

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño y Construcción de una Embotelladora semiautomática de Cerveza  
Artesanal**

**Dispositivos Tecnológicos**

**Fernando José Alomía Aldaz**

**Alejandro Vinicio Gálvez Becerra**

**Bryan Stalin Rayo Guerrero**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingenieros Mecánicos

Quito, 9 de Mayo de 2022

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE CALIFICACIÓN**

**DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diseño y Construcción de una Embotelladora semiautomática de Cerveza  
Artesanal**

**Fernando José Alomía Aldaz**

**Alejandro Vinicio Gálvez Becerra**

**Bryan Stalin Rayo Guerrero**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Patricio Gabriel Chiriboga Arroyo, PhD**

Quito, 9 de Mayo de 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Fernando José Alomía Aldaz

Código: 00205607

Cédula de identidad: 1720538634

Lugar y fecha: Quito, 9 mayo de 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Alejandro Vinicio Gálvez Becerra

Código: 00139980

Cédula de identidad: 1717464414

Lugar y fecha: Quito, 9 mayo de 2022

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Bryan Stalin Rayo Guerrero

Código: 00140067

Cédula de identidad: 1723010771

Lugar y fecha: Quito, 9 mayo de 2022

## ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## UNPUBLISHED DOCUMENT

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

El negocio de la cervecería artesanal se ha beneficiado a lo largo de los años ya que cuenta con un producto rentable. El presente proyecto exhibe la fabricación de una máquina llenadora semiautomática de cerveza a contrapresión la cual será utilizada en la cervecería Encuentro, desde su etapa inicial (análisis presupuestario - cálculos estructurales - diseño de planos mecánicos y eléctricos - programación del sistema de control) hasta su etapa final (construcción estructural - montaje - instalación). La máquina tiene capacidad para suministrar 90 litros de cerveza en 300 botellas durante 60 minutos. El prototipo final consta de 3 subsistemas analizados individualmente para facilitar el diseño; Para la parte de control el sistema es comandado por un PLC y para el sistema de envasado el sistema cuenta con llenadoras a contrapresión de acuerdo a lo solicitado por el cliente. Un componente importante en la máquina es la estructura, en este caso los soportes no se pandean, la base móvil tiene una deflexión despreciable y la carga aplicada no afecta la unión permanente, para trabajos que se realicen a futuro se debe tomar en cuenta que la mejor opción es implementar un sistema de resorte-masa para absorber la energía producida por la diferencia de presiones dentro de la botella de cerveza, así mismo realizar estudios de vibraciones de la estructura teórica, agregar una puerta corrediza en la parte frontal de la estructura para un manejo más sencillo de la misma y tapar el pistón con una estructura metálica que mejore el aspecto del prototipo.

Palabras clave: Cerveza artesanal, PLC, Llenadora semiautomática, Base móvil

## ABSTRACT

The craft brewery business has benefited over the years from a profitable product. This machine project exhibits the manufacture of a semi-automatic counter-pressure beer filler which will be used in the Encuentro brewery, from its initial stage (budget analysis - structural calculations - design of mechanical and electrical drawings - programming of the control system) to its final stage (structural construction - assembly - installation). The machine has the capacity to supply 90 liters of beer in 300 bottles for 60 minutes. The final prototype consists of 3 subsystems analyzed individually to facilitate the design; For the control part, the system is commanded by a PLC and for the packaging system, the system has counter-pressure fillers as requested by the client. An important component in the machine is the structure, in this case the supports do not buckle, the mobile base has a negligible deflection and the applied load does not affect the permanent joint, for future work it must be taken into account that the The best option is to implement a spring-mass system to absorb the energy produced by the pressure difference inside the beer bottle, as well as carry out vibration studies of the theoretical structure, add a sliding door in the front part of the structure to easier handling of it and cover the piston with a metal structure that improves the appearance of the prototype.

Keywords: Craft beer, PLC, Semi-automatic filler, Mobile base



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
Declaración y especificación del proyecto .....	17
Conceptos de diseño y selecciones. ....	18
Gestión de proyecto .....	24
Normas de Ingeniería.....	26
MATERIALES Y METODOS .....	27
Selección de materiales y componentes .....	27
Diseño para la fabricación.....	28
Flujograma de manufactura de primer nivel.....	29
RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	33
Análisis de Ingeniería .....	33
Selección del pistón neumático .....	33
Diámetro del pistón .....	34
Cálculos estructurales .....	35
Estudio estático.....	39
Análisis estructural de los soportes de la estructura.....	44
Estudio estático.....	46
Soldadura en las juntas .....	52
Estudio estático.....	54
Cálculos de fluidos .....	56
Código para la programación del PLC .....	63
Conexiones al controlador PLC .....	66
Simulaciones .....	67
Experimento de ingeniería para la verificación.....	70
Plan de prueba del prototipo.....	74
Validación del sistema mecánico .....	75
Validación del sistema eléctrico.....	75
Validación del sistema neumático.....	76
Validación del sistema de distribución y llenado .....	76
Recomendación para evitar el percance:.....	78
Análisis de Riesgos .....	79
Sección de seguridad .....	82
Información del producto .....	83

Descripción del producto .....	85
Sección de mantenimiento .....	85
Sección de Operación .....	86
Operación de llenado .....	88
Discusiones .....	92
Conclusiones .....	93
Trabajos a Futuro .....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	95
APENDICES .....	96
Apéndice A .....	96
Evaluación de criterios para obtención del prototipo final. ....	96
Apéndice B .....	98
Diagrama de Gantt utilizado durante el proceso de creación del proyecto. ....	98
Anexos A .....	98
Código .....	98
Resultados con el barril de cerveza por debajo de la distribuidora .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Subsistemas del prototipo final .....	17
Tabla 2 : Alternativas de diseño para la envasadora de cerveza .....	18
Tabla 3: Criterios y su evaluación.....	23
Tabla 4: Evaluación de criterios .....	24
Tabla 5 Tareas programadas .....	24
Tabla 6 Plan de costo llenadora seccionada.....	25
Tabla 7 Normas de Ingeniería .....	26
Tabla 8: Evaluación del peso específico del tercer criterio “Precisión” .....	27
Tabla 9: Importancia de soluciones .....	28
Tabla 10: Prioridad de selección .....	28
Tabla 11: Componentes manufacturados y sus tecnologías de fabricación.....	29
Tabla 12: Cronograma de fabricación .....	29
Tabla 13: Parámetros tomados en cuenta durante el proceso de manufactura .....	29
Tabla 14 Diferencia de presiones en las distribuidoras .....	73
Tabla 15: Diferencia de caudales en las distribuidoras .....	73
Tabla 16 Plan de prueba del prototipo .....	74
Tabla 17 Definiciones de acciones para completar 1. ....	75
Tabla 18 Definición de acciones a completar 2. ....	76
Tabla 19 Definición de acciones a completar 3. ....	76
Tabla 20 Definiciones de acciones para completar 4. ....	76
Tabla 21: Identificación de riesgos.....	80
Tabla 22: Lista de partes .....	83
Tabla 23 Evaluación del peso específico del criterio 1: costo. ....	96
Tabla 24: Evaluación del peso específico del criterio 2: montaje y desmontaje. ....	96
Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio 3: dimensiones .....	96
Tabla 26: Evaluación del peso específico del criterio 4: precisión.....	96
Tabla 27: Evaluación del peso específico del criterio 5: seguridad .....	96
Tabla 28: Evaluación del peso específico del criterio 6: dificultad de construcción y cálculos.....	97
Tabla 29: Evaluación del peso específico del criterio 7: diseño estético. ....	97
Tabla 30: Evaluación del peso específico del criterio 8: mantenimiento .....	97
Tabla 31: Evaluación del peso específico del criterio 9: tiempo de vida útil. ....	97
Tabla 32: Evaluación del peso específico del criterio 10: eficiencia. ....	97
Tabla 33: Resultados finales de la ponderación de los criterios.....	97
Tabla 34: Diagrama de Gantt .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Maquina de embotellado moderna (Jiangsu Tom Intelligent Equipment Co. 2022) .....	15
Figura 2 Esquema de la primera solución (Solución A).....	19
Figura 3: Esquema de la segunda solución (Solución B).....	20
Figura 4: Esquema de la cuarta solución (Solución C). .....	21
Figura 5: Esquema de la tercera solución (Solución D) .....	22
Figura 6: Esquema de la quinta solución (Solución E). .....	23
Figura 7 Esquema de un pistón neumático son sus partes (FluidSim).....	34
Figura 8: Estructura con la placa móvil (izquierda), placa móvil (derecha) .....	36
Figura 9: Dimensiones de la plancha móvil .....	36
Figura 10: Llenadoras acopladas en cervezas.....	37
Figura 11: Área de análisis general (izquierda) y simplificada (derecha).....	37
Figura 12: Sección de análisis simplificada .....	38
Figura 13: Plancha móvil ajustada al émbolo del pistón mediante tuercas .....	38
Figura 14: Diagrama de cuerpo libre de la base móvil simplificada .....	39
Figura 15: Corte sección A-C, método de secciones.....	40
Figura 16: Corte sección C-B .....	41
Figura 17: Sección transversal de la palca móvil simplificada .....	42
Figura 18: Estructura con sus componentes (izquierda), estructura sin componentes (central), soportes.....	44
Figura 19: Dimensiones de los soportes rectangulares .....	44
Figura 20: Efecto de la carga excéntrica sobre los soportes (Beer, 2010). .....	45
Figura 21: Cargas aplicadas en la plancha fija .....	45
Figura 22: Efecto de la carga excéntrica al aplicarse en un plano asimétrico.....	46
Figura 23: Diagrama de cuerpo libre de los soportes.....	47
Figura 24: Columna con extremo fijo y uno libre (Beer, 2010).....	47
Figura 25: Sección transversal de los soportes.....	48
Figura 26: Momentos aplicados en el soporte inferior izquierdo .....	50
Figura 27: Distancia máxima del plano neutro a la superficie exterior en el soporte inferior izquierdo .....	51
Figura 28: Soldadura a tope y filete en la estructura de la máquina semiautomática, proyección isométrica (izquierda), vista inferior (derecha) .....	53
Figura 29: Soldadura en los bordes superior e inferior de una viga en voladizo (Shigley, 2010).....	53
Figura 30: Sección de análisis de la soldadura .....	54
Figura 31: Diagrama de cuerpo libre de la viga en voladizo .....	54
Figura 32: Recorrido de la cerveza por sistema.....	57
Figura 33: Secciones de análisis .....	57
Figura 34: Opciones de diseño .....	58
Figura 35: Paso de la cerveza desde el barril hasta la distribuidora .....	59
Figura 36: Sección de análisis.....	59
Figura 37: Distribuidora por encima del barril de cerveza .....	62
Figura 38 Figura 1: Accionamiento del pistón .....	63
Figura 39 Activación de válvula de dióxido de carbono .....	64
Figura 40 Activación de la válvula de purga .....	64
Figura 41 Cerrado de línea de gas y abertura de línea de cerveza .....	65
Figura 42 Liberación de la presión dentro de la botella .....	65
Figura 43 Extracción del remanente de presión dentro de la cerveza .....	65

Figura 44 Contracción del pistón .....	66
Figura 45 Diagrama de control del sistema de llenado .....	67
Figura 46 Parámetros establecidos .....	68
Figura 47 Resultados simulación estructura .....	68
Figura 48 Resultados simulación de las llenadoras .....	69
Figura 49 Distribuidora con espacio de almacenamiento circular (distribuidora a) .....	70
Figura 50 Distribuidora con espacio de almacenamiento cilíndrico con radio mayor (distribuidora b) .....	71
Figura 51 Distribuidora con espacio de almacenamiento cilíndrico con radio menor (distribuidora c) .....	71
Figura 52 Resultados en la distribuidora a .....	72
Figura 53 Resultados en la distribuidora b .....	72
Figura 54 Resultados en la distribuidora c .....	72

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las bebidas alcohólicas forman parte de un mercado extenso en consumo, por lo que innovar y mejorar los procesos de producción es un reto constante. Uno de los productos de mayor producción y consumo es la cerveza. En el Ecuador, la industria de bebidas representa el 61% de participación dentro del mercado nacional, en el 2019, las ventas totales de la industria ecuatoriana de bebidas malteadas y de malta sumaron alrededor de 636 millones de dólares, equivalente al 75% del restante de bebidas alcohólicas (licores – vinos). El 91% de las bebidas son producidas y comercializadas a nivel nacional, el 9% restante corresponden a productos de importación.

Debido a que la cerveza se ha vuelto un negocio estable y completamente rentable, cientos de pequeñas y grandes empresas producen, procesan y expenden cerveza. Hoy en día existen varias empresas que se dedican a la creación de cerveza artesanal, a diferencia de la cerveza industrial que se pasteuriza y contiene conservantes, esta se caracteriza por su gran variedad de sabores, el uso de ingredientes totalmente naturales y sus distintos grados de alcohol que agradan a diferentes paladares según el gusto de los comensales.

La implementación de la automatización ha significado un gran avance en la industria cervecera hasta el punto de que hoy en día existen máquinas capaces de acelerar el proceso completo de envasado. Un ejemplo de este tipo de máquinas es DGP-SCZ-6, la cual es una máquina moderna dentro del mercado, entre sus ventajas destaca la capacidad de envasar 1400 botellas por hora, posee un sistema de control automatizado capaz de regular el posicionamiento de un vástago direccionado para 6 válvulas de llenado, posee un sistema estructural de estandarización GMP, un nivel de precisión ( $5\text{ L} \pm 2.5\text{ ml}$ ) y su estructura mecánica es completamente desmontable con la capacidad de adaptarse a diversas condiciones de trabajo (Jiangsu Tom Intelligent Equipment CO. 2022).



*Figura 1 Máquina de embotellado moderna (Jiangsu Tom Intelligent Equipment Co. 2022)*

La joven empresa cervecera artesanal “Encuentro” es un proyecto de 3 ingenieros mecánicos ecuatorianos que unieron experiencia, conocimiento y destreza para darle un toque personal a la degustación de cerveza artesanal. La empresa tiene alrededor de 3 años de existencia, sin embargo, fue establecida oficialmente en el año 2020 con la finalidad de crear cervezas diferentes, las cuales, brinden a sus comensales una experiencia única y agradable a través de su degustación. Existen ocho sabores de cerveza los cuales son: “frutos rojos, cacao, whisky, capuchino, miel, trigo, maracuyá y altenier” mismos que se distinguen uno del otro por su concentración de alcohol y el tipo de fermentación que reciben. Actualmente, los diferentes tipos de cervezas producidos por “Encuentro” van siendo aceptadas con gran fuerza en el mercado con el pasar de los días, como consecuencia, los niveles de producción necesarios están por muy debajo de lo requerido.

Encuentro, enfatiza, y apuesta al envasado de cerveza artesanal por contrapresión para reducir los niveles de oxidación de la cerveza por el contacto con el oxígeno, por este motivo resulta ser una de las tareas más importantes a la hora del envasado, una disminución en el proceso de oxidación garantiza preservar las propiedades, características y volumen adecuado de toda clase de cerveza. Actualmente, el proceso por contrapresión es bastante común dentro del envasado de cerveza artesanal, sin embargo, disponer de un sistema de control capaz de

efectuar este proceso de manera eficiente resulta ser una buena alternativa para las pequeñas y grandes empresas dedicadas a la producción y envasado de cerveza.

Por esta razón, se tiene como propósito incrementar la participación en el mercado a la empresa artesanal “Encuentro” mediante la implementación de un mecanismo modular de ingreso y salida manual de botellas en una maquina automática de llenado de cerveza artesanal, que cumpla los requerimientos del cliente y los máximos estándares de calidad impuestos por la norma alimenticia AISI 304, ISO 22000, INEN 340, INEN 1837, entre otras. Además, se debe cumplir con la tasa de llenado de cinco botellas en un tiempo máximo de un minuto, tomando en cuenta la implementación de un mecanismo de seguridad a base de breakers y relés térmicos que salvaguarden los componentes esenciales de la máquina, tomando en consideración los costos de producción en función del presupuesto establecido, y los equipos disponibles.

Con el fin de promover el diseño ingenieril, el siguiente proyecto presenta la fabricación de una máquina semiautomática de llenado de cervezas por contrapresión, desde su etapa inicial (análisis de presupuesto - cálculos estructurales – diseño de planos mecánicos y eléctricos – programación del sistema de control) hasta su etapa final (construcción estructural– ensamble - instalación). La máquina debe estar en la capacidad de suministrar 90 litros de cerveza en 300 botellas durante un tiempo establecido de 60 minutos, además de estandarizar la velocidad de vertido de forma más exacta para minimizar la generación de espuma dentro del envase para optimizar el volumen de cerveza producido y con ello reducir el tiempo de llenado en un 10% dado que la máquina tardará 10.5 segundos menos que una persona en envasar las cinco cervezas. Además, la maquina deberá acoplarse en un área de 2 metros cuadrados (2 metros de largo x 1 metro de ancho). La máquina será más económica con respecto a las demás maquinas del mercado puesto que tendrá implementado un método de



distribución de cerveza poco convencional, será una alternativa para que las empresas pequeñas puedan automatizarse.

### **Declaración y especificación del proyecto**

El sistema puesto en marcha es una máquina semiautomática de botellas de cervezas con la capacidad de suministrar 1.5 litros de cerveza para cinco botellas de 300 mililitros en 17 segundos, el proceso de llenado consta en ingresar manualmente las botellas, posteriormente se realiza el proceso de llenado automático y se retiran las botellas de manera manual. Los componentes que conforman este sistema son: el actuador, encargado de suministrar energía al sistema, los mecanismos, encargados de transmitir y transformar las fuerzas o movimientos, los sensores, encargados de medir las variables físicas y convertirlas en variables eléctricas, y el controlador, encargado de interpretar las señales enviadas por los sensores y mandar una señal de respuesta hacia el actuador. El prototipo final constara de 3 subsistemas, mismos que han sido analizados por individual para facilitar el diseño.

*Tabla 1: Subsistemas del prototipo final*

<b>Control (ON-OFF-Activación y desactivación de los componentes)</b>
<b>Desplazamiento (Sistema móvil – Base móvil)</b>
<b>Envasado (Vertido de cerveza con una mínima generación de espuma)</b>

Para la parte de CONTROL el sistema deberá ser comandado por un PLC y para el sistema de ENVASADO el sistema deberá llevar llenadores a contrapresión de acuerdo a lo solicitado por el cliente, estos dos parámetros son obligatorios en el diseño, es por esta razón que para estos 2 subsistemas generar posibles soluciones resulta innecesario. Sin embargo, el subsistema de DESPLAZAMIENTO es el sistema puesto en análisis, del cual fue necesario proponer diferentes tipos de soluciones.

Las alternativas de diseño dependen del tipo de actuador y sus mecanismos, cabe mencionar que el controlador usado es un PLC marca “CLICK” mismo que es proporcionado por el cliente para uso del prototipo, además, los sensores utilizados son: de contacto (botones e interruptores empleados para iniciar, detener y apagar el proceso).

Tabla 2 : Alternativas de diseño para la envasadora de cerveza

SOLUCIONES		
MÁQUINA DE LLENADO SEMIAUTOMÁTICA DE CERVEZAS A CONTRAPRESIÓN	<b>Solución A:</b>	Actuador eléctrico (motor trifásico) con un mecanismo de polea - piñón - tornillo sinfín (sistema móvil)
	<b>Solución B:</b>	Actuador eléctrico (servomotor) con un mecanismo de levas (base móvil)
	<b>Solución C:</b>	Actuador Neumático (compresor) con un mecanismo de válvulas - 1 pistón (base móvil)
	<b>Solución D:</b>	Actuador Neumático (compresor) con un mecanismo de válvulas - 1 pistón (sistema móvil)
	<b>Solución E:</b>	Actuador eléctrico (servomotor) con un mecanismo de cremallera y engranajes (sistema móvil)

### Conceptos de diseño y selecciones.

Durante el proceso de selección del subsistema (actuador) se consideraron cinco soluciones, cada una de ellas cuenta con los estándares y requerimientos solicitados por el cliente: La primera solución planteada (solución A) consta de un motor trifásico capaz de girar dos tornillos sinfín que desplacen el sistema (conformado de los llenadores de botellas y las mangueras de conexiones) hacia abajo para acoplar los llenadores a las cervezas y empezar el proceso de llenado, y hacia arriba, para desacoplar el sistema de las botellas y poder retirarlas. Además, este sistema consta de un mecanismo de: cuatro poleas, dos correas, un eje, un engranaje y dos tornillos sinfín.

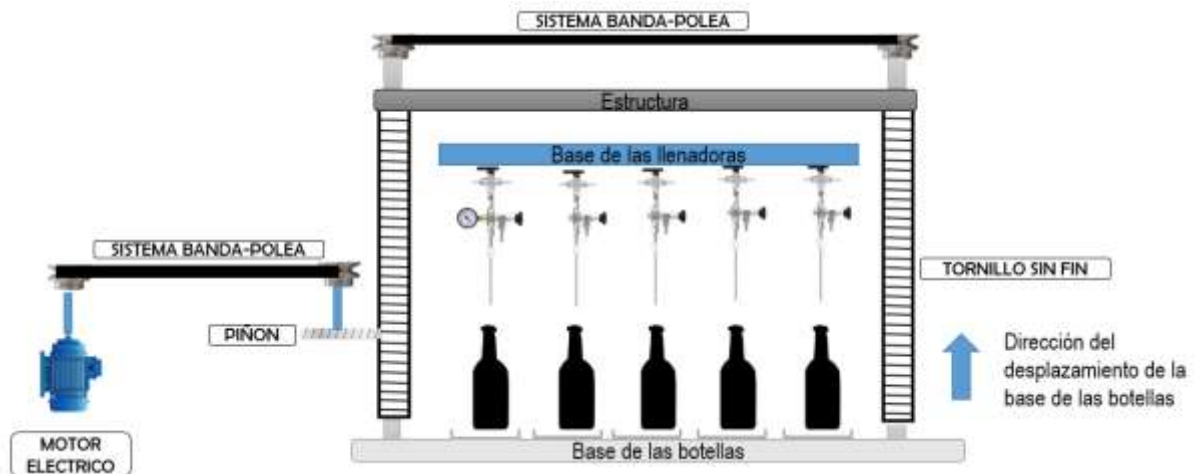


Figura 2 Esquema de la primera solución (Solución A).

