoralasalasamericas.com/catalogo/empaques/empaque-silicona>

INEN. (2013). *Normativa, Bebidas Alcoholicas. Cerveza. Requisitos. NTE INEN 2262*. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2262-1.pdf

KegWorks. (2016). *Corona Bottle Caps: Everthing you need to know*. Obtenido de <https://www.kegworks.com/blog/corona-bottle-caps-everything-you-need-to-know/>

Klimovitz, R., & Lambruschi, P. E. (2005). *Beer Packaging: A Manual for the Brewing and Beverage Industries*. Master Brewers Association of the Americas.

Koo, B. (1967). Simplified Procedure to Determine Maximum Beam Deflection . *Engineering Journal, American Institute of Steel Construction*, 4, 123-125.

Krones AG. (2017). *Filling technology for the beverage industry*. Obtenido de https://www.krones.com/fileadmin/media/downloads/brochures/Filling_Technology_for_the_Beverage_Industry_Krones_2017_EN.pdf

Krones AG. (2021). *Bottle Conveyor Systems*. Obtenido de <https://www.krones.com/en/products/machines/bottle-conveyor-systems.php>

McClements, D., & Decker, E. (2017). *Designing food structure: Deconstructing complexity to craft new functionalities*.

Mercabrewers. (2020). *Equipos industriales de embotellado de cerveza artesanal. Catálogo de equipos*. Obtenido de <https://mercabrewers.com/categoria-producto/equipos/embotellado/>

Mercado Industrial. (s.f.). *Empaques industriales*. Obtenido de <https://mercadoindustrialec.com/categoria-producto/material-sanitario/empaques-sanitarios/>

Muller AHLHORN. (s.f.). *Norma de alimentos FDA al usar plásticos*. Obtenido de <https://www.mueller-ahlhorn.com/es/Cómo-cumplir-con-las-normas-de-contacto-con-alimentos-de-la-FDA-al-usar-plásticos/>

Narzędzia, K. (2018). *Automated capping machines for beer bottling*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), e13616. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/jfpp.13616>

Oliver, G. (2017). *The Oxford Companion to Beer*. Oxford University Press.

Revista ñan. (04 de 2017). *EUREKA! LLEGÓ LA CERVEZA ARTESANAL A QUITO*. Obtenido de <https://www.nanmagazine.com/eureka-llego-la-cerveza-artesanal-quito/>

Rizzolio semi automatic bottling systems. (2018). *Twist-off or Pry-off crown caps*. Obtenido de <https://rizzolio.net/en/twist-off-or-pry-off-crown-caps/>

Roehling. (2011). *Plásticos apropiados para el contacto con sustancias alimenticias*. Obtenido de

https://www.roechling.com/fileadmin/downloads/Roechling_Industrial/Brochures/ES/Plastics-for-Food-Contact-ES.pdf

Solfa, F. d. (2009). *Introducción a los materiales y tecnologías de Producción*. Obtenido de <https://philarchive.org/archive/DELIAL-10>

Stasiak, M., & Stanula, A. (2020). *Packaging of beer in glass bottles*. In *Beer Packaging* (pp. 53-91). Springer. Obtenido de https://doi.org/10.1007/978-3-030-29295-8_4

SURMAQ. (2020). *Equipos y herramientas para tubería*. Obtenido de <https://surmaq.com/shop/>

TricorBraun. (s.f.). *Bottle cap and neck finishes*. Obtenido de <https://www.tricorbraun.com/design-solutions/closures/closure-selection-guide/bottle-cap-and-neck-finishes/>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos*. México: McGrawhill.

UNITECH. (s.f.). *Cilindros Estándar*. Obtenido de <https://www.unitech.com.ec/catalogo-de-productos/herramienta-neumatica/cilindros/cilindros-estandar/>

Zhou, J., Zeng, X., Zhang, H., & Hu, J. (2016). *A review of beer packaging technology: Bottles, cans, and kegs*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15(3), 638-654. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12201>