En la figura 2 se puede apreciar el motor trifásico, los mecanismos de transmisión y la forma en que se encuentran organizados. Esta alternativa transforma el movimiento angular del motor en un movimiento lineal, para transformar el movimiento primero se transmite la energía mecánica del motor a través de las poleas (el motor gira la polea conductora), luego la polea conducida transmite el movimiento al engranaje que encaja con el tornillo sinfín, ubicado en el lateral izquierdo, y se desplaza el sistema. Por último, se emplea otro sistema de poleas y correa que acoplan a los tornillos sinfín situados en los lados del sistema, para que estos giren a la misma velocidad.

La segunda solución planteada (solución B) consta de un motor trifásico y un mecanismo de levas que se desplaza angularmente para trasladar verticalmente las botellas, para que estas se acoplen y desacoplen a las llenadoras.

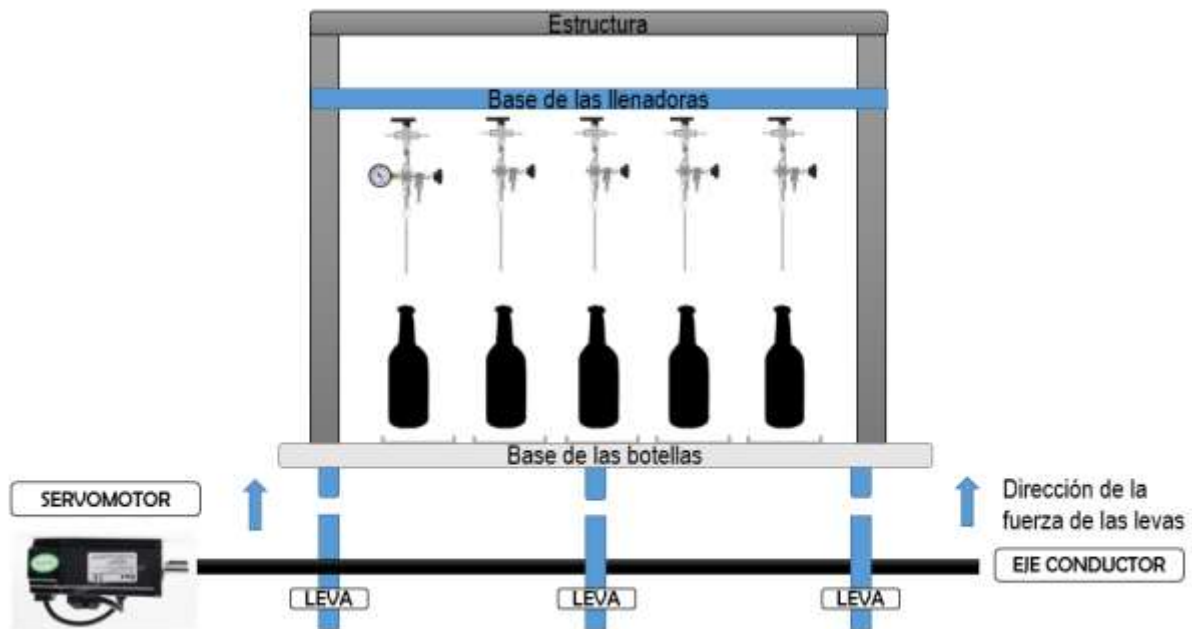


Figura 3: Esquema de la segunda solución (Solución B).

En la figura 3 se puede apreciar el servomotor, el mecanismo de leva y cómo se encuentran organizados. Esta alternativa, al igual que ocurre con la primera solución, transforma el movimiento angular del motor en un movimiento lineal. El movimiento circular se convierte en lineal empleando la leva, por lo tanto, se acopla el eje del motor al eje de las levas y éstas, posicionadas en la base inferior de las botellas, generan una fuerza perpendicular a la base de las botellas que eleva la base.

La tercera solución planteada (solución C) consta de un compresor y un mecanismo de válvulas y pistón. En este caso se emplea un actuador neumático que sostiene y desplaza los mecanismos sujetos en la rosca del pistón.

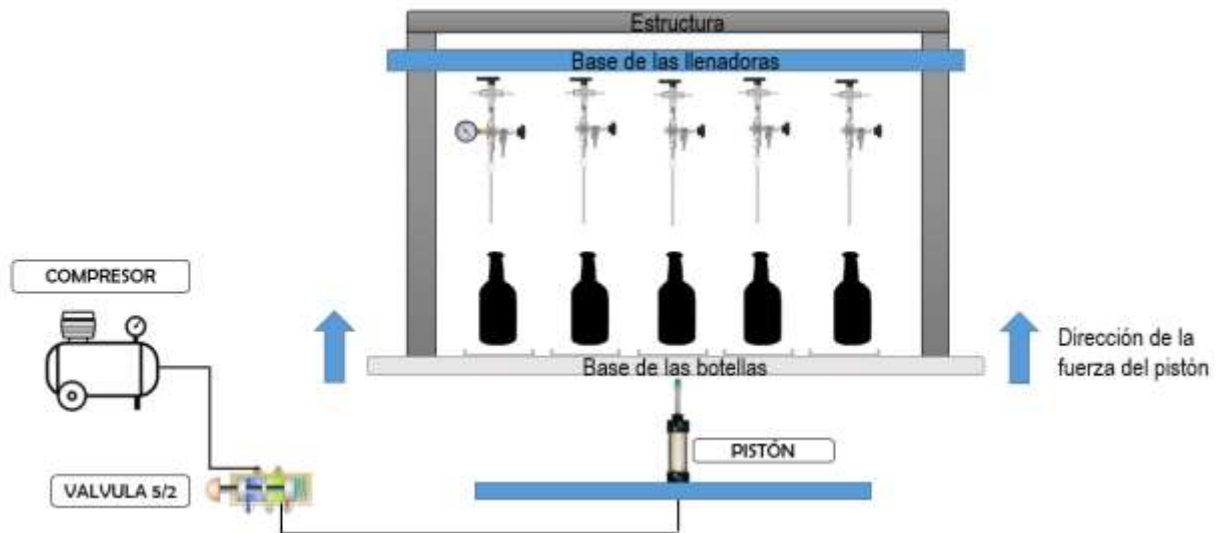


Figura 4: Esquema de la cuarta solución (Solución C).

En la figura 4 se puede observar el compresor, los mecanismos de válvula de doble efecto, pistones neumáticos y sus respectivas conexiones. Para este caso se emplean mangueras de conexiones entre el compresor y la válvula de doble efecto 5/2, que realiza funciones de mando para mover el cilindro pistón en dos direcciones. El desplazamiento y fuerza ejercida por los pistones (sobre la base de las botellas) dependen de la carrera del pistón y de la presión del sistema neumático respectivamente.

La cuarta solución planteada (solución D) consta de un compresor y un mecanismo de válvulas y un pistón. En este caso se emplea un actuador neumático para desplazar el sistema hacia abajo, acoplar las botellas de cerveza, llenarlas, y desplazar el sistema nuevamente hacia arriba para retirar las botellas.

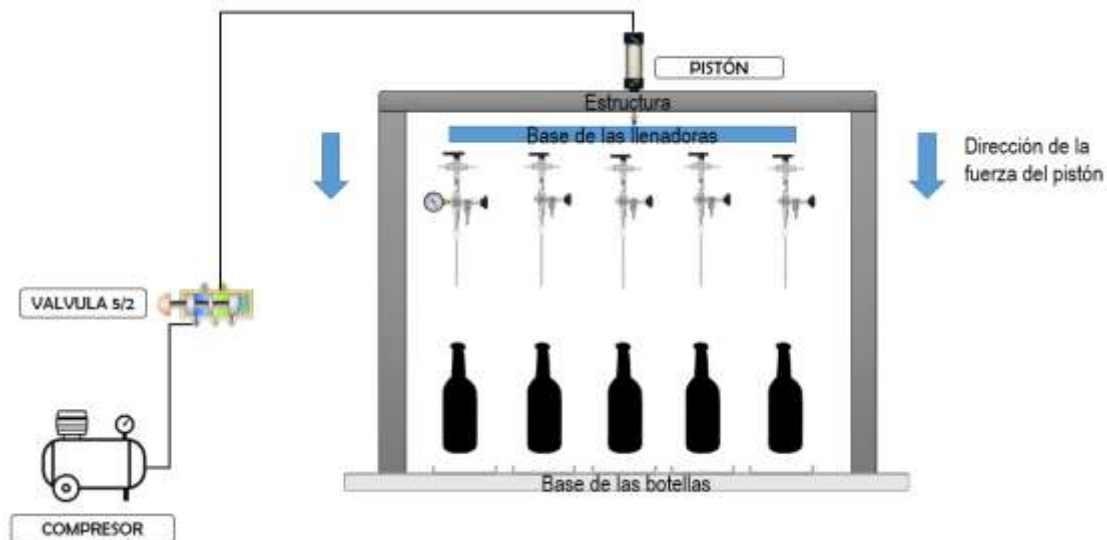


Figura 5: Esquema de la tercera solución (Solución D)

En la figura 5 se puede observar el compresor, los mecanismos de válvula de doble efecto, pistones neumáticos y sus respectivas conexiones. En este caso el aire comprimido se usa como fluido de transmisión que ejerce fuerza sobre el émbolo del pistón para que este empuje el vástago (que sostiene el sistema) hacia abajo, y cuando el émbolo se contraiga el sistema vuelve a su posición inicial.

Por último, la quinta alternativa (solución E) consta de un motor trifásico y un mecanismo de piñón cremallera, que permite desplazar el sistema hacia abajo cuando el motor gire a favor de las manecillas del reloj y hacia arriba cuando el motor gire en contra de las manecillas. Además, este sistema consta con: un motor trifásico, una cremallera, dos poleas, una correa y un conjunto de engranajes y dos guías.

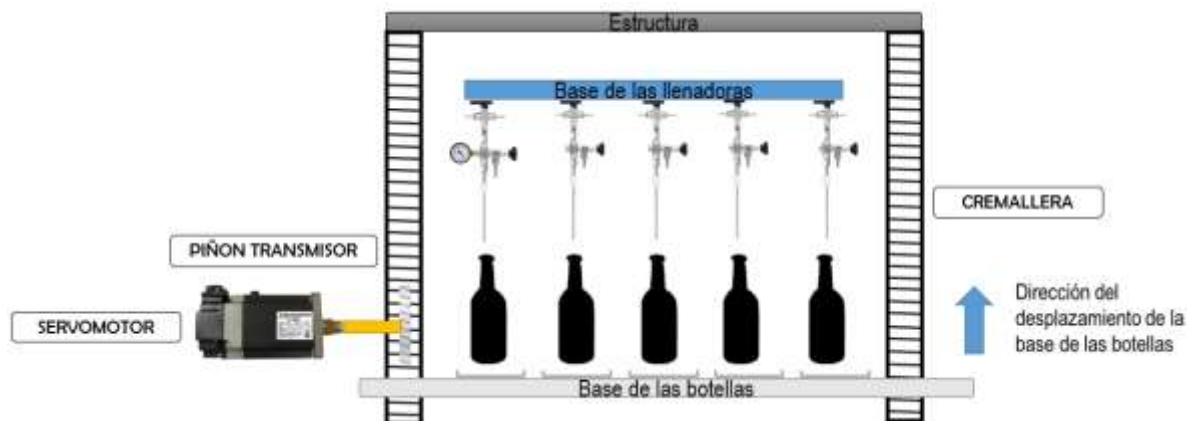


Figura 6: Esquema de la quinta solución (Solución E).

En la figura 6 se puede observar el servomotor los mecanismos de transmisión y la forma en que están dispuestos en el sistema. Esta alternativa emplea el servomotor acoplado a un sistema de poleas y correa para transmitir movimiento a los engranajes, que encajan con la cremallera y la desplaza. La cremallera se encuentra adherida al sistema, por lo tanto, cuando está se desplaza hacia arriba o abajo el sistema también se desplaza. Cabe mencionar que se emplean dos guías a los lados del sistema, que permiten al sistema seguir una trayectoria rectilínea.

### Evaluación de criterios

El método de selección del tipo de actuador y sus mecanismos toma en cuenta los siguientes criterios: costo, montaje y desmontaje, dimensiones, precisión, seguridad, dificultad de construcción y cálculos, diseño estático, mantenimiento, tiempo de vida útil y eficiencia.

Tabla 3: Criterios y su evaluación.

Criterios	Evaluación
Costo	¿Cuál de las alternativas es la más económica según sus componentes?
Montaje y Desmontaje	¿Cuál es la alternativa más sencilla para el montaje y desmontaje de la máquina?
Dimensiones	¿Cuál de las alternativas ocupa menor espacio?
Precisión	¿Cuál de las alternativas es más precisa para el acoplamiento de las botellas?
Seguridad	¿Cuál de las alternativas tiene mayor seguridad de las botellas?
Dificultad de construcción y cálculos	¿Cuál alternativa posee un proceso más sencillo de manufactura y sus cálculos son más sencillos?
Diseño estético	¿Cuál alternativa tiene mejor diseño estético?
Mantenimiento	¿Qué solución es más fácil de mantener y realizar una reparación?
Tiempo de vida útil	¿Cuál solución tiene un mayor tiempo de vida útil de sus componentes?
Eficiencia	¿Qué solución es más eficiente en el aspecto energético del actuador?

La tabla 3 muestra los criterios que evalúan cada una de las soluciones previamente planteadas. Se ponderaron estos criterios empleando una matriz de selección que asigna un

valor de uno cuando uno de los criterios es mejor que el otro, un valor de medio cuando los criterios tenían el mismo valor y un valor de cero cuando un criterio era peor que otro. Por ejemplo, el criterio del costo se considera que tiene mayor importancia que el criterio de las dimensiones, por lo tanto, se le asigna un valor de uno.

Tabla 4: Evaluación de criterios

Criterio	Costo	Montaje y Desmontaje	Dimensiones	Precisión	Seguridad	Dificultad de construcción y cálculos	Diseño estético	Mantenimiento	Tiempo de vida útil	Eficiencia	Suma+1	Ponderación del criterio
Costo	0.5	0.5	1	0	1	1	0.5	0.5	0	0	5.5	0.10
Montaje y desmontaje	0.5	1	0	0	1	1	1	0.5	0	0	5	0.09
Dimensiones	0	1	1	0	1	1	1	0.5	0	0.5	6	0.11
Precisión	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	0.5	8.5	0.15
Seguridad	0	0	0	0.5	1	0	1	0.5	1	0	4	0.07
Dificultad de construcción y cálculos	0	0	0	0.5	1	1	1	0.5	0	1	5	0.09
Diseño estético	0.5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1.5	0.03
Mantenimiento	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	5.5	0.10
Tiempo de vida útil	1	1	1	0	0	1	1	0.5	1	0	6.5	0.12
Eficiencia	1	1	0.5	0.5	1	0	1	0.5	1	1	7.5	0.14
											55	1

La tabla 4 muestra la evaluación entre cada uno de los criterios, en la columna de ponderación de criterio se muestra la ponderación total de cada criterio; ordenando los valores ponderados se obtiene qué criterios son más importantes.

*Precisión > Eficiencia > Tiempo de vida útil > Dimensiones > Costo > Mantenimiento  
> Dificultad de construcción = Seguridad = Montaje y desmontaje > Diseño estético*

## Gestión de proyecto

La gestión del proyecto se planificó con un diagrama de Gantt, en el que se determinaron y distribuyeron las tareas principales para cumplir los tiempos de entrega. El diagrama contiene los trabajos detallados que se realizaron durante la ejecución del proyecto

Tabla 5 Tareas programadas

	Tarea realizada	Duración	Empieza	Termina	% Completado
1	Planificación	7 días	18/1/2022	25/1/2022	100%
2	Diseño y cálculos	65 días	9/2/2022	15/4/2022	100%
3	Construcción	43 días	24/2/2022	7/4/2022	80%



<b>4</b>	Experimentación		28/4/2022	15/5/2022	100%
<b>5</b>	Portafolio	111 días	18/1/2022	15/5/2022	100%

El presupuesto destinado para el proyecto es de \$1000, de los cuales el 60 % contribuyó la empresa *Encuentro*. El presupuesto para el proyecto se dividió en 2 secciones, una sección destinada a la parte mecánica del prototipo y otra sección destinada a la parte eléctrica del sistema. En la siguiente tabla se muestra resumidos los valores correspondientes a la parte mecánica.

*Tabla 6 Plan de costo llenadora seccionada*

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	Pistón	\$154.56
<b>2</b>	Estructura de acero inoxidable 304	\$200
<b>3</b>	Base móvil de grilon	\$110
<b>4</b>	Llenadoras (5)	\$275
<b>5</b>	Cortinas plásticas (2m)	\$10,71
<b>6</b>	Cortes láser	\$28
<b>7</b>	Base de las cervezas	\$4
<b>8</b>	Picaporte	\$2
<b>9</b>	Planchas de grilón, prisioneros	\$58

<b>10</b>	Acrílico	\$30
<b>11</b>	Mangueras y acoples	\$20
<b>12</b>	Corchos	\$75
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 967.27</b>

Se puede observar que los principales gastos corresponden a las llenadoras, la estructura principal y el pistón. Su alto costo se debe a la compra de insumos cerveceros que en algunos casos no se pueden encontrar en el mercado local y se debieron exportar, cabe recalcar que la mano de obra no se encuentra considerada en el presupuesto presentado.

### **Normas de Ingeniería**

El diseño, la fabricación y la implementación de un proyecto debe cumplir con normas locales e internacionales para que este pueda ser patentado. Las normas son establecidas por un comité de profesionales los cuales determinan los requisitos obligatorios que se deben establecer para que un producto cumpla con las debidas normas de calidad, dichos estándares permitirán elaborar un producto no únicamente en el país de origen, sino también en diversos lugares del mundo donde se requiera necesidades similares. En la siguiente tabla se puede observar las normas que se rigen al proyecto actual.

*Tabla 7 Normas de Ingeniería*

---

<b>FUNCIONES</b>	<b>NORMA</b>	<b>APLICACIÓN</b>
------------------	--------------	-------------------

Determinar el contenido de alcohol etílico en bebidas destiladas.	INEN 340 / 1837	Envasado de cerveza artesanal en botella de vidrio.
Especifica los requerimientos que deben cumplir las empresas para suministrar alimentos.	ISO 22000	Garantizar un buen desarrollo para evitar fallos en la seguridad del envasado
Es el acero inoxidable el cual se utiliza para implementos de cocina gracias a su facilidad de desinfección.	AISIS 304	Armado de la estructura, llenadoras y base con la utilización de metal quirúrgico
Diseño y construcción de cilindros neumáticos de doble efecto con materias resistentes a la corrosión.	ISO 15552	Determinar el cilindro neumático de doble efecto que se utilizara para el movimiento de las llenadoras

## MATERIALES Y METODOS

### Selección de materiales y componentes

Siguiendo con el análisis presentado en la Tabla de criterios y evaluaciones (tabla 3), se aplicaron matrices de selección para determinar los mejores componentes para cada subsistema, se realizaron matrices de selección para cada criterio en función de las soluciones planteadas tal como se muestra a continuación para el criterio de precisión.

Tabla 8: Evaluación del peso específico del tercer criterio "Precisión"

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0.5	1	1	0.5	4	0.267
SOLUCIÓN B	0.5		1	1	0.5	4	0.267
SOLUCIÓN C	0	0		0.5	0	1.5	0.100
SOLUCIÓN D	0	0	0.5		0	1.5	0.100
SOLUCIÓN E	0.5	0.5	1	1		4	0.267
						15	1

La tabla 8 presenta el ponderado de calificación de cada solución; ordenando los valores ponderados se conoce qué soluciones son más precisas en el acople de las cervezas con el sistema.

$$\text{Solución A} = \text{Solución B} = \text{Solución E} > \text{Solución C} = \text{Solución D}$$

Solución tornillo sinfin = Solución levas > Solución cremallera > Solución pistón (sistema móvil) = Solución pistón (base móvil)

De la misma manera se realizaron matrices de selección para el resto de los criterios con los siguientes resultados.

Tabla 9: Importancia de soluciones

Criterio	Importancia de soluciones
Costo	Solución B > Solución E > Solución D = Solución C > Solución A
Montaje y Desmontaje	Solución C = Solución D > Solución B > Solución A > Solución E
Dimensiones	Solución C = Solución D > Solución A = Solución B > Solución E
Precisión	Solución A = Solución B = Solución E > Solución C = Solución D
Seguridad	Solución A = Solución B = Solución C > Solución D = Solución E
Dificultad de construcción y cálculos	Solución D > Solución C > Solución A = Solución B = Solución E
Diseño estético	Solución E > Solución A > Solución B > Solución C = Solución D
Mantenimiento	Solución D = Solución C > Solución B > Solución A = Solución E
Tiempo de vida útil	Solución D > Solución C > Solución E > Solución A = Solución B
Eficiencia	Solución C = Solución D > Solución A = Solución B = Solución E

La tabla 9 presenta la importancia de cada solución según cada criterio, las tablas de ponderación de cada criterio se encuentran adjuntas en los Anexos. Una vez obtenidos los ponderados de calificación de cada criterio tomando en cuenta las cinco soluciones se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10: Prioridad de selección

Solución	Suma de los productos	Prioridad
Tornillo sinfin [A]	0.188	4
Levas [B]	0.209	3
Neumático (base móvil) [C]	0.225	2
Neumático (sistema móvil) [D]	0.230	1
Cremallera [E]	0.149	5

La tabla 10 presenta la suma de los productos de cada criterio ponderado, el proceso detallado se presenta en los anexos. Una vez hecho la suma de los productos final, la solución que mayor prioridad tuvo es la D (sistema neumático con sistema móvil), la que fue la escogida.

### Diseño para la fabricación

Los procesos de manufactura son actividades y labores que se realizan para transformar las materias primas en productos elaborados (UCSP,2021). Estos procesos permiten entender de forma detalla y concisa el proceso de manufactura en una línea de producción; por lo tanto, son importantes a la hora de presentar el producto. En la fabricación de la llenadora

semiautomática de cervezas se manufacturan tres componentes: la estructura de acero inoxidable (elemento en el que se encuentran montadas las válvulas, las llenadoras, y el sistema en general), la base móvil (elemento que sostiene las válvulas, manteniéndolas en una posición fija), caja de madera para cervezas (elemento que contendrá las botellas de cervezas antes, durante y después del proceso de llenado).

Tabla 11: Componentes manufacturados y sus tecnologías de fabricación

Componentes manufacturados	Tecnologías de fabricación		
Estructura de acero inoxidable	Soldadura	Corte	Taladrado
Base móvil de grilón	Torneado	Fresado	Taladrado
Caja de madera para cerveza	Torneado	Fresado	Taladrado

Los componentes manufacturados en conjunto con los componentes comprados se ensamblan y se realizan pruebas de funcionamiento para entregar la máquina al cliente

**Flujograma de manufactura de primer nivel**



Cabe mencionar que los componentes comprados son: pistón, válvulas eléctricas, llenadoras, distribuidoras, mangueras y acoples.

La manufactura de los tres elementos está regida por el siguiente cronograma:

Tabla 12: Cronograma de fabricación

Actividades	Marzo		Abril			
	3	4	1	2	3	4
Fabricación de la estructura de acero						
Fabricación de la base móvil de grilón						
Fabricación de la caja de madera para cervezas						

Además, los plazos de fabricación, la empresa o personas encargadas de fabricar, la persona encargada, el costo y los indicadores de resultados son:

Tabla 13: Parámetros tomados en cuenta durante el proceso de manufactura

Actividades	Plazos de fabricación	Entidad de fabricación	Persona encargada	Materiales de entrada	Costo	Indicadores de resultados
Fabricación de la estructura de acero inoxidable	15/03/2022 - 30/03/2022	Jhon Henry Equipamiento Industrial	Fernando Alomia	1) Tubos rectangulares de 30 milímetros de lado 3) Tubos circulares de 1 centímetro de diámetro 2) Planchas de 4 milímetros	200 \$	1) Estabilidad 2) Acabado de soldadura 3) Medidas y tolerancias 4) Estética
Fabricación de la base móvil de grilón	28/03/2022 - 13/04/2022	Grupo cervecera	Bryan Rayo	1) Eje de grilón de 200 milímetros por 50 milímetros 2) Ejes de 50 milímetros por 200 milímetros	110 \$	1) Medidas y tolerancia 2) Ajuste con la llenadora 3) Estética
Fabricación de la caja de madera para cervezas	5/04/2022 - 20/04/2022	Grupo cervecera	Bryan Rayo	1) Eje de grilón de 250 milímetros por 70 milímetros	70 \$	1) Medidas y tolerancia 2) Ajuste y equilibrio de las botellas de cerveza al ingreso y durante el proceso 3) Estética

La hoja de procesos concisa los componentes a manufacturar, con sus dimensiones, tolerancias, personas a cargo, equipos de medida, etc. La manufactura de la base móvil y la base para cervezas toman en cuenta las siguientes hojas de procesos.

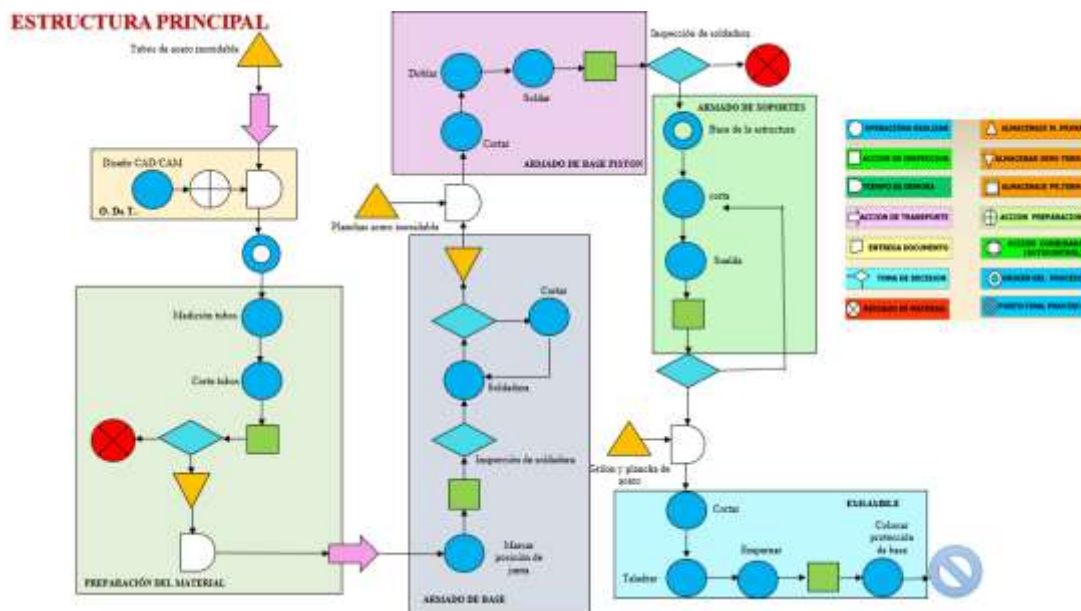
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA							
Responsable:	Bryan Rayo		Revisado Por:	ING. PATRICIO CHIRIBOGA			
Tema:	Llenador automatico de cerveza artesanal		Fecha de realizado:	30/03/2022			
			Fecha de presentación:	31/03/2022			
Pieza N°1	2a	Descripción:	Base para cervezas	Plano N°	1	Cantidad	1
Material	Acero Inox 304		Responsable:				
TAREAS	HERRAMIENTAS		OPERARIO	TIEMPO EN MINUTOS			
Medir	Regla, flexometro, calibrador		Fernando Alomia	10			
Refrentar	Fresa		Bryan Rayo	30			
Desbastar	Fresa		Bryan Rayo	30			
Acabado	Lija		Alejandro Galvez	10			
Material	Acero Inox 304	Responsable:	Bryan Stalin Rayo				
TAREAS	HERRAMIENTAS		OPERARIO	TIEMPO EN MINUTOS			
Medir y Marcar	Regla, flexometro, calibrador, graduador, marcador de acero		Fernando Alomia	30			
Desbastar	Tomo		Bryan Rayo	60			
Perforado	Taladro		Bryan Rayo	10			
Fresar	Fresa		Alejandro Galvez	40			
Roscado	Machuelo		Fernando Alomia	35			
Acabado	Tomo		Bryan Rayo	15			
Unión	Martillo de goma		Alejandro Galvez	10			

Cabe mencionar que la estructura de acero inoxidable no es un componente crítico en cuanto a las tolerancias que deben tener, ya que el resto de las componentes deben acoplarse a esta estructura.

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los tres componentes con los procedimientos que se deben seguir para manufacturar cada uno de estos



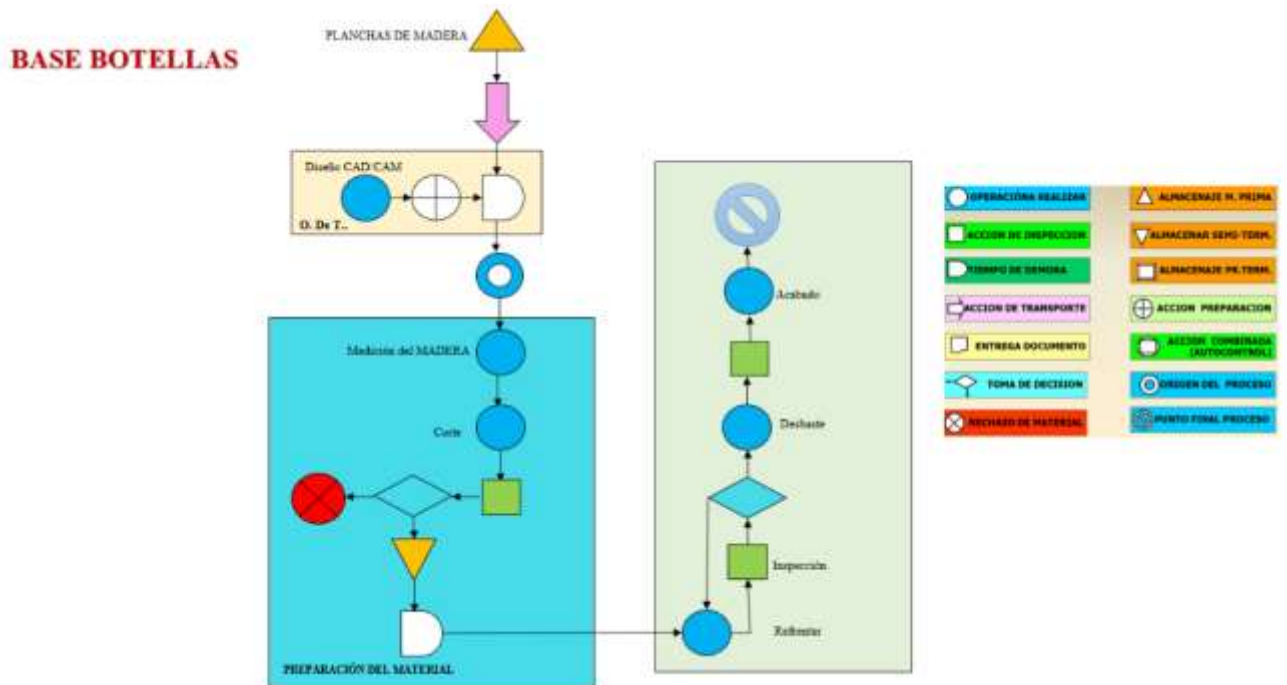
Para el caso de la estructura principal se deben tomar en cuenta los siguientes elementos para manufacturar dicha pieza, a continuación, se puede observar más a detalle el proceso por el cual debe pasar la estructura:



La estructura principal se manufactura empleando tubos rectangulares de acero inoxidable, que se cortan y luego se sueldan. La soldadura se realiza en las uniones de los tubos y se inspecciona la suelda para comprobar que sea la correcta (sin porosidad, sobre montas, etc). Por último, se

suelda una plancha de acero inoxidable 304 en la parte superior de la estructura donde irá empernado el pistón.

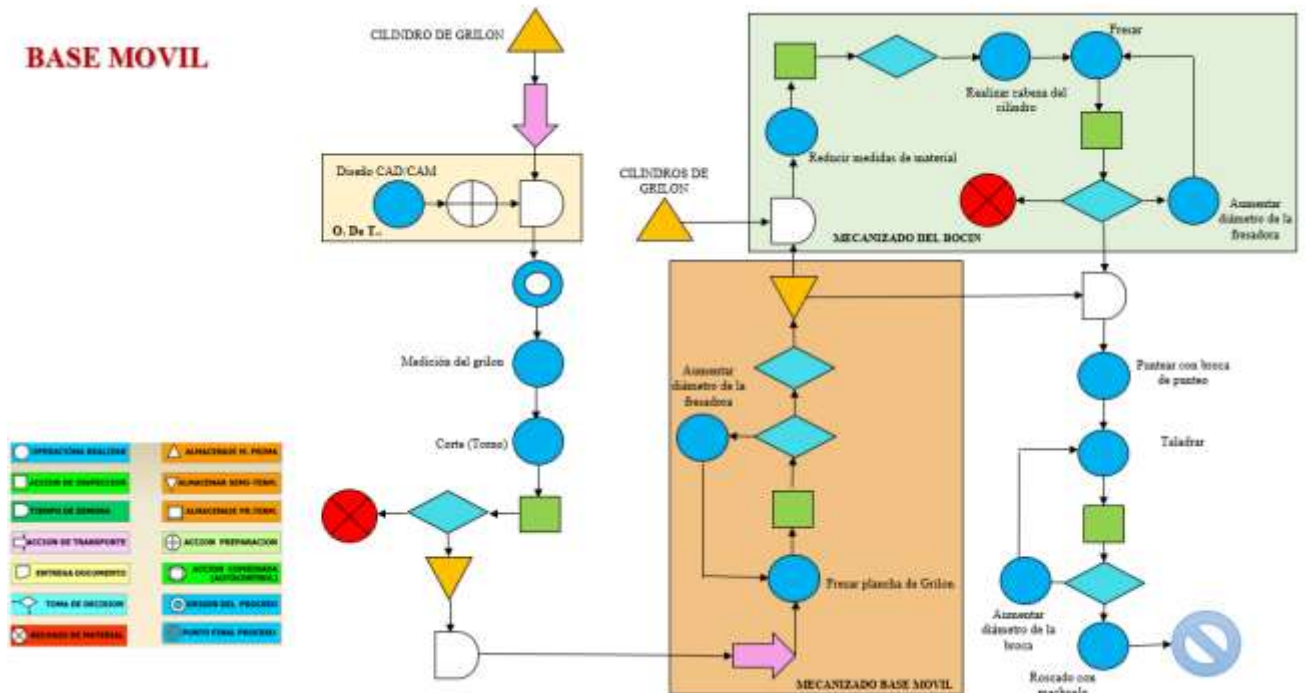
Así mismo existe un proceso determinado que es llevado a cabo para la fabricación de las bases de las botellas el cual se representa a continuación:



La base de las botellas parte de una plancha de madera que se corta y se deja a medida, se refrenta y se desbasta para dejar agujeros que contengan las botellas de cerveza.

Por último, se tiene el proceso el cual es llevado a cabo para la fabricación de la base móvil, la cual cumple la función de sostener las llenadoras:





La base móvil está hecha a partir de grilon, al que se le realizan agujeros en la fresadora y se le inserta a presión bocines de grilon (los bocines contienen agujeros en donde se encuentran prisioneros para fijar la posición de las llenadoras).

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### Análisis de Ingeniería

#### Selección del pistón neumático

El pistón neumático es un actuador que transforma la energía en forma de aire comprimido en energía mecánica, la energía mecánica realiza trabajo sobre el émbolo del pistón para que este se desplace linealmente (Brunete, 2010).

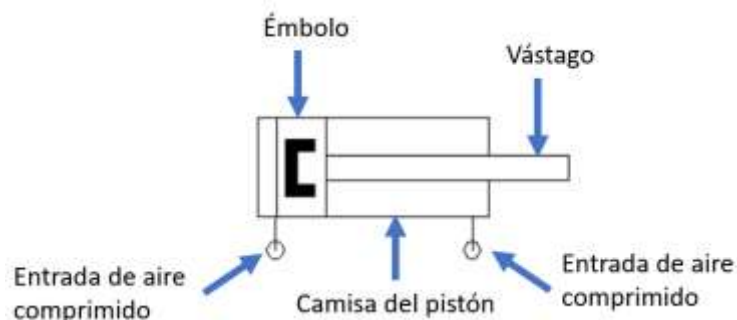


Figura 7 Esquema de un pistón neumático con sus partes (FluidSim)

En la Figura 7 se presenta el esquema de un cilindro pistón doble efecto que se empleó en la máquina semiautomática de cerveza, dado que posee dos entradas de aire que causan el avance o contracción del vástago. Para este caso en particular el pistón es el encargado de sujetar y desplazar la base móvil, y su método de selección se basa en la fórmula general de la presión.

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

Donde  $P$  es la presión del aire comprimido,  $F$  es la fuerza que debe cargar y  $A$  es la sección transversal donde se almacena el aire. Para seleccionar el tipo de pistón se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se trabaja a una presión de 10 psi o 68947.6 [Pa]
- La presión del aire a la salida del compresor o dispositivo que comprime el aire es la misma en todo el sistema

### Diámetro del pistón

El diámetro del pistón es una incógnita presente en la ecuación del área transversal

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Donde  $D$  es el diámetro del pistón.

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

La carga que debe soportar el pistón es el peso de las cinco llenadoras más el peso de la base móvil.

- Peso base móvil = 5.45 [N]
- Peso llenadoras = 4.45 [N]

$$Carga (F) = \text{Número de llenadoras} \times \text{peso llenadoras} + \text{peso base móvil}$$

$$F = 5 \cdot 4.45[N] + 5.45$$

$$F = 27.7 [N]$$

El diámetro del pistón requerido es

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

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

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{27.7[N]}{68947.6[\text{Pa}]}}$$

$$D = 0.018 [m] \text{ o } 18 [mm]$$

### Cálculos estructurales

Debido a las cargas producidas por las llenadoras de cerveza, el peso cargado por el pistón, el peso de la base móvil de las cervezas y el peso de los distribuidores de cerveza, se consideró que las partes críticas de la estructura eran: la base móvil (debido a la flexión) y los soportes (debido al pandeo.).

#### a) Análisis estructural de la base móvil de grilon

La base móvil de grilon debe sostener las llenadoras y está sostenida por el pistón.



Figura 8: Estructura con la placa móvil (izquierda), placa móvil (derecha)

Las dimensiones de la base móvil son:

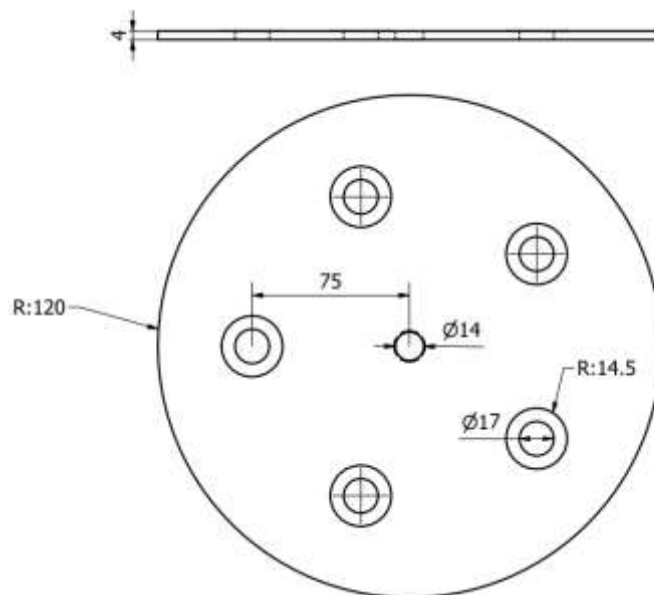


Figura 9: Dimensiones de la plancha móvil

Los pesos de las llenadoras, aplicados sobre la placa móvil, provocan flexión sobre esta y pueden causar deflexiones que eviten el acople entre las llenadoras y las cervezas.

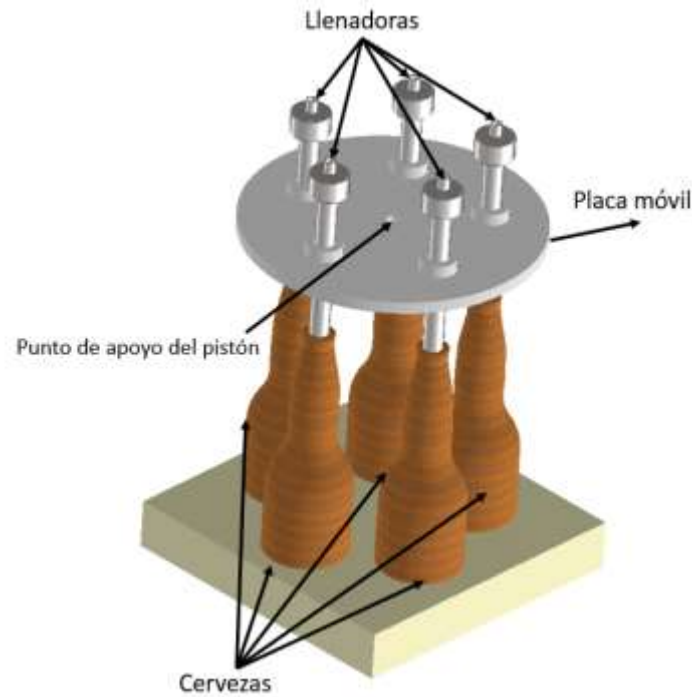


Figura 10: Llenadoras acopladas en cervezas

En la Figura 10 se puede apreciar el momento en el que las llenadoras se acoplan a las cervezas, cabe mencionar que las llenadoras se encuentran sostenidas por la base móvil. Este problema tridimensional puede simplificarse mediante una aproximación a un problema en dos dimensiones empleando el método “ball-park” debido a la simetría de la plancha.

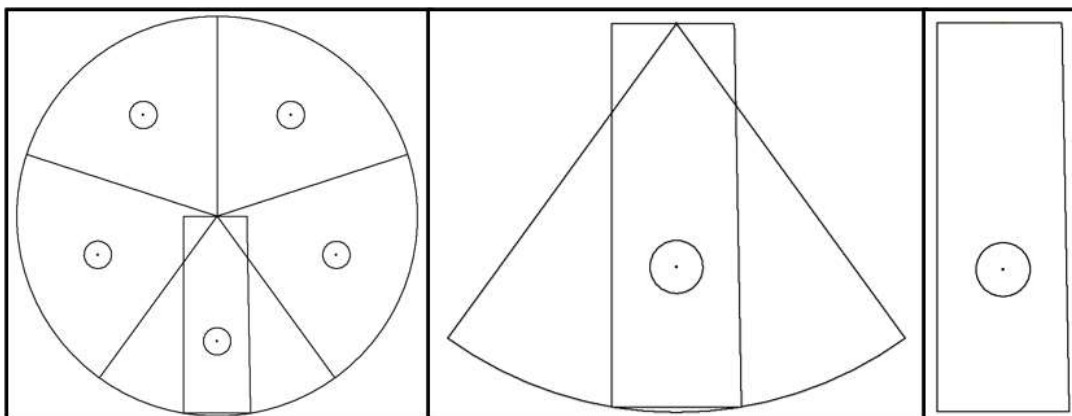


Figura 11: Área de análisis general (izquierda) y simplificada (derecha)

En la Figura 11 se muestra la división de la plancha en 5 secciones iguales (imagen izquierda), de estas cinco secciones se toma solo una de estas (imagen central) y por última esta puede simplificarse a una sección rectangular (imagen derecha).

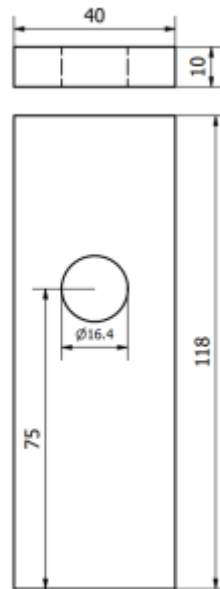


Figura 12: Sección de análisis simplificada

En la Figura 12 se presenta las dimensiones de la sección de análisis simplificada. El análisis simplificado toma en cuenta que el punto de apoyo del pistón actúa como un empotramiento que genera un momento y dos reacciones ya que su velocidad es constante y solo causa cambio en la posición de la base.

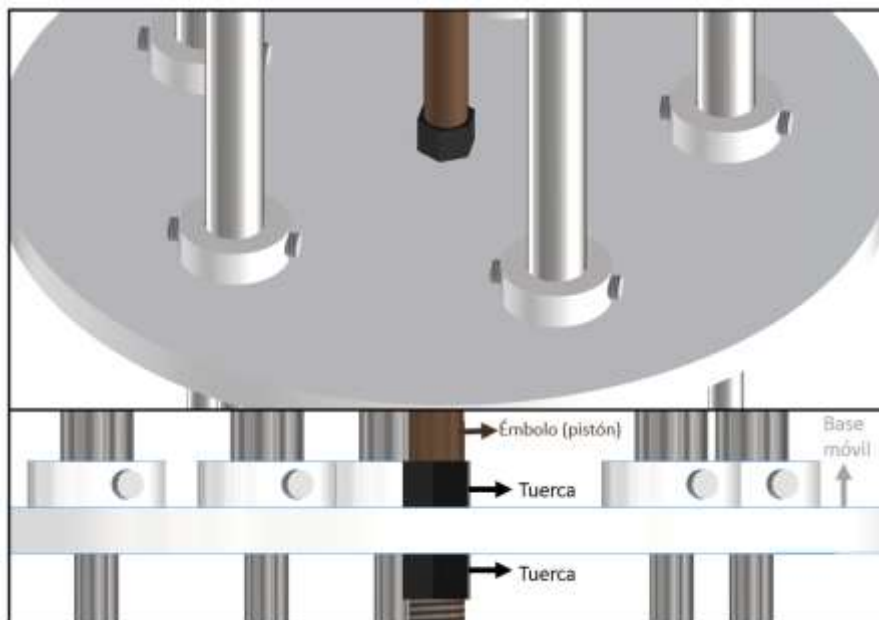


Figura 13: Plancha móvil ajustada al émbolo del pistón mediante tuercas

En la Figura 13 se muestra la forma en que se restringe a la base móvil, de tal forma que esta no se pueda mover (a menos que se expanda o contraiga el pistón).

## Estudio estático

En la base móvil de grilon se toman en cuenta los siguientes factores:

- Deformación máxima, medidor del pandeo de la base móvil
- Esfuerzo máximo, medidor de falla de la base móvil

Las ecuaciones empleadas para encontrar estos factores son obtenidas del libro de mecánica de materiales de Beer. Además, las suposiciones en este caso son:

- Representación del momento,  $M(x)$  dado por la flexión, con una sola función
- Carga distribuida de las llenadoras se simplifica con una sola carga aplicada en el centro de las llenadoras.
- La expansión y contracción del pistón tienen velocidad constante.

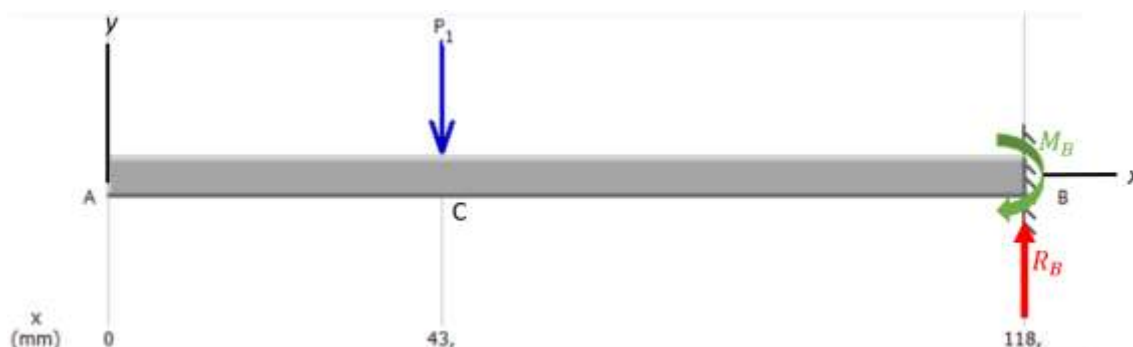


Figura 14: Diagrama de cuerpo libre de la base móvil simplificada

La Figura 14 presenta el diagrama de cuerpo libre de la base móvil, cabe recalcar que la reacción en  $x$  es cero ya que no hay otra carga que actúa en este sentido y el sistema es estático. Asimismo, la carga  $P_1$  representa el peso de una de las válvulas.

$$Peso_{llenadora} = 4.45[N]$$

Sumatoria de fuerzas en  $y$ , dirección hacia arriba positiva

$$\sum F_y = 0$$

$$R_B = P_1 = Peso_{llenadora}$$

$$R_B = 4.45 [N]$$

Sumatoria de momentos, momento positivo en dirección en contra a las manecillas del reloj.

$$\sum M_B = 0$$

$$R_B \cdot 75e - 3[m] - M_B = 0$$

$$M_B = 4.45[N] \cdot 75 \cdot 10^{-3}[m]$$

$$M_B = 0.33 [N - m]$$

Corte sección A – C

$$0 \leq x \leq 43 [mm]$$

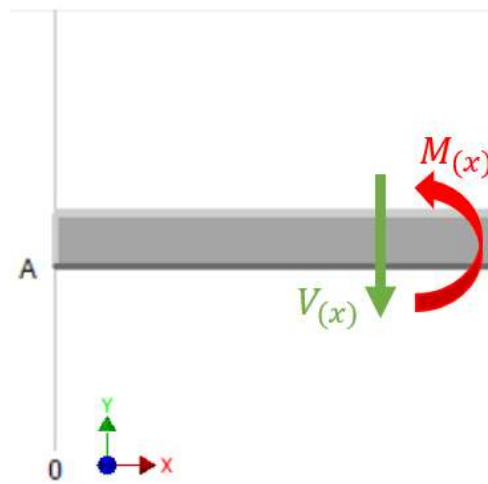


Figura 15: Corte sección A-C, método de secciones

En esta sección no existen fuerzas ni momentos actuando, por lo tanto el momento  $M_{(x)}$  y la fuerza cortante  $V_{(x)}$  en función de la distancia es igual a cero.

Corte sección C – B





Figura 16: Corte sección C-B

Sumatoria de fuerzas en el eje y, dirección hacia arriba positiva

$$\sum F_y = 0$$

$$-V_{(x)} - P_1 = 0$$

$$V_{(x)} = -4.45[N]$$

Sumatoria de momentos, momento positivo en dirección en contra a las manecillas del reloj.

$$\sum M_{(x)} = 0$$

$$M_{(x)} + P_1 \cdot (x - 0.043) = 0$$

$$M_{(x)} = -4.45 \cdot (x - 0.043)$$

$$M_{(x)} = -4.45x + 0.19$$

La ecuación diferencial de segundo orden que se emplea para calcular la deformación es

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{E \cdot I}$$

Donde  $M(x)$  es la representación del momento en función de la distancia  $x$ ,  $E$  es el módulo de Young, e  $I$  es el momento de inercia.

$$\frac{d^2y}{dx^2} \cdot E \cdot I = M_{(x)}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} \cdot E \cdot I = -4.45x + 0.19$$

Integrando en  $x$

$$\frac{dy}{dx} \cdot E \cdot I = -\frac{4.45}{2}x^2 + 0.19x + c1$$

Aplicando la condición de borde  $dy/dx = 0$  en  $x = 0.118$  dado que hay un extremo fijo en B.

$$\frac{dy}{dx} \cdot E \cdot I = -\frac{4.45}{2}x^2 + 0.19x + c1$$

$$0 = -\frac{4.45}{2}(0.118)^2 + 0.19(0.118) + c1$$

$$c1 = 8.6 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{dy}{dx} \cdot E \cdot I = -\frac{4.45}{2}x^2 + 0.19x + 8.6 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{dy}{dx} = \left(\frac{1}{E \cdot I}\right) - \frac{4.45}{2}x^2 + 0.19x + 8.6 \cdot 10^{-3}$$

Aplicando una segunda integral

$$E \cdot I \cdot y = -\frac{4.45}{6}x^3 + \frac{0.19}{2}x^2 + 8.6 \cdot 10^{-3}x + c2$$

En  $x = 0.118$  y  $y = 0$ , debido a la restricción fija

$$0 = -\frac{4.45}{6}(0.118)^3 + \frac{0.19}{2}(0.118)^2 + 8.6E - 3(0.118) + c2$$

$$c2 = -1.1 \cdot 10^{-3}$$

La ecuación de la curva elástica es

$$y = \left(\frac{1}{E \cdot I}\right) \left(-\frac{4.45}{6}x^3 + \frac{0.19}{2}x^2 + (8.6 \cdot 10^{-3})x - 1.1 \cdot 10^{-3}\right)$$

La deflexión máxima ocurre donde la pendiente de la curva elástica es igual a cero ( $dy/dx = 0$ ) que se presentó como condición de borde en  $x = 0.118$ [m]. Además el módulo de Young del grilon es 3.2 GPa (Aislantes SH, 2018) y considerando que la sección transversal de la plancha es rectangular, se tiene un momento de inercia

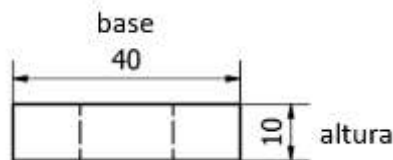


Figura 17: Sección transversal de la palca móvil simplificada

$$I = \frac{1}{12} \left( (40 \cdot 10^{-3}) \cdot (10 \cdot 10^{-3})^3 \right) [m^4]$$

$$I = 3.33 \cdot 10^{-5} [m^4]$$

$$y_{\max} = \left( \frac{1}{3.2E9 [Pa] \cdot 3.33 \cdot 10^{-5} [m^4]} \right) \left( -\frac{4.45}{6} (0.118m)^3 + \frac{0.19}{2} (0.118m)^2 + \dots \right. \\ \left. 8.6 \cdot 10^{-3} \cdot (0.118m) - 1.1 \cdot 10^{-3} \right)$$

$$y_{m\acute{a}x} = 1.78E - 10 [m]$$

El pequeño desplazamiento se debe en gran medida al espesor del grilón y a la baja carga que actuará sobre este.

Por último se calcula el esfuerzo debido a la flexión y se compara con el esfuerzo de fluencia del grilón para obtener el factor de seguridad,

$$\sigma_{flexión} = \frac{|M_{m\acute{a}x}| \cdot c}{I}$$

Donde  $M_{m\acute{a}x}$  es el momento máximo,  $c$  es la distancia máxima del plano neutro a la superficie de la placa móvil e  $I$  es la inercia anteriormente obtenida. El momento máximo ocurre donde mayor flexión existe, por lo tanto se calcula el momento cuando  $x = 0.118 [m]$ .

$$M_{(m\acute{a}x)} = -4.45[N] (0.118[m]) + 0.19[N - m]$$

$$M_{(m\acute{a}x)} = -0.34[N - m]$$

La distancia máxima  $c$  es la mitad de la altura o del espesor.

$$c = \frac{altura}{2}$$

$$c = \frac{10 \cdot 10^{-3} [m]}{2}$$

$$c = 5 \cdot 10^{-3} [m]$$

$$\sigma_{flexión} = \frac{0.34[N - m] \cdot 5 \cdot 10^{-3} [m]}{3.33 \cdot 10^{-5} [m^4]}$$

$$\sigma_{flexión} = 51 [Pa]$$

Dado que el esfuerzo de fluencia del grilón es 85 MPa (Aislantes SH, 2018), el factor de seguridad que se tiene es

$$Factor\ de\ seguridad\ (F.S.) = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{flexión}}$$

$$\text{Factor de seguridad (F. S.)} = \frac{85\text{E}6[\text{Pa}]}{51[\text{Pa}]}$$

$$F.S. = 1.67 \cdot 10^6$$

El factor de seguridad tan elevado se debe a la baja carga aplicada, que se deriva en un bajo momento máximo, además se trabaja con una geometría que no es tan pequeña, con un espesor de un centímetro.

### Análisis estructural de los soportes de la estructura.

Los soportes de la estructura deben sostener el peso de la base fija de acero inoxidable y los componentes que esta carga, a continuación se presenta el sistema armado en conjunto con sus componentes, el sistema sin sus componentes y los soportes.

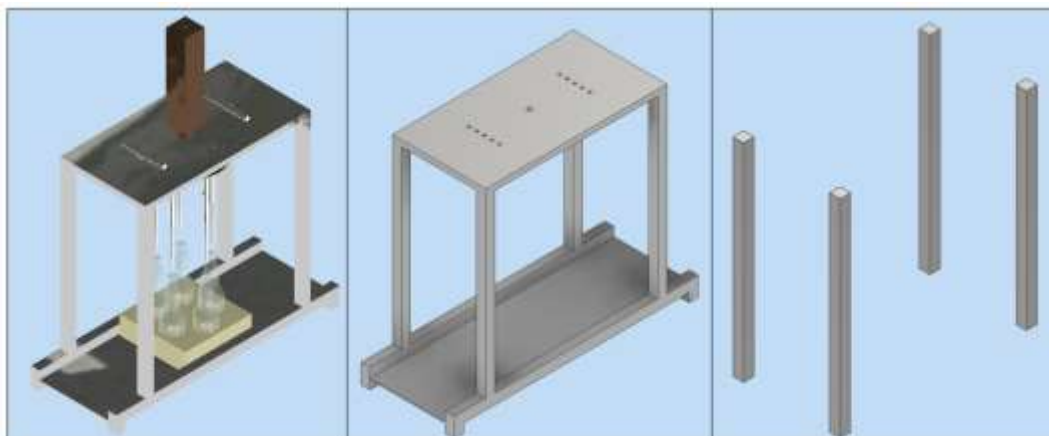


Figura 18: Estructura con sus componentes (izquierda), estructura sin componentes (central), soportes

Los soportes son tubos rectangulares de 30 milímetros de lado, con un espesor de 1.2 milímetros y tienen una altura de 600 milímetros.

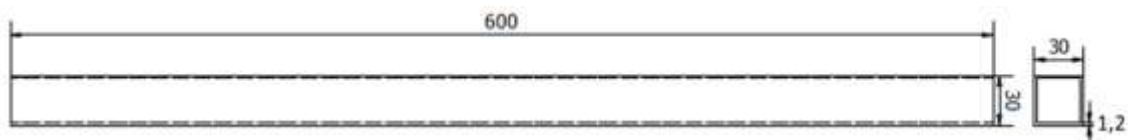


Figura 19: Dimensiones de los soportes rectangulares

Las cargas que actúan sobre los soportes de manera excéntrica; por lo tanto, el efecto de estas se reemplaza por una carga central  $\mathbf{P}$  con su reacción  $\mathbf{P}'$  y dos pares  $\mathbf{M}_A$  y  $\mathbf{M}_B$  (Beer, 2018).

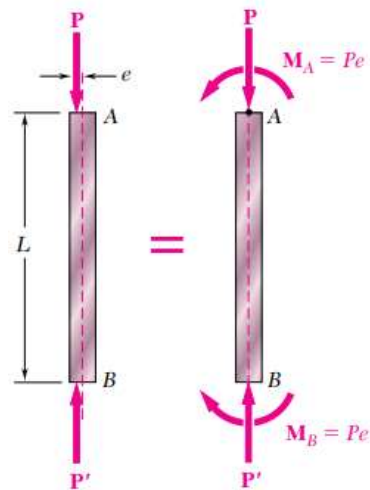


Figura 20: Efecto de la carga excéntrica sobre los soportes (Beer, 2010).

Los efectos de la carga central y el momento provocan un esfuerzo axial y un esfuerzo de flexión respectivamente.

$$\sigma_{total} = \sigma_{flexión} + \sigma_{axial}$$

Las cargas que actúan sobre los soportes (aplicadas sobre la plancha fija) son:

- El peso de la plancha fija
- El peso de las cinco llenadoras
- El peso de la plancha móvil
- El peso de el pistón

Todas estas fuerzas se aplican en el centro de la plancha fija, tal como se muestra a continuación:

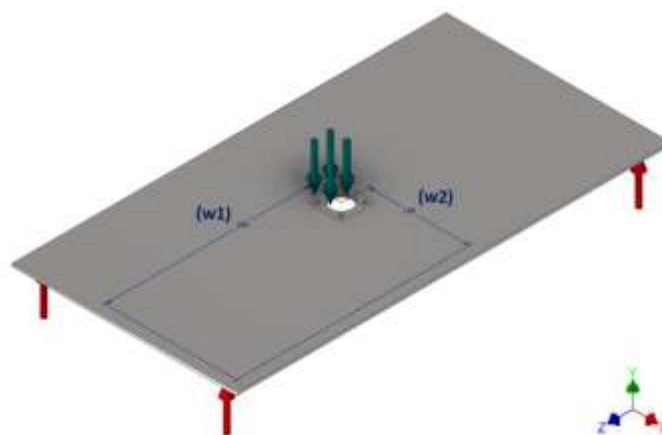


Figura 21: Cargas aplicadas en la plancha fija

En la Figura 21: Cargas aplicadas en la plancha fija por la plancha fija, y las flechas rojas representan las reacciones producidas por los soportes. Además, “w1” (285 milímetros)

y “w2” (140 milímetros) representan las distancias en el eje  $z$  y en el eje  $x$  desde el punto donde se aplica las fuerzas hasta el centro de los soportes respectivamente.

Cabe mencionar que las cargas excéntricas no se aplican en un plano de simetría con respecto a los soportes, lo que provoca flexión en los dos ejes principales de la sección transversal de la columna, formando dos momentos (Beer,2010).

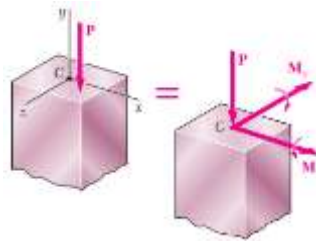


Figura 22: Efecto de la carga excéntrica al aplicarse en un plano asimétrico

### Estudio estático

Para el análisis de los soportes, que es similar al análisis de columnas, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Carga crítica, medidor de la estabilidad del sistema
- Deflexión máxima, medidor del pandeo de la columna
- Esfuerzo crítico, medidor de falla del soporte (comparado con el esfuerzo permisible).

Además, se toman en cuenta las siguientes suposiciones:

1. Esfuerzos están debajo del límite de proporcionalidad
2. Los soportes son prismas homogéneos

Las fórmulas usadas para calcular estos factores son tomadas del libro de Mecánica de materiales de Beer.

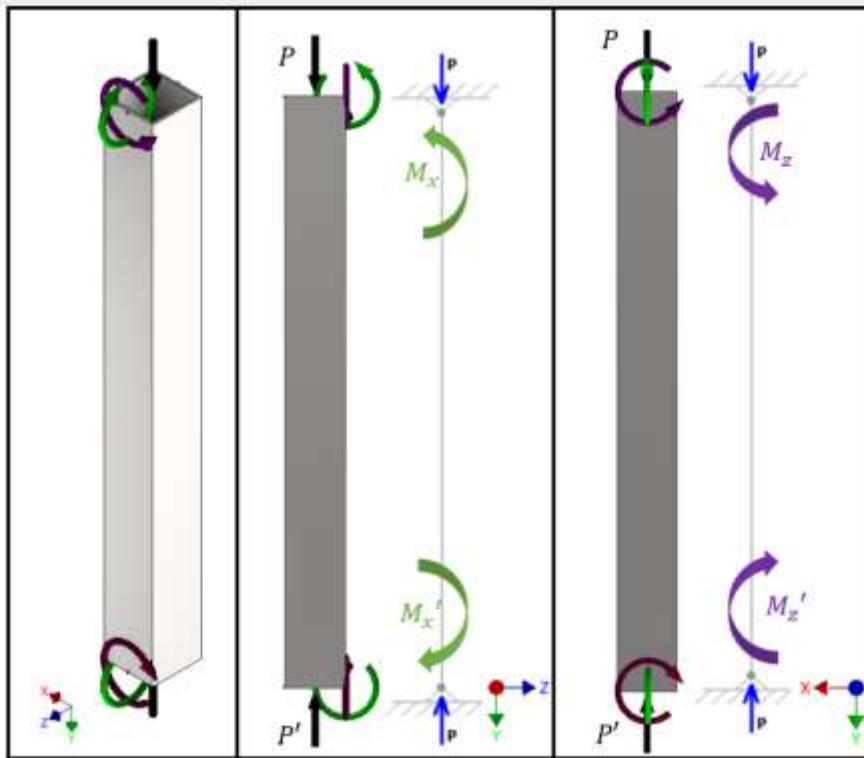


Figura 23: Diagrama de cuerpo libre de los soportes

En la Figura 23 se muestra el diagrama de cuerpo libre de los soportes con la carga  $P$ , su reacción  $P'$ , los momentos en  $x$  (marcados de color verde) y los momentos en  $z$  (marcados de color morado). Las características de este caso se asemejan al de una columna con un extremo fijo y un extremo libre.

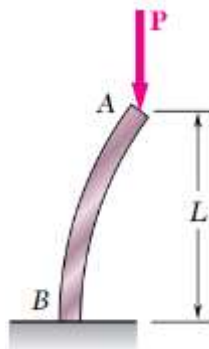


Figura 24: Columna con extremo fijo y uno libre (Beer, 2010)

La carga crítica dada por la fórmula de Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_e)^2}$$

Donde  $E$  es el módulo de Young,  $I$  es la inercia y  $L_e$  es la longitud equivalente. Dadas las características del caso la longitud equivalente es el doble de la longitud total de los soportes.

$$L_e = 0.6 [m] \cdot 2$$

$$L_e = 1.2 [m]$$

$$E_{\text{acero inoxidable 304}} = 200 [GPa] \text{ (Kaan, 2016)}$$

Para el caso crítico se toma en cuenta la inercia más vulnerable, en este caso la inercia es la misma con respecto a cualquier eje centroidal (Beer, 2010) ya que se trabaja con un cuadrado. Igualmente, la inercia del área transversal es la resta entre la inercia de todo el rectángulo de 30 milímetros de lado con la inercia del hueco interior de 28.8 milímetros de lado.

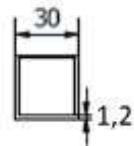


Figura 25: Sección transversal de los soportes

$$I = \frac{1}{12} ((30E - 3)^4 - (28.8E - 3)^4) [m^4]$$

$$I = 1 \times 10^{-8} [m^4]$$

La carga crítica resultante es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200E9[Pa] \cdot 1 \times 10^{-8}[m^4]}{(1.2[m])^2}$$

$$P_{cr} = 13.7 [kN]$$

Cabe mencionar que el esfuerzo máximo no varía de forma lineal con la carga crítica; por lo tanto, el factor de seguridad está en función de la carga crítica y la carga total que deben aguantar los soportes.

$$P_{total} = P_{eso_{plancha}} + Carga_{plancha} + P_{eso_{pistón}}$$

Dado que la base fija de acero inoxidable 304 pesa 60 [N], el peso del pistón es 12 [N], y la carga que debe soportar la plancha fija es 28 [N], la fuerza total es:

$$\text{Carga total} = 60 [N] + 11[N] + 28 [N]$$

$$\text{Carga total} = 100 [N]$$



Realizando el análisis para uno de los soportes la carga es:

$$\text{Carga (P)} = \frac{100}{4} = 25 \text{ [N]}$$

El factor de seguridad ante pandeo esta dado por:

$$\text{Factor de seguridad (F.S.)} = \frac{P_{cr}}{P}$$

$$\text{F.S.} = \frac{13\,700}{25}$$

$$\text{F.S.} = 548$$

El factor de seguridad es elevado debido a que los soportes (de acero inoxidable 304) tienen un módulo de Young muy elevado, y este factor contrarresta la baja inercia y longitud efectiva de los soportes.

La deflexión máxima se obtiene empleando la fórmula de la secante:

$$y_{m\acute{a}x} = e \left( \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} - 1 \right)$$

Donde  $e$  es la distancia desde el punto donde se aplican las cargas hasta el centroide de los soportes.

$$e = \sqrt{w_1^2 + w_2^2}$$

$$e = \sqrt{0.285[\text{m}]^2 + 0.14[\text{m}]^2}$$

$$e = 0.32[\text{m}]$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.32[\text{m}] \left[ \left( \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{25[\text{N}]}{13700[\text{N}]}} \right) - 1 \right]$$

$$y_{m\acute{a}x} = 2.2 \cdot 10^{-7} [\text{m}]$$

El pandeo, debido a la deflexión es mínimo porque la relación entre la carga (P) y la carga crítica ( $P_{cr}$ ) es muy pequeña.

En cuanto a los esfuerzos, el esfuerzo admisible dado un factor de seguridad de 1.5 es:

$$\sigma_{perm} = \frac{P_{perm}}{A}$$

Donde  $P_{perm}$  (carga permisible) es la relación entre la carga crítica y el factor de seguridad, y  $A$  es el área transversal.

$$P_{perm} = \frac{P_{cr}}{F.S.}$$

$$P_{perm} = \frac{13\,700 [N]}{1.5}$$

$$P_{perm} = 9\,133.3 [N]$$

$$\sigma_{perm} = \frac{9133.3[N]}{((30 \cdot 10^{-3})^2 - (28.8 \cdot 10^{-3})^2)[m^2]}$$

$$\sigma_{perm} = 129.4 [MPa]$$

El esfuerzo máximo es:

$$\sigma_{máximo} = \sigma_{flexión} + \sigma_{axial}$$

El esfuerzo máximo a flexión se define de la siguiente manera:

$$\sigma_{flexión} = \frac{Momento_{máx} \cdot c}{I}$$

Este esfuerzo es el resultado del momento máximo, por lo tanto se toma en cuenta el momento resultante entre el momento aplicado en el eje  $x$  y el momento aplicado en el eje  $z$ , el cual se aplica a un ángulo de 45 grados entre el eje  $x$  y  $z$ .

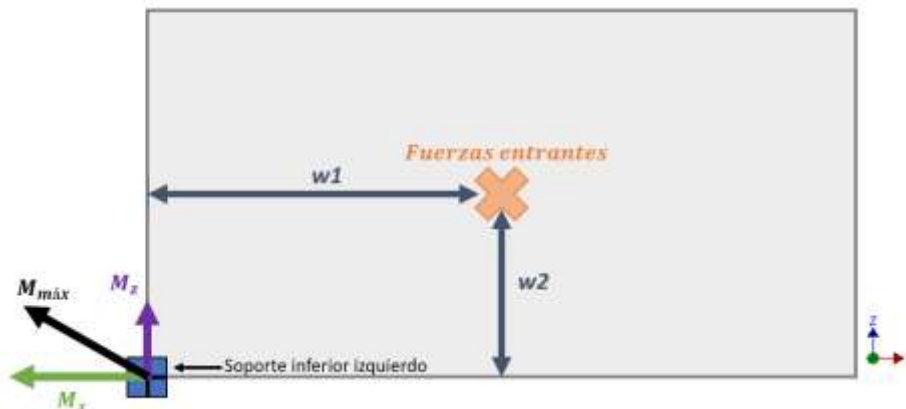


Figura 26: Momentos aplicados en el soporte inferior izquierdo

En la figura 25 se pueden apreciar la vista superior de la plancha fija, junto con el soporte inferior izquierdo de color azul y los momentos que actúan sobre este. La resultante de los momentos se deriva de los momentos en  $x$  y  $z$ .

$$Momento\ máximo = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Momento en  $x$

$$Momento_x = -Carga \cdot w_1$$

$$Momento_x = -25[N] \cdot 0.140[m]$$

$$Momento_x = -3.5 [N \cdot m]$$

Momento en  $z$

$$\begin{aligned} \text{Momento}_z &= \text{Carga} \cdot w_z \\ \text{Momento}_y &= 25 \text{ [N]} \cdot 0.285 \text{ [m]} \\ \text{Momento}_y &= 7.125 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned}$$

Por consiguiente, el momento máximo es:

$$\begin{aligned} \text{Momento máximo} &= \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \\ \text{Momento máximo} &= \sqrt{(-3.5 \text{ [N} \cdot \text{m]})^2 + (7.125 \text{ [N} \cdot \text{m]})^2} \\ \text{Momento máximo} &= 7.94 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned}$$

Donde  $I$  es la inercia y  $c$  es la distancia máxima desde el plano neutro hasta superficie exterior de las columnas. La inercia de la sección transversal de los soportes se calculó anteriormente para la carga crítica.

$$I = 1 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

Además, la distancia del plano neutro está dada por la hipotenusa entre la mitad de los lados:

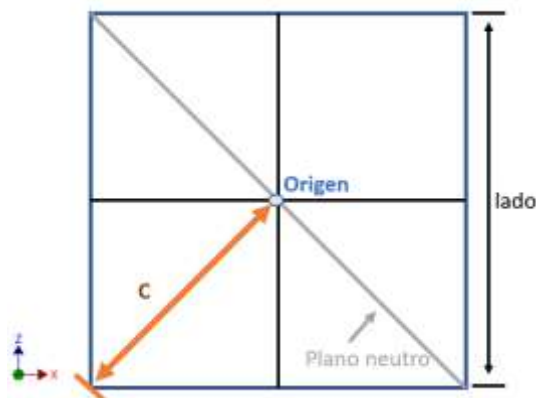


Figura 27: Distancia máxima del plano neutro a la superficie exterior en el soporte inferior izquierdo

La figura 27 presenta una vista superior del soporte inferior izquierdo, con el plano neutro y la distancia  $c$ .

$$\begin{aligned} c &= \sqrt{\frac{\text{lado}^2}{2} + \frac{\text{lado}^2}{2}} \\ c &= \sqrt{\frac{3E - 3^2}{2} + \frac{3E - 3^2}{2}} \\ c &= 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ [m]} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \pm \frac{7.94 \text{ [N} \cdot \text{m]} \cdot 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}}{1 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$\sigma_{\text{flexión}} = \pm 1.67 \text{ [MPa]}$$

Por otro lado, el esfuerzo dado por la carga axial es:

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{-\text{Carga}}{A}$$

$$\sigma_{\text{axial}} = \frac{-25 \text{ [N]}}{\left( (30 \cdot 10^{-3})^2 - (28.8 \cdot 10^{-3})^2 \right) \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$\sigma_{\text{axial}} = -0.35 \text{ [MPa]}$$

Por último, el esfuerzo máximo ocurre donde ambos esfuerzos (axial y a flexión) están a compresión ya que los efectos se suman.

$$\sigma_{\text{máximo}} = -1.67 \text{ [MPa]} - 0.35 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{\text{máximo}} = -2.02 \text{ [MPa]}$$

Por último, se comprueba que el esfuerzo permisible sea mayor que el esfuerzo máximo

$$|\sigma_{\text{perm}}| > |\sigma_{\text{máximo}}|$$

$$129.4 \text{ [MPa]} > 2.02 \text{ [MPa]}$$

Con estos resultados se comprueba que los soportes tienen un elevado factor de seguridad (548), además que el sistema es estable ya que la carga crítica es mucho mayor que la carga aplicada, la deflexión va a ser mínima ( $2.2 \cdot 10^{-7}$  [m]) por lo que no habrá problemas de pandeo y los soportes no fallaran ante los esfuerzos máximos resultantes.

### **Soldadura en las juntas**

En la estructura que contendrá el sistema para el llenado de las cervezas se deben tomar en cuenta las juntas permanentes mediante soldaduras dado que estas operaciones emplean calor, produciendo cambios metalúrgicos e introduciendo esfuerzos residuales (Shigley, 2010).

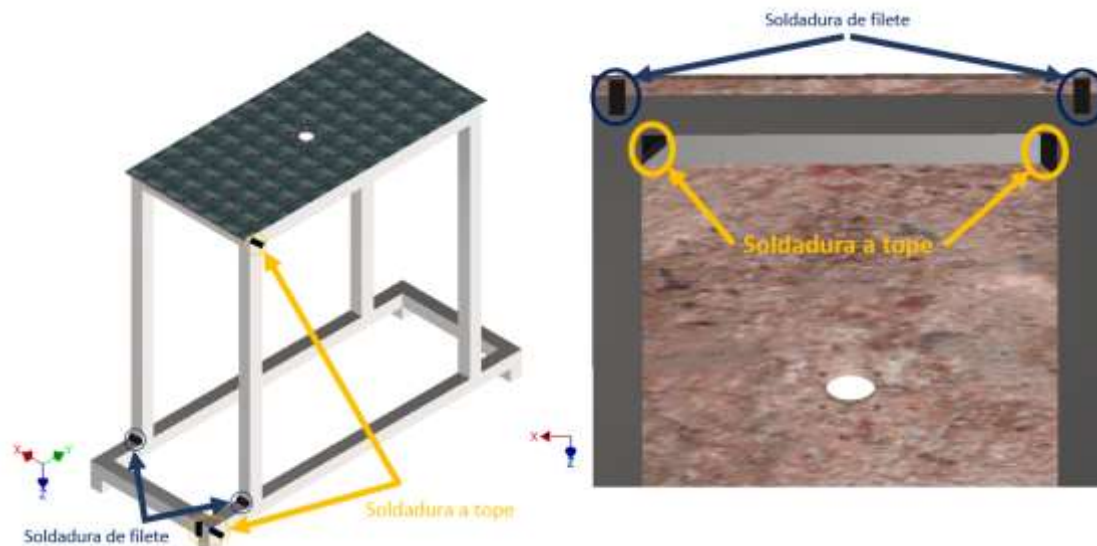


Figura 28: Soldadura a tope y filete en la estructura de la máquina semiautomática, proyección isométrica (izquierda), vista inferior (derecha)

La Figura 28 presenta las soldaduras presentes en la estructura de forma simplificada (para uno de los soportes), las juntas permanentes pueden ser a tope y en filete dependiendo de la unión entre tubos.

Las soldaduras de filete presentes en la Figura 27 (vista inferior) pueden aproximarse al caso de una viga en voladizo con una carga  $F$  actuando sobre esta.

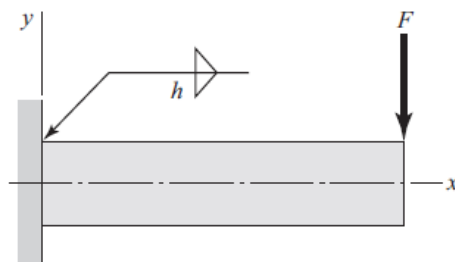


Figura 29: Soldadura en los bordes superior e inferior de una viga en voladizo (Shigley, 2010)

Dado que se analiza una sección de la plancha fija (debido a la soldadura), con un solo soporte.

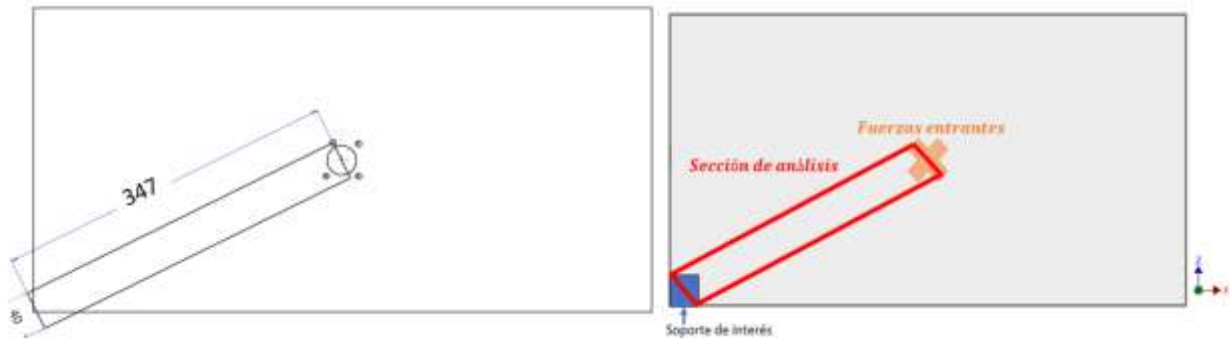


Figura 30: Sección de análisis de la soldadura

## Estudio estático

El análisis de las soldaduras toma en cuenta los siguientes factores:

- Esfuerzos cortantes primario y nominal, medidores de falla del sistema
- Esfuerzo cortante máximo

Además se toma en cuenta:

- La unión crítica se encuentra a flexión
- La fuerza, producida por la base móvil y las llenadoras se distribuye equitativamente en los cuatro soportes y produce una cortante.

Las ecuaciones son tomadas del libro de Shigley

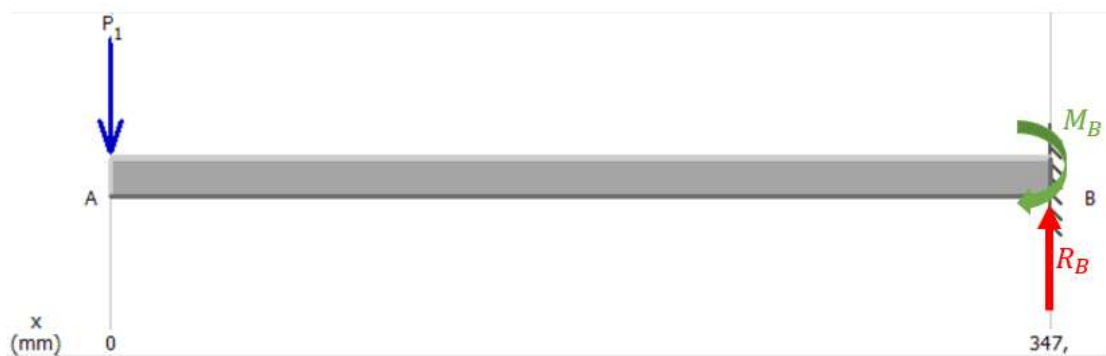


Figura 31: Diagrama de cuerpo libre de la viga en voladizo

El cortante primario de la soldadura es

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

Donde  $V$  es la fuerza cortante y  $M$  es el momento, y  $A$  es el área de la garganta.

La cortante  $V$  está directamente relacionada con la carga  $PI$  ya que no existen otras cargas que actúen sobre la viga en voladizo, para un soporte la carga es 25 [N] tal como se mostró en el ejercicio del pandeo de los soportes (b)

$$V = P_1$$

$$V = 25 [N]$$

Para el área de la garganta en filetes se emplea la siguiente ecuación

$$A = 0.707hb$$

Donde  $h$  es la garganta de la soldadura,  $b$  es la longitud de la soldadura. Dado que la altura de la soldadura es de 10 milímetros y la longitud es de 5 milímetros el área es

$$A = 0.707(5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3})[m^2]$$

$$A = 3.54 \cdot 10^{-5}[m^2]$$

$$\tau' = \frac{25[N]}{3.54 \cdot 10^{-5}[m^2]}$$

$$\tau' = 706.2 [kPa]$$

El esfuerzo cortante nominal es

$$\tau'' = \frac{1.414M}{bdh}$$

Donde  $d$  es el espesor de la plancha de 4 milímetros. Además el momento es la multiplicación entre la fuerza y la distancia

$$M = 25[N] * 0.347[m]$$

$$M = 8.66[N - m]$$

$$\tau'' = \frac{1.414 \cdot 8.66[N - m]}{(5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3})}$$

$$\tau'' = 61[MPa]$$

El esfuerzo máximo es la magnitud entre los esfuerzos cortantes antes mencionados.

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

$$\tau = \sqrt{61^2 + 0.706^2}$$

$$\tau = 61.004[MPa]$$

Dado que el esfuerzo mínimo de ruptura del acero es 550 [MPa] el factor de seguridad es:

$$F.S. = \frac{550[MPa]}{61.004[MPa]}$$

$$F.S. = 9$$

Factor de seguridad aceptable para el caso de la soldadura en uno de los soportes.

### **Cálculos de fluidos**

La formación de espuma en el de llenado de cerveza ocurre a causa de una alta diferencia de presión dentro del sistema; por lo tanto, es prioridad realizar un diseño que evite muchas pérdidas de carga por fricción.



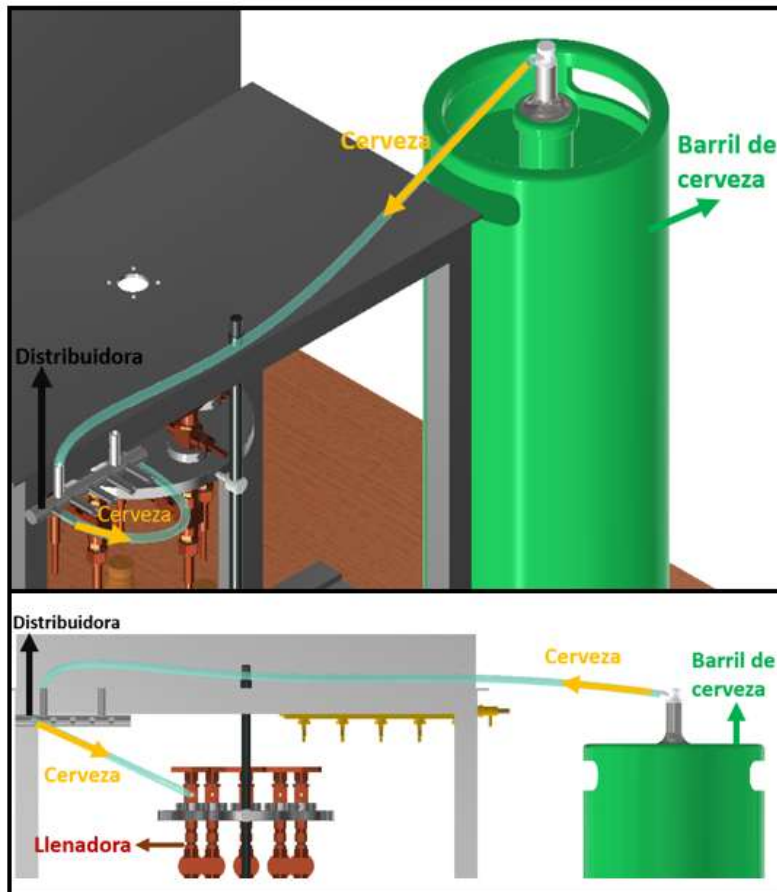


Figura 32: Recorrido de la cerveza por sistema

La figura 32 presenta de forma general el recorrido que tomará la cerveza desde la salida del barril, posteriormente continua por las distribuidoras (donde se divide para las cinco cervezas) hasta llegar a las llenadoras que conectan a las cervezas con el sistema.

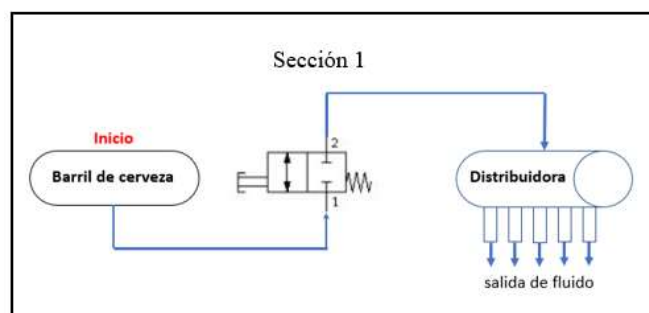


Figura 33: Secciones de análisis

La sección escogida permite conocer el caudal de entrada a la distribuidora y permite saber si este permitirá suministrar la cantidad de cerveza necesaria en poco tiempo, además de mostrar las pérdidas de carga por fricción en esta sección crítica ya que es dónde mayor longitud tiene

la manguera. Además, se toman en cuenta dos opciones de diseño con respecto al sistema (barril de cerveza – distribuidora - llenadora):

- Barril situado por encima del sistema
- Barril situado por debajo del sistema

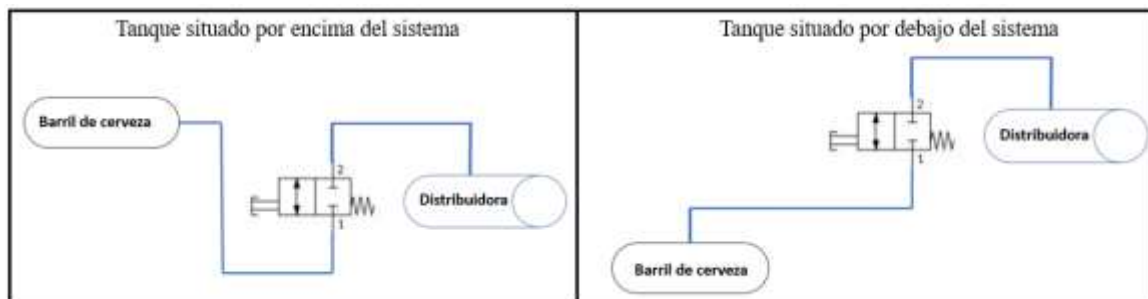


Figura 34: Opciones de diseño

La Figura 344 presenta las dos opciones de diseño presentes durante el proceso de llenado, en el primer esquema (izquierda) el barril se encuentra situado sobre el sistema, y en el segundo esquema el barril se encuentra localizado por debajo del sistema.

### Análisis de Fluidos

Las secciones de análisis se toman en cuenta los siguientes factores:

- Caudal a la entrada de la distribuidora
- Pérdidas de carga por fricción hasta la distribuidora

Para calcular el caudal a la entrada y salida de la distribuidora se realiza el análisis de este componente en particular, tomando a la distribuidora como el elemento de trabajo. Se emplean las ecuaciones de Fundamentos de Mecánica de Fluidos de Munson para encontrar los factores anteriormente mencionados y se toman en cuenta las siguientes suposiciones:

- Flujo estable
- Flujo incompresible
- Ecuaciones aplicadas a las líneas de corriente
- Las mangueras están completamente llenas del fluido con el que se trabaja
- Fluido completamente desarrollado

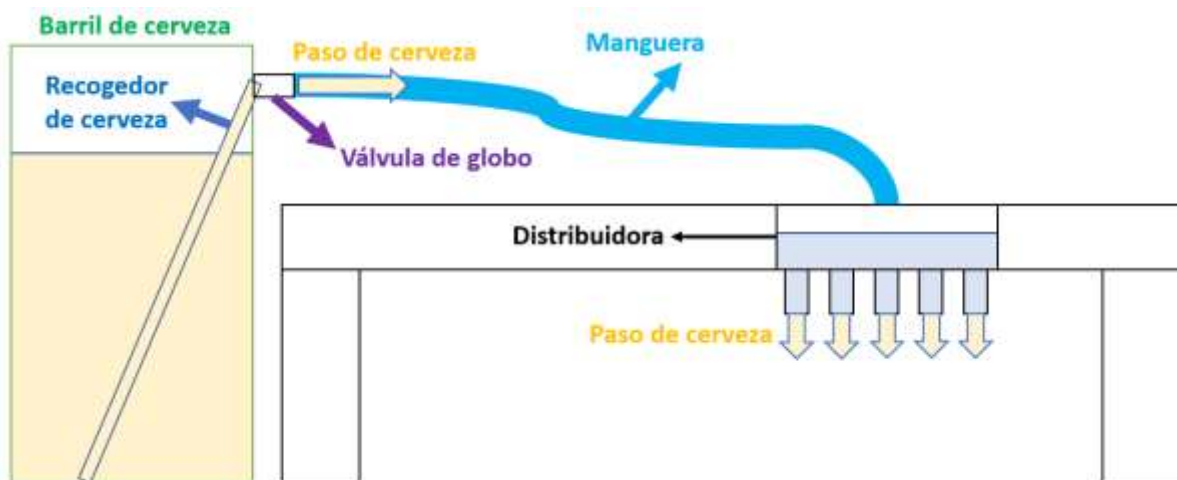


Figura 35: Paso de la cerveza desde el barril hasta la distribuidora

La figura 35 presenta la trayectoria que toma la cerveza para llegar a la distribuidora partiendo del barril, durante su recorrido debe pasar a través de los siguientes componentes:

- Recogedor de cerveza
- Válvula de globo
- Manguera

Para este caso se toma en cuenta la siguiente sección de análisis.



Figura 36: Sección de análisis

La figura 36 presenta la sección de análisis (desde el barril hasta la entrada a la distribuidora), cabe mencionar que la presión dentro del barril es la que produce el movimiento de la cerveza a través de la manguera; por lo tanto, una vez abierta la válvula de paso la cerveza empieza a movilizarse. En cuanto a las pérdidas dentro del tanque, se emplea la ecuación de Bernoulli desde el punto A (dentro del barril) hasta el punto B (inicio de la distribuidora).

$$\frac{P_B}{\gamma_{\text{cerveza}}} + \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + z_B = \frac{P_A}{\gamma_{\text{cerveza}}} + \frac{V_A^2}{2 \cdot g} + z_A - h_l$$

Donde  $P$  es la presión manométrica,  $\gamma_{cerveza}$  es el peso específico de la cerveza,  $V$  es la velocidad del fluido,  $z$  es la altura,  $h_l$  son las pérdidas dentro de la manguera (mayores y menores) y  $g$  es la gravedad. La presión de trabajo de la cerveza en el barril es de 1.3 Bares (130 [kPa]), cabe recalcar que durante el proceso de llenado de cervezas la presión en el sistema se reduce gradualmente provocando una relación de presiones de:

$$P_B \cong 0.5 \cdot P_A$$

Además, el punto  $A$  está situado al mismo nivel que el punto de referencia ( $z=0$ ).

$$z_A = 0 [m]$$

De igual forma, la velocidad en el punto  $A$  es muy baja comparada con la velocidad en el punto  $B$ , dado que el área transversal del barril es mucho mayor que el área de la manguera.

$$V_A = 0 [m/s]$$

Asimismo, se conoce que

$$z_B = -10 [mm]$$

$$\gamma_{cerveza} = 10 \left[ \frac{N}{m^3} \right]$$

Ecuación simplificada:

$$\frac{0.5 \cdot P_A}{\gamma_{cerveza}} + \frac{V_B^2}{2 \cdot g} + z_B = \frac{P_A}{\gamma_{cerveza}} - h_l$$

$$h_l = \frac{0.5 \cdot P_A}{\gamma_{cerveza}} - \frac{V_B^2}{2 \cdot g} - z_B$$

Las pérdidas producidas en la manguera están dadas por

$$h_l = \frac{V^2}{2 \cdot g} \left( f \frac{l}{D} + \sum K_L \right)$$

Donde  $V$  es la velocidad de la cerveza en la manguera (para este caso en particular es igual a la velocidad en  $B$ ),  $g$  es la gravedad,  $f$  es el factor de fricción,  $l$  es la longitud de la manguera,

$D$  es el diámetro de la manguera y  $K_L$  es el coeficiente de pérdida. En cuanto a los coeficientes de pérdida, el sistema tiene una válvula de globo, la elevación del recoger de cerveza que tiene el mismo efecto que un codo regular de 45 grados y un factor de fricción en la salida (debido a que se mantiene la manguera)

$$K_{L,válvula\ de\ globo\ completamente\ abierta} = 10$$

$$K_{L,codo\ 45\ grados\ enroscado} = 0.4$$

$$K_{salida} = 1$$

El factor de fricción “ $f$ ” se calcula empleando la fórmula de Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Donde  $\varepsilon$  es la rugosidad equivalente (para materiales plásticos es igual a cero),  $Re$  es el número de Reynolds y  $D$  es el diámetro de la manguera. El factor de fricción también se lo puede obtener empleando diagrama de Moody que presenta en un diagrama las relaciones presentadas en la fórmula de Colebrook. Por último el número de Reynolds es una relación entre las fuerzas inerciales y fuerzas viscosas.

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

Donde  $\rho$  es la densidad de la cerveza y  $\mu$  es la viscosidad dinámica.

$$\rho_{cerveza\ a\ 5^\circ C} = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\mu_{cerveza\ a\ 5^\circ C} = 1.518 \left[ \frac{N \cdot s}{m^2} \right]$$

Por último, el caudal se relaciona con la velocidad y el área empleando la siguiente ecuación:

$$Q = V \cdot A$$

Donde  $Q$  es el caudal y  $A$  es el área. Resolviendo estas ecuaciones usando EES, véase código en anexos se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Caudal en B } (Q_B) = 0.0006992 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \text{ o } 0.6992 \text{ [l/s]}$$

$$\text{Pérdidas de carga por fricción } (h_f) = 645.1 \text{ [m]}$$

Los resultados muestran que para llenar las cinco botellas de cerveza, que tienen en total un volumen aproximado de 1.65 litros, el sistema debe estar funcionando por 2.46 segundos. Además, las pérdidas son considerables pero la diferencia de presiones es suficiente para suministrar el caudal de cerveza requerido en poco tiempo. Cuanto a la posición del barril de cerveza, simplemente se debe modificar la altura del punto B en la ecuación de Bernoulli.

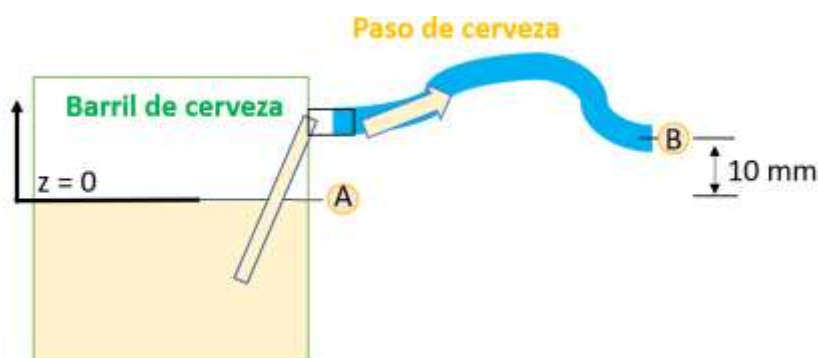


Figura 37: Distribuidora por encima del barril de cerveza

En este caso cambia el signo de la altura  $z_b$

$$z_b = 10 \text{ [mm]}$$

De la misma forma se calcula empleando EES.

$$\text{Caudal en B } (Q_B) = 0.0006992 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \text{ o } 0.6992 \text{ [l/s]}$$

$$\text{Pérdidas de carga por fricción } (h_f) = 645.1 \text{ [m]}$$

Los resultados muestran que no existe diferencia debido a la poca diferencia de alturas que existe, ya que el barril en este caso tiene poca diferencia de altura con respecto a las distribuidoras.

## Código para la programación del PLC

El programador PLC es el encargado de llenar las botellas, siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

1. Expansión del pistón neumático, para ello se aplasta un pulsador que activa I0.0 (presente en la figura de a continuación) que activa la bobina Q0.0, con ello se acopla el pistón al cabeza de las botellas.

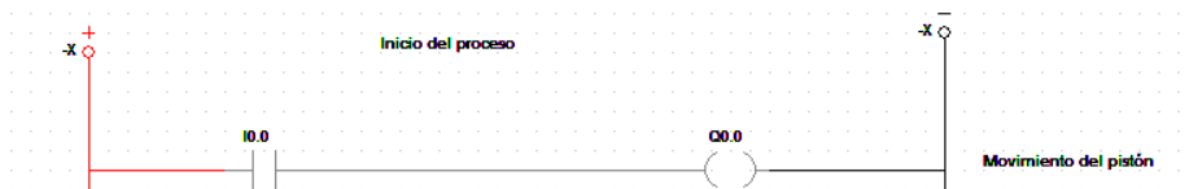


Figura 38 Figura 1: Accionamiento del pistón

2. Activación de la válvula eléctrica para la entrada de dióxido de carbono, de tal forma que el sistema adquiera la misma presión que el barril de cerveza (1.1 bares). Una vez llega el pistón al final de carrera, se permite el paso de corriente a través de I0.2 y a su vez pasa corriente a través de la bobina Q0.1 que es la encargada de encender la válvula eléctrica.

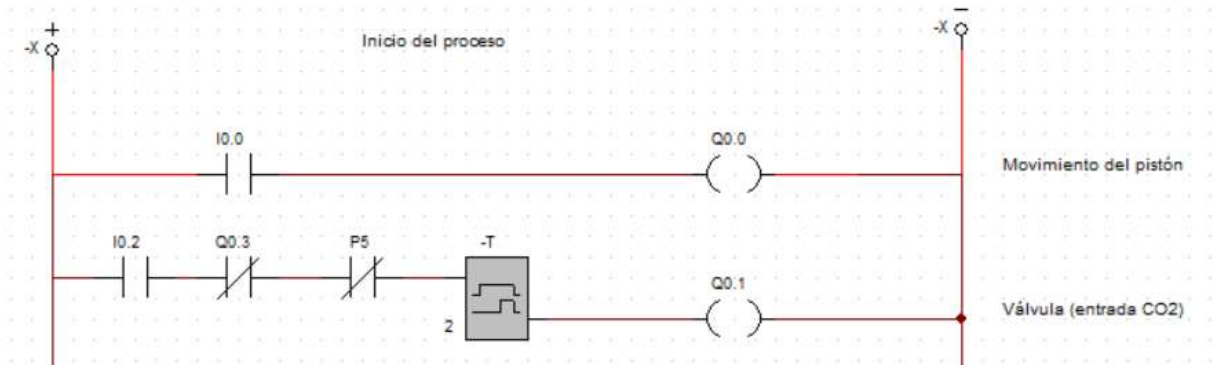


Figura 39 Activación de válvula de dióxido de carbono

3. A la par que la válvula eléctrica del dióxido de carbono está activada, se purga el sistema durante dos etapas; es decir, se libera oxígeno por un tiempo establecido, se restringe la liberación de oxígeno y se repite este proceso una vez más. Una vez activado Q0.1 (bobina activada en el anterior numeral) se permite el paso a través de la línea de la purga y un tiempo después se cierra la purga mediante el contactor normalmente cerrado (NC) P3 y se repite este proceso.

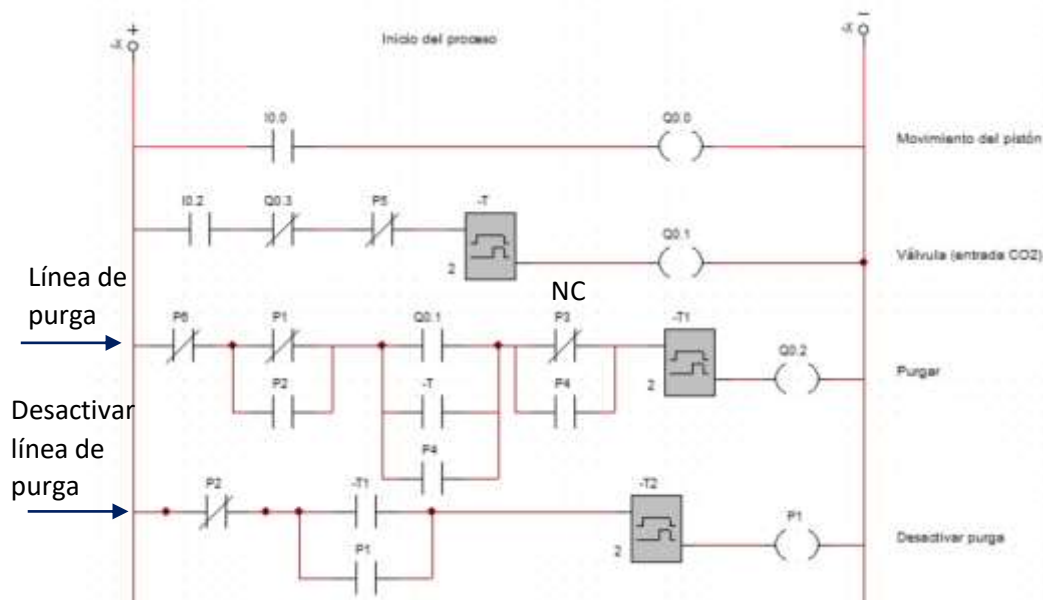


Figura 40 Activación de la válvula de purga

4. Una vez realizado el proceso de liberación de oxígeno (purga de oxígeno) se cierra la línea de gas (dióxido de carbono) y se abre la línea de la cerveza.



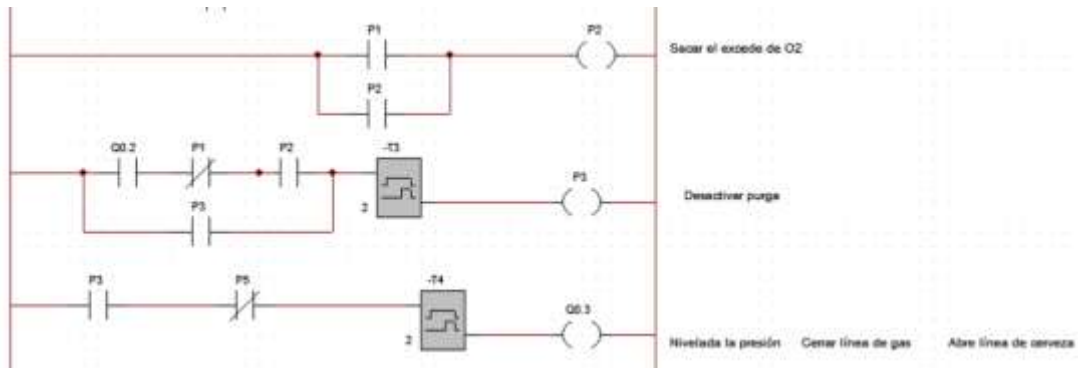


Figura 41 Cerrado de línea de gas y apertura de línea de cerveza

5. Posteriormente, se genera la liberación de presión dentro de la botella a través de la purga para generar una diferencia de presiones que produzcan el movimiento de la cerveza hacia la botella.

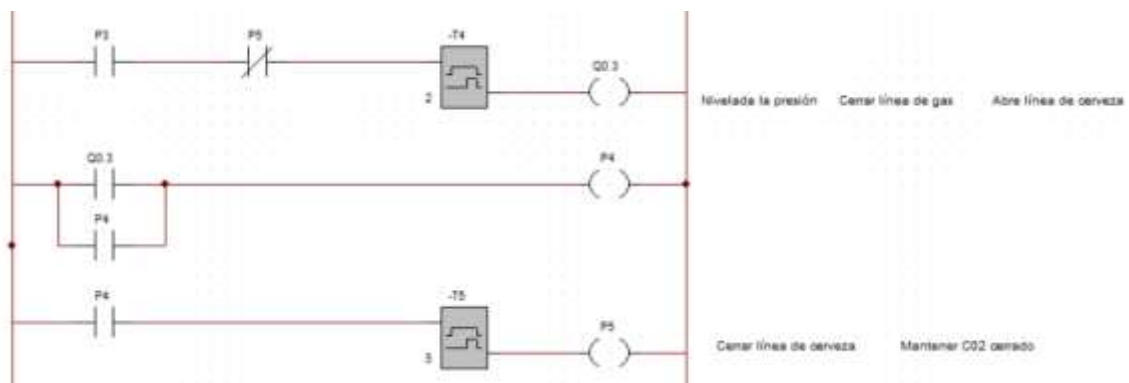


Figura 42 Liberación de la presión dentro de la botella

6. Una vez completado el llenado de la botella se cierra la línea de cerveza sin dejar de presionar la purga para extraer el remanente de presión.

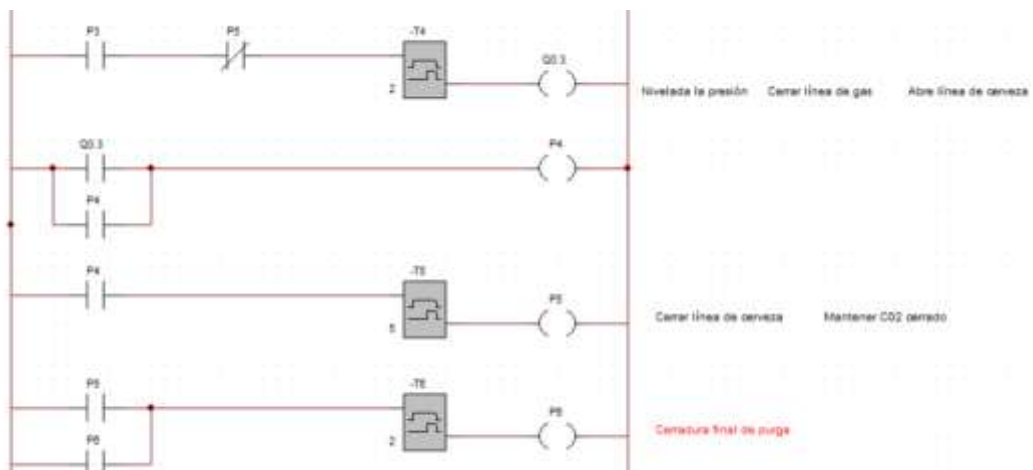


Figura 43 Extracción del remanente de presión dentro de la cerveza

7. Finalmente, se contrae el pistón.

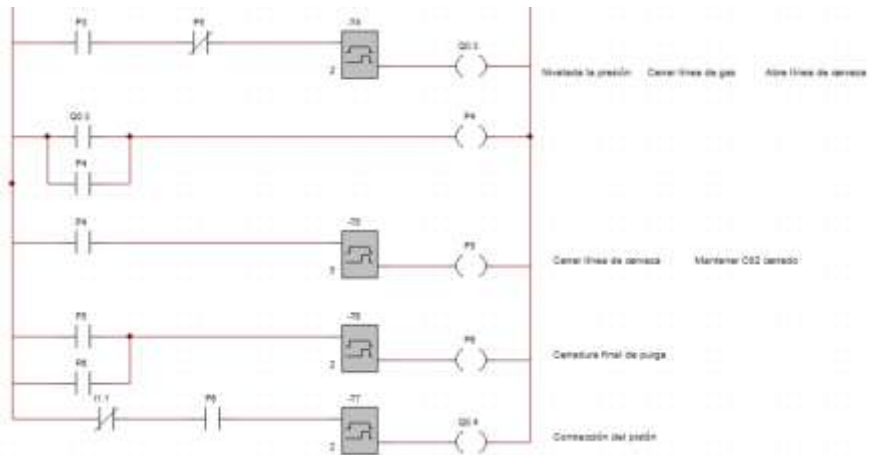


Figura 44 Contracción del pistón

### Conexiones al controlador PLC

Finalmente, en el siguiente esquema se presenta las conexiones que forman parte del sistema de control, donde se puede observar botones de inicio (-S), dispositivos de seguridad para el PLC (disyuntores), válvulas reguladas por fines de carrera y electroválvulas encargadas de regular el paso de la cerveza, el CO2 y el oxígeno.

Disyuntores

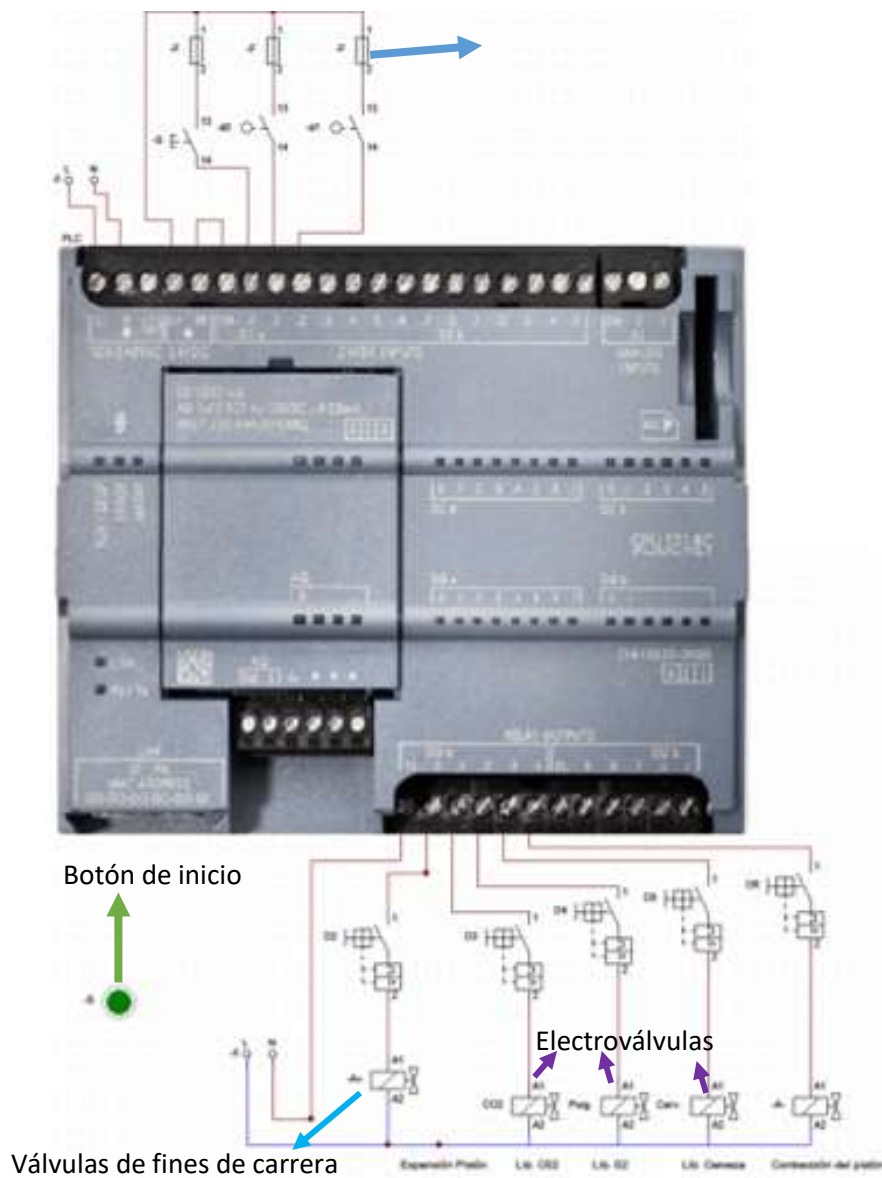


Figura 45 Diagrama de control del sistema de llenado

## Simulaciones

- a) Resistencia de la estructura

La simulación del estudio estático se llevó a cabo en Inventor siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Aplicación de la carga total (100 [N]) en el centro de la plancha fija.
- 2) Dirección de la gravedad

- 3) Aplicación de las restricciones
- 4) Generación de mallado
- 5) Resultados

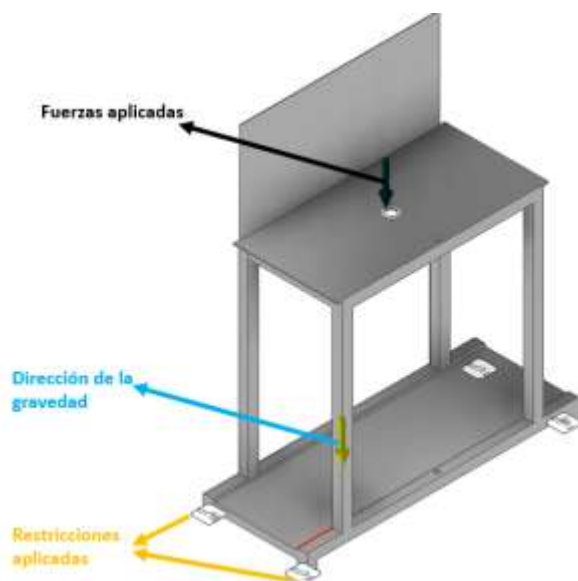


Figura 46 Parámetros establecidos

En la figura 46 se puede apreciar el lugar de aplicación de la fuerza, la dirección de la gravedad y el lugar de aplicación de las restricciones.

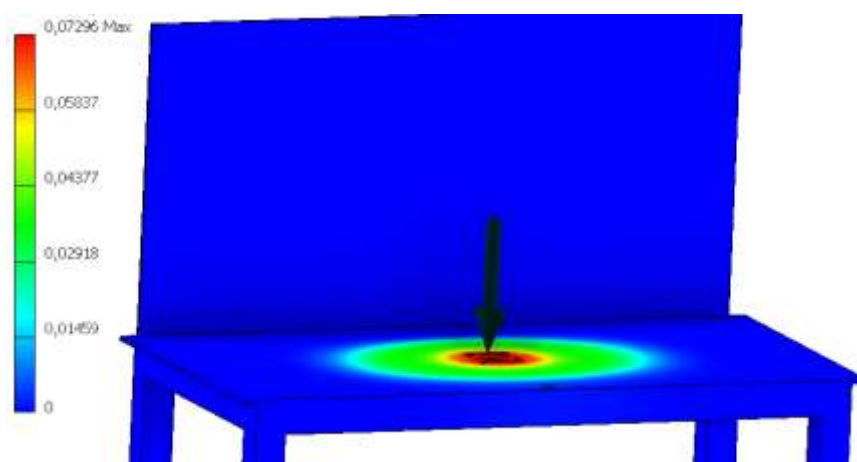


Figura 47 Resultados simulación estructura

Se puede apreciar que la estructura va a tener un desplazamiento máximo de 0.07296 milímetros en la parte crítica que es donde se aplica la carga, de igual manera los soportes llegan a tener un pandeo mínimo (casi nulo).

b) Comportamiento del fluido en la distribuidora

Se simuló el comportamiento de la cerveza empleando el software CFD, el cual toma en cuenta parámetros similares a los de la estructura. Con la diferencia de que las condiciones de borde son la presión de 1.3 bares a la entrada y a la salida.

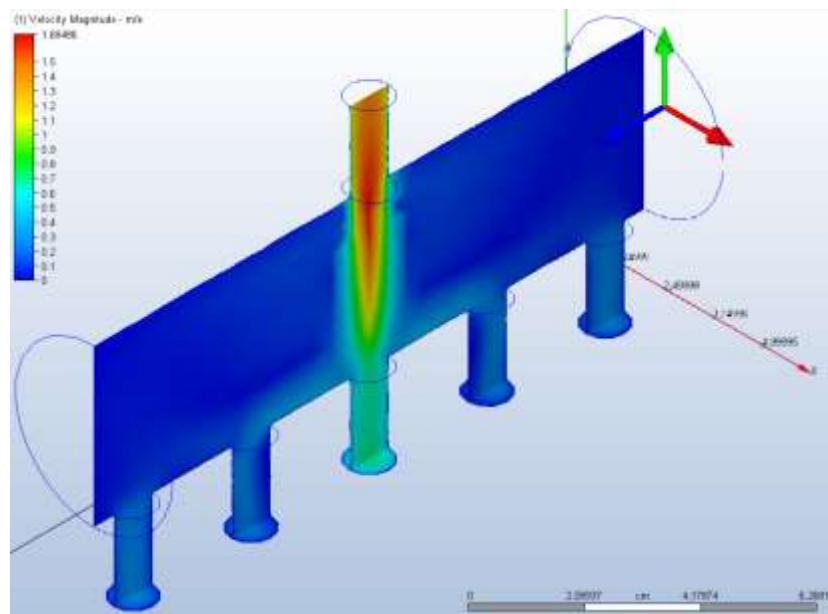


Figura 48 Resultados simulación de las llenadoras

De la simulación se puede apreciar que la entrada a la distribuidora produce que la salida central sea la que mayor velocidad tenga, siendo esta de aproximadamente 0.5 m/s, mientras que las entradas laterales tienen una velocidad de 0.2 m/s. Una relación parecida sucede con el caudal ya que el caudal y la velocidad tienen relación además de que las cinco salidas tienen la misma área superficial. Para resolver este problema se añaden válvulas manuales en las cinco salidas de la distribuidora de tal forma que se reduzca el caudal en la salida central.

## Experimento de ingeniería para la verificación

Un factor fundamental en el diseño de la máquina semiautomática es la distribución equitativa de 1.65 litros de cerveza en las 5 botellas de 330 mililitros durante 30 segundos, este proceso se lleva a cabo empleando una distribuidora. Para evitar que se genere espuma de cerveza dentro de las distribuidoras tanto la diferencia de presiones como la diferencia de caudales a la entrada y la salida de la distribuidora debe ser mínima, por lo tanto se toman en cuenta estos factores en conjunto con su facilidad de construcción para determinar cuál es la mejor. Las tres distribuidoras tomadas en cuenta son:

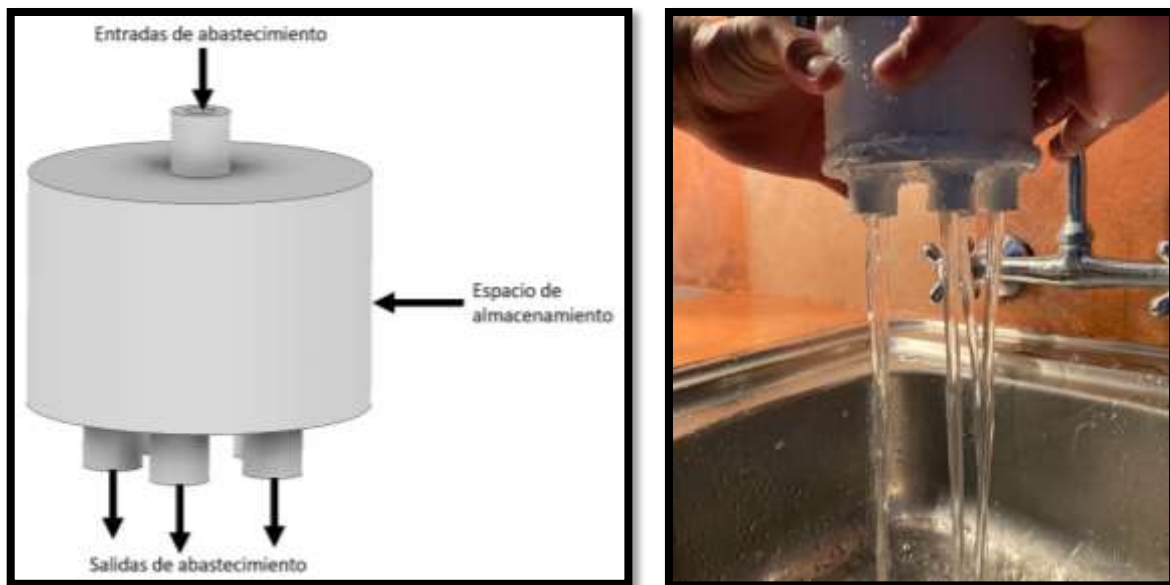


Figura 49 Distribuidora con espacio de almacenamiento circular (distribuidora a)

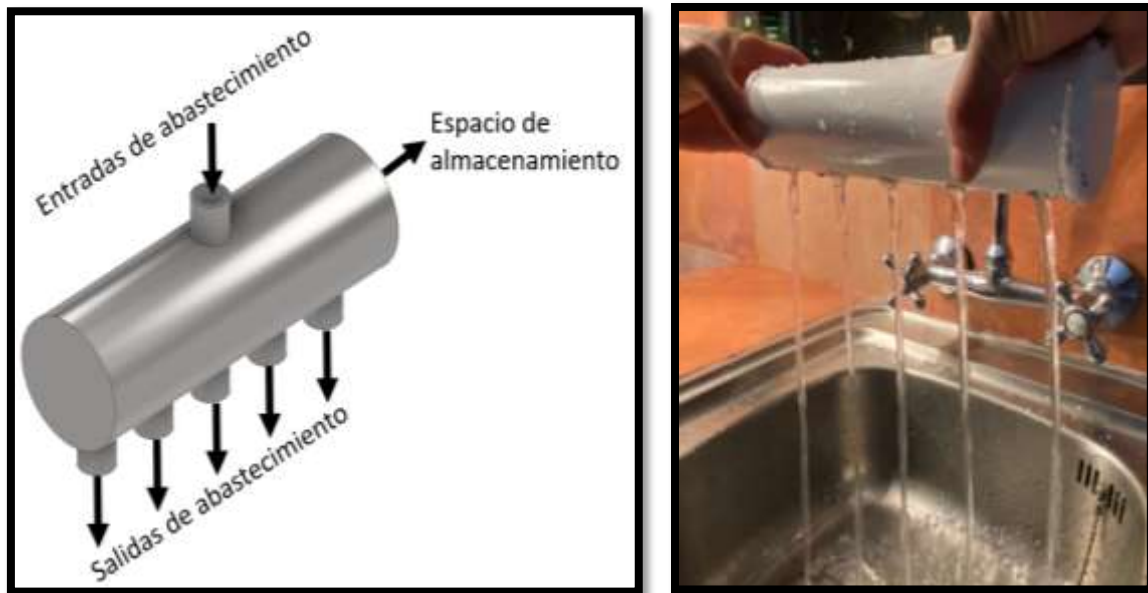


Figura 50 Distribuidora con espacio de almacenamiento cilíndrico con radio mayor (distribuidora b)



Figura 51 Distribuidora con espacio de almacenamiento cilíndrico con radio menor (distribuidora c)

La presión de trabajo a la entrada de la distribuidora es 1.3 bares, además, el caudal requerido a la salida de las distribuidoras, dado que el proceso de llenado es de 30 segundos y hay cinco salidas de distribución, es:

$$Q_{salida} = \frac{Vol}{t \times N_{salidas}}$$

$$Q_{out} = \frac{1.65 [l]}{30 [s] \times 5}$$

$$Q_{out} = 0.011 [l/s]$$

Se procedió a realizar la simulación en el software CFD tomando en cuenta estas condiciones (presión de entrada y caudal de salida).

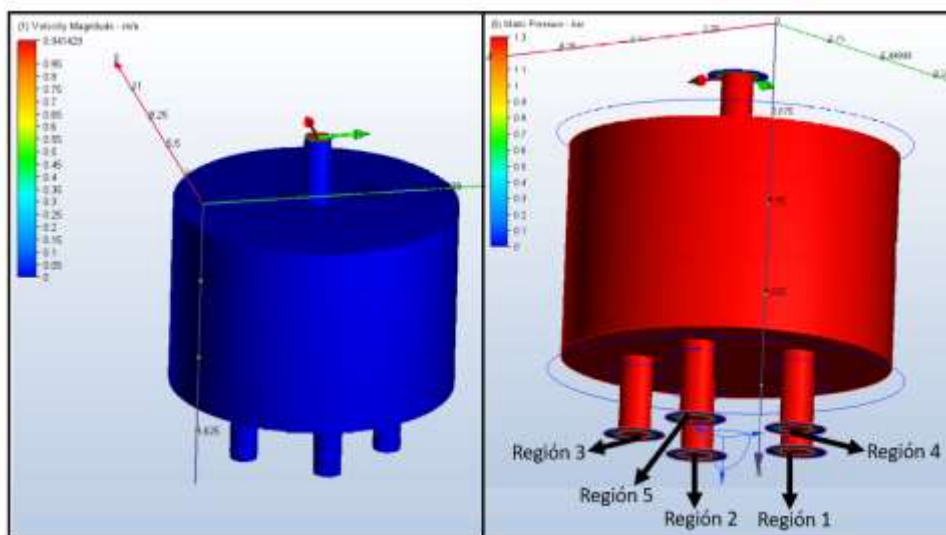


Figura 52 Resultados en la distribuidora a

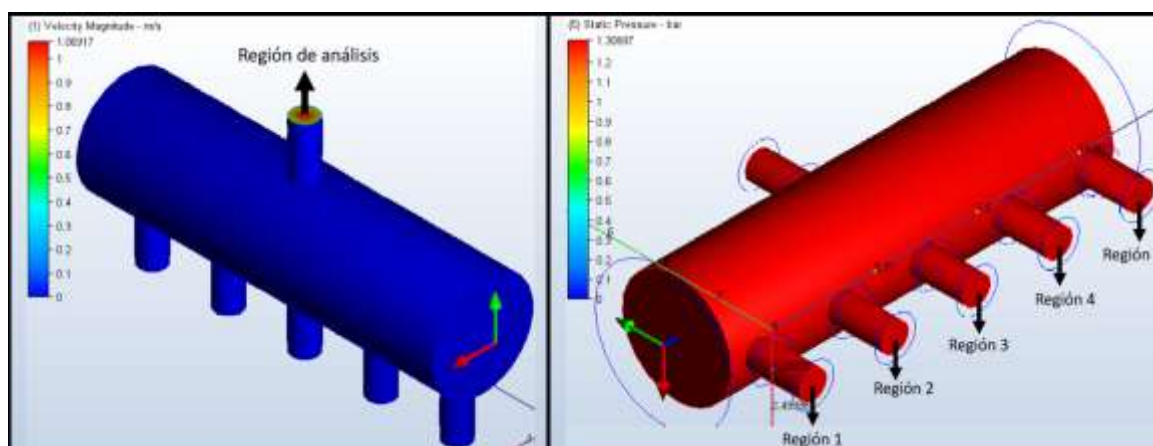


Figura 53 Resultados en la distribuidora b

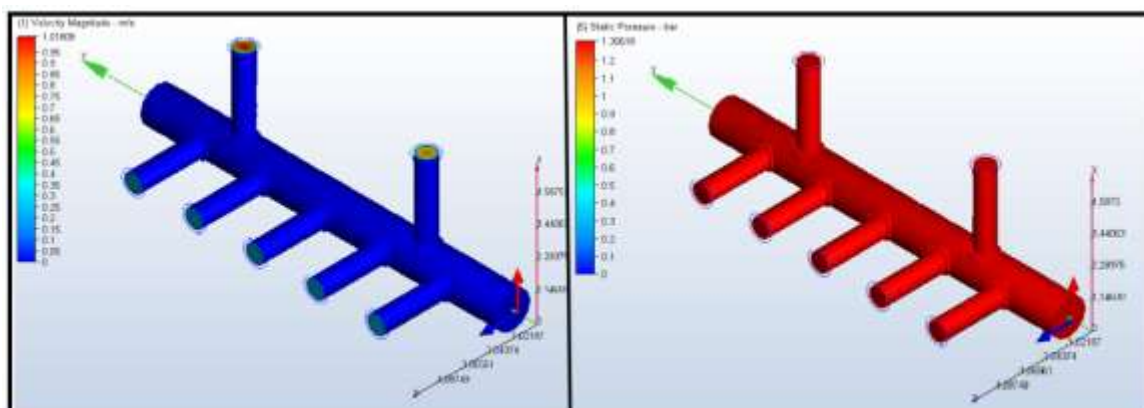


Figura 54 Resultados en la distribuidora c



Las figuras 49, 50, 51 muestran los contornos de velocidad y presión en las tres distribuidoras.

Los resultados arrojados por CFD son:

Tabla 14: Diferencia de presiones en las distribuidoras

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Promedio	Diferencia de presiones
Presión de salida distribuidora a [bar]	1.28779	1.2878	1.28781	1.2878	1.28779	1.287798	0.012202
Presión de salida distribuidora b [bar]	1.30741	1.30738	1.30894	1.30738	1.30741	1.307704	0.007704
Presión de salida distribuidora c [bar]	1.30251	1.30277	1.3026	1.302567	1.3026	1.3026094	0.0026094

Tabla 15: Diferencia de caudales en las distribuidoras

	Región de análisis promedio	Diferencias de caudales
Caudal de entrada distribuidora a [l/s]	0.0538848	0.0428848
Caudal de entrada distribuidora b [l/s]	0.0536473	0.0426473
Caudal de entrada distribuidora c [l/s]	0.0267231	0.0157231

Las simulaciones demuestran que en la distribuidora “c” ocurre menor diferencia de caudal y de presiones. Además, cabe mencionar que el diámetro de almacenamiento en esta distribuidora no es mucho mayor al diámetro de las entradas y salidas lo que produce una mejor distribución de cerveza, ya que el lugar de almacenamiento tarda menos tiempo en llenarse por completo, produciendo un caudal similar en las salidas.

En el caso de esta distribuidora las entradas de abastecimiento y las salidas de distribución son tubos circulares de 3/8 [in.] (9.525 [mm]) de diámetro y el espacio de almacenamiento es un tubo de 5/8 [in.] (15.875 [mm]) de diámetro, por lo tanto la relación entre estas partes de la distribuidora es:

$$0.6 \cdot d_{\text{entrada,salida}} = d_{\text{almacenamiento}}$$

En cuanto a la facilidad de construcción, la distribuidora “a” requiere de 6 tubos de 19 [mm] con espesor de 4 [mm], una plancha de acero con corte circular de 3 [in.] y un tubo de 3 [in.] y

4 [mm] de espesor, estos componentes se juntan de forma permanente mediante soldadura SMAW. Por otro lado, las distribuidoras “b” y “c” necesitan 6 tubos de 5/8 [in.] con espesor de 1.2 [mm], un tubo de 5/8 [in] con espesor de 1.2 9 [mm] y cortes circulares de 5/8[in] en planchas de acero, los componentes se juntan de forma permanente mediante soldadura TIG.

*Facilidad de construcción y diferencia de caudal y presión*

*dsitribuidora a > distribuidora b > distribuidora c*

### **Plan de prueba del prototipo**

Dicho plan guarda referencia al desempeño de se espera obtener de la maquina cuando esta entre en funcionamiento.

*Tabla 16 Plan de prueba del prototipo*

<b>PLAN DE PRUEBA DEL PROTOTIPO</b>			
<b>PRUEBA</b>	<b>REQUISITOS PARA VALIDAR</b>	<b>SUBSISTEM A</b>	<b>MÉTODO DE VERIFICACIÓN</b>
<b>Presión del sistema</b>	Necesidades de control.	Sistema de distribución de gas.	El manómetro deberá marcar 1.3 bar durante todo el proceso de llenado.
<b>Caudal de salida</b>	Necesidades de control.	Sistema de distribución de fluidos.	La presión del sistema garantizara un caudal de 0.011 L/S para cada botella.
<b>Desplazamiento del pistón</b>	Equipamiento sostenible.	Sistema neumático.	La alimentación de aire hacia la válvula 5/2 será de 25 L/min.
<b>Apertura de válvulas</b>	Necesidades de control.	Sistema Hidráulico.	La apertura oscila entre (90°: 0°: -90°) grados a partir del punto de sesteo.

<b>Llenado de botellas</b>	Control de calidad.	Sistema de control manual.	Cada botella deberá alcanzar los 330 ml de cerveza.
<b>Liberación de excedentes de CO2</b>	Control de calidad.	Sistema de control manual.	La generación de espuma deberá ser menor a 5%.
<b>Tiempo de llenado</b>	Control de calidad.	Sistema de control manual.	El llenado de 5 botellas deberá darse en 35 segundos

### Validación del sistema mecánico

Garantizar que todo el sistema guarde rigidez y un buen desempeño es parte elemental del funcionamiento de la llenadora, por tal razón, supervisar todos los componentes mecánicos es tarea elemental antes de entrar en funcionamiento.

*Tabla 17 Definiciones de acciones para completar 1.*

<b>Acción para completar</b>
Verificar un correcto anclaje de todas las mangueras en tanques, distribuidoras y llenadoras.
Verificar un correcto seteo de presión en el manómetro.
Verificación del paso en los reguladores de caudal.
Verificar el ajuste y regulación del expansor.
Verificar el posicionamiento del actuador y de la válvula.

### Validación del sistema eléctrico

Garantizar una correcta alimentación energética a todos los componentes eléctricos permitirá el accionamiento correcto de todos los actuadores neumáticos.

Tabla 18 Definición de acciones a completar 2.

<b>Acción para completar</b>
Verificar el cableado de alimentación de 110 V
Verificar el estado de la batería de 9V.
Verificar el estado del fusible
Verificar el cableado del rele de estado solido
Verificar el cableado de la válvula 5/2

### **Validación del sistema neumático**

Garantizar una correcta distribución y alimentación de aire permitirá al actuador desplazar la base móvil.

Tabla 19 Definición de acciones a completar 3.

<b>Acción para completar</b>
Verificar el estado del embolo del pistón
Verificar la abertura de los reguladores de caudal
Verificación del estado de silenciadores de la válvula 5/2
Verificación de mangueras de alimentación del compresor
Verificación del ajuste de los acoples NPT 1/8 de la válvula y el pistón

### **Validación del sistema de distribución y llenado**

Garantizar una correcta distribución de los fluidos tanto a la entrada como a la salida de las distribuidoras permitirá un eficiente llenado en las botellas

Tabla 20 Definiciones de acciones para completar 4.

<b>Acción para completar</b>
Verificar el seteo inicial de la válvula de la llenadora a 0°

Verificar el paso del CO2 al girar la válvula a 90°
Verificar el paso de la cerveza al girar la válvula a - 90°

## Seguridad a través del diseño

### 1. Inestabilidad en la estructura metálica principal

**Posible causa del percance:** Si las planchas y el tubo son muy delgadas es posible generarse pandeo e inestabilidad de todo el sistema

**Recomendación para evitar el percance:** Utilizar planchas de 4 mm y perfiles de tubo de 1.5 mm

### 2. Taponamiento de las distribuidoras

**Posible causa del percance:** Existencia de grumos dentro de la distribuidora

**Recomendación para evitar el percance:** Evitar el retiro de los filtros purificadores en los tanques de llenado

### 3. Taponamiento de las llenadoras

**Posible causa del percance:** Existencia de grumos y residuos dentro de la llenadora

**Recomendación para evitar el percance:** Evitar el retiro de los filtros purificadores en los tanques de llenado

### 4. Deformaciones en el expansor guía

**Posible causa del percance:** Si el expansor presenta un espesor menor a 14 mm es posible que se deforme y la base móvil pierda posicionamiento

**Recomendación para evitar el percance:** Utilizar un perno acerado con un espesor igual o mayor a 14 mm

## **5. Desgaste de la base guía encargada del centramiento de la base móvil**

**Posible causa del percance:** Si el eje central destinado para el deslizamiento de la base móvil presenta considerables niveles de rugosidad el constante deslizamiento afectarían al agujero y con ello este empezaría a deformarse

**Recomendación para evitar el percance:** Mantener el eje central limpio de residuos y de cualquier clase de objetos adherentes que podrían generar grumos al eje.

## **6. Desgaste de los bocines alojadores de las llenadoras**

**Posible causa del percance:** El desgaste del agujero interno de los bocines de las llenadoras podrían ser la principal causa de desajuste externo del bocín en la base móvil.

**Recomendación para evitar el percance:** Verificar el ajuste del prisionero encargado del enclavamiento de la llenadora, en caso de estar con un bajo nivel de ajuste proceder a apretar el prisionero.

## **7. Desgaste de los agujeros alojadores de los bocines para las llenadoras**

**Posible causa del percance:** El desgaste del diámetro externo de los bocines de las llenadoras podrían ser la principal causa de desajuste interno de los agujeros en la base móvil.

**Recomendación para evitar el percance:**

## **8. Deformación y desgaste de prisioneros**

**Posible causa del percance:** Producir golpes en la cabeza del prisionero o efectuar un incorrecto ajuste podría dañar la rosca y el cuadro para la entrada del hexágono de ajuste

**Recomendación para evitar el percance:** Efectuar un correcto guiamiento de las roscas de entrada tanto del prisionero como del bocín alojado en la base móvil.

## **9. Destrucción de la rosca guía para el prisionero**

**Posible causa del percance:** Efectuar un incorrecto montaje de roscas alteraría el paso de rosca del prisionero

**Recomendación para evitar el percance:** Verificar el uso correcto de prisioneros con dimensiones apropiadas para el agujero y coincidentes en paso e hijo de rosca.

### **10. Desgaste de los corchos de silicona**

**Posible causa del percance:** Generar un desnivel fuera del rango permitido generaría un mayor desplazamiento en la base móvil y con ello un mayor aplastamiento para los corchos, mismo que tenderían a contraerse y recibir cortes.

**Recomendación para evitar el percance:** No se deberá exceder el desnivel de desplazamiento de la base móvil en más de 5 mm a partir del contacto entre el corcho y la botella.

### **Análisis de Riesgos**

Los riesgos son factores que se deben tomar en cuenta al momento del diseño y fabricación de la máquina, por consiguiente, se deben identificar y establecer decisiones para minimizar o eliminar estos.

Tabla 21: Identificación de riesgos

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRIORIDAD - IMPACTO * PROBABILIDAD	RESPONSABLE	DECISIÓN TOMADA	ESTATUS	OBSERVACIONES
1	Posicionamiento erróneo entre botella y válvula de llenado puede romper las botellas	5X2=10	Bryan Rayo	Diseñar: Bases las cuales reduzcan la inestabilidad de las botellas	Finalizada	Comprobar la estabilidad de las bases.
2	Sobrecarga de corriente	5X3=15	Alejandro Gálvez	Implementar: Sistema de seguridad a base de relés térmicos, fusibles y brackers.	Finalizada	Adquirir componentes fiables y comprobar las conexiones.
3	Imprecisión del pistón debido a la salida tardía del vástago	4X4=16	Fernando Alomia	Comprobar: Alimentación constante de presión por parte del compresor.	Vigente	Comprobar una buena conexión de aire.
4	Contaminación del aire (Puede generar obstrucción).	4x2=8	Alejandro Gálvez	Añadir: Configuración de filtro que regule los estándares de purificación del aire.	Vigente	Comprobar el tipo de aire que se tiene a la salida del compresor
5	Fugas de aire aumentan la imprecisión y aumento en el gasto de energía.	4X4=16	Bryan Rayo	* Revisar: Escapes en las mangueras de aire. * Instalar: Correctamente las manguera de aire. *Verificar: Estado de las mangueras.	Vigente	Comprobar la calidad de las mangueras y adquirir accesorios fiables.
6	Distribución igualitaria en las cinco botellas	2X4=8	Fernando Alomia	Diseñar: Distribuidoras las cuales garanticen una correcta distribución de los líquidos.	Finalizada	Verificar que las mangueras que se encuentren colocadas en las válvulas posean una longitud similar.
7	Sellado del corcho con la botella	3X3=9	Fernando Alomia	Construir: Corchos los cuales garanticen un sellado correcto entre las botellas y las llenadoras	Finalizada	Verificar que los corchos se encuentren posicionados en la señal que se encuentra en la llenadora.
8	Impurezas dentro de la maquina embotelladora	5X3=15	Alejandro Gálvez	Instalar: Cortinas plásticas con 2mm de grosor las cuales ayuden a hermetizar el sistema.	Finalizada	Asegurarse que las cortinas sellen el sistema correctamente
9	Movimiento brusco cuando el pistón se expande	3X2=6	Bryan Rayo	Implementar: Guía de con soporte la cual asegure que la base móvil no tenga movimiento.	Finalizada	Observar: Los pernos se encuentren correctamente ajustados.

En la tabla 21 se presentan los riesgos a los que se encuentra sometido el diseño de la máquina semiautomática. Los riesgos están relacionados con tres subsistemas de la máquina de llenado: el actuador neumático y sus mecanismos, el proceso de llenado y el controlador. El actuador



neumático emplea entradas de aire mediante mangueras, por lo tanto, en este sistema puede haber fugas de aire comprimido y pérdida de energía en el sistema; ya que se desgasta el fluido de trabajo que lleva energía interna. Además, estas fugas pueden provocar una reducción en el flujo volumétrico a la entrada del pistón, provocando que este no complete el desplazamiento de su carrera y volviendo impreciso al sistema.

De la misma manera, el diseño y construcción de la máquina debe prever el riesgo de la entrada de aire contaminado al sistema neumático, debido a que este puede generar obstrucción en el flujo de aire provocando que esta tarde más tiempo en desplazarse del compresor al pistón y a su vez puede obstruir el accionamiento del pistón.

Asimismo, la imprecisión de los pistones (salida tardía de los vástagos) dentro del sistema podría ser a causa de una deficiente presión de aporte por parte del compresor, como consecuencia esto podría provocar daños en la estructura portadora de las válvulas de llenado, además, el control de presión dentro de las botellas variaría considerablemente, motivo por el cual se generaría pérdidas de presión en el interior de los recipientes y con ello una disminución del porcentaje de dióxido de carbono en la malta.

Por otro lado, el circuito de control y de fuerza (componentes del subsistema de control) tienen el riesgo de sufrir daños en sus componentes eléctricos si aumenta repentinamente o progresivamente el paso de corriente a través de estos, por lo tanto, se deben añadir dispositivos que soporten o desactiven el cambio de corriente. Este riesgo que adveniría los componentes eléctricos se soluciona implementados fusibles para el caso del circuito de control y tanto breakers como relés térmicos para el circuito de fuerza.

El subsistema de llenado de cervezas contempla errores con respecto a la posición, desplazamiento de las válvulas de llenado y la distribución igualitaria de la cerveza en las cinco botellas. El riesgo de no tener una distribución igualitaria se puede deber al sistema de

distribución y su efecto significaría que las botellas no tengan el mismo nivel de cerveza (no hay una calidad constante).

También, descuidar el posicionamiento de las botellas respecto a las válvulas podría generar defectuosos cierres de presión, flexión en la base portadora de las válvulas de llenado e inclusive el rompimiento de las botellas. Con este último suceso se pondría en juego la integridad del operario e inclusive el de la misma máquina; por este motivo se realizó la construcción de corchos plásticos adaptables a las llenadoras con el fin de asegurar un cierre de presión dentro de la botella.

Si el ambiente en el cual la máquina estaría realizando sus operaciones se encuentra con algún tipo de impurezas en el aire el proceso de llenado se podría ver afectado puesto que las botellas estarían en contacto con dicho aire, por este motivo se implementó cortinas plásticas las cuales aseguren un sistema hermético apto para trabajar con alimentos.

## **Manual de mantenimiento y operación:**

### **Sección de seguridad**

En esta sección se muestran las medidas de seguridad que se deben tomar en cuenta durante el proceso de llenado de cervezas empleando la máquina semiautomática. Se recomienda leer esta sección antes de operar el equipo.

- No usar joyas o ropa holgada que se pueda enganchar en los componentes del equipo.
- Mantener distanciamiento mientras se produce el proceso de llenado, dado que las cervezas pueden romperse espontáneamente debido a la presión ejercida en el sistema.
- No manipular las llenadoras y los componentes eléctricos mientras se realiza el proceso de llenado de cervezas.

- Tener precaución al conectar y desconectar tuberías o acoplamientos, en caso de que estos accesorios tengan fugas o no se encuentren correctamente conectados puede haber movimientos violentos de estos.

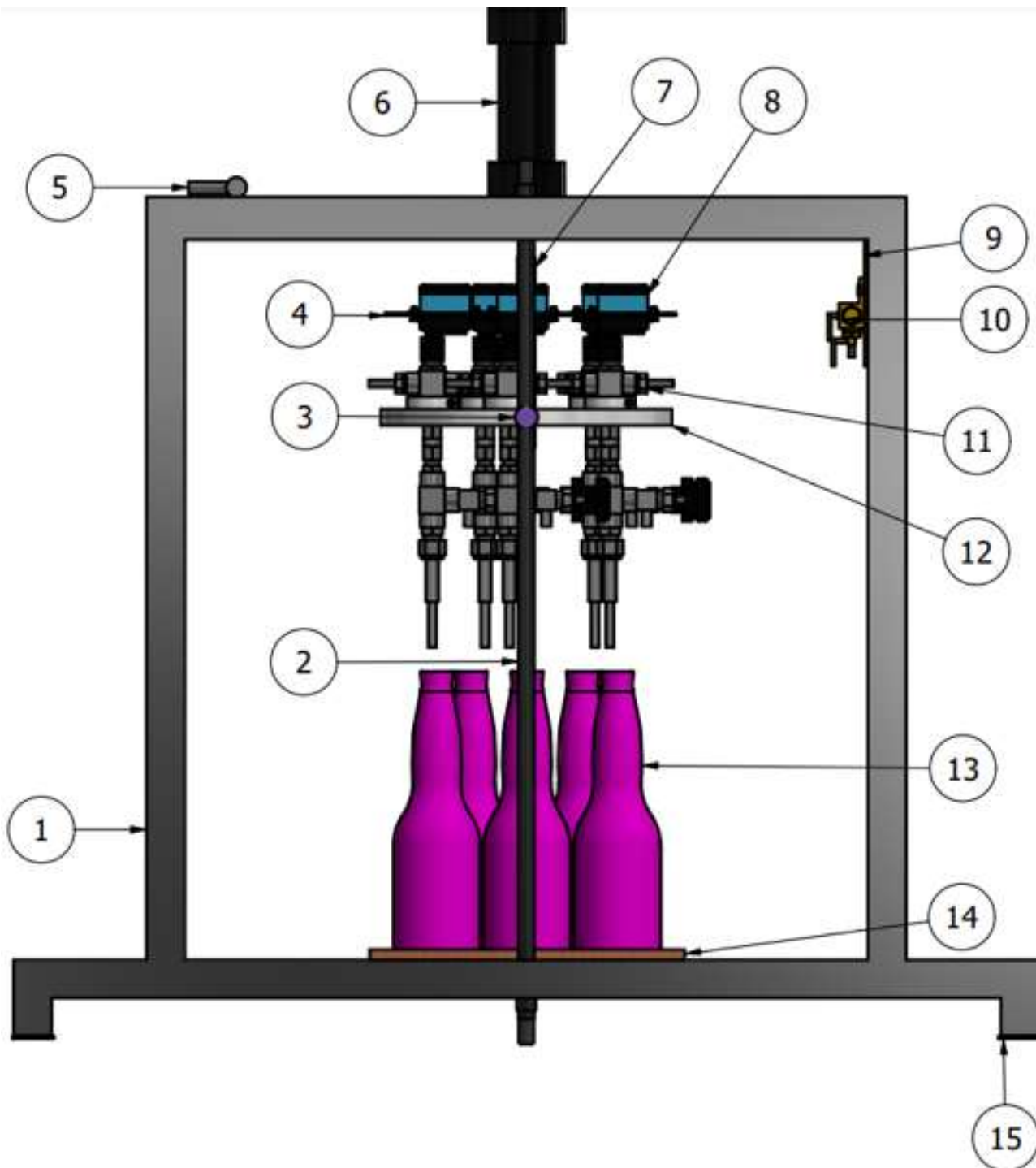
### Información del producto

La máquina semiautomática de llenado de cervezas se encuentra constituida de las siguientes partes:

Tabla 22: Lista de partes

Código	Nombre	Cantidad
MS-1	Estructura	1
MS-2	Guía bases	1
MS-3	Sujetador base móvil	1
MS-4	Distribuidora de cervezas	1
MS-5	Pistón	1
MS-6	Expansor pistón	1
MS-7	Servomotores	5
MS-8	Acrílico de soporte	1
MS-9	Distribuidora CO2	1
MS-10	Llenadora	5
MS-11	Base de llenadoras	1
MS-12	Botellas de cerveza	5
MS-13	Soportes de cervezas	1
MS-14	Patas de mesa	4

### Vistas del modelo (Pg. 13)



**Figura 1**

- |                          |                           |                          |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| (1) Estructura           | (2) Guía de bases         | (3) Sujetador base móvil |
| (4) Base servomotores    | (5) Distribuidora cerveza | (6) Pistón neumático     |
| (7) Expansor pistón      | (8) Servomotores          | (9) Acrílico de soporte  |
| (10) Distribuidora CO2   | (11) Llenadoras           | (12) Base de llenadoras  |
| (13) Botellas de cerveza | (14) Soportes de cerveza  | (15) Patas de mesa       |

## **Descripción del producto**

El producto consta de:

- Un sistema mecánico: constituido de una base móvil de cervezas que mantiene fija a cinco llenadoras mediante prisioneros, y las traslada hacia arriba o hacia abajo según se contraiga o expanda el cilindro pistón.
- Un sistema neumático: constituido de una entrada de aire, una electroválvula 5-2, 2 reguladores de caudal y un cilindro pistón. El sistema permite desplazar hacia arriba y hacia abajo las llenadoras y servomotores de una forma controlada.
- Un sistema de control: este sistema consta de un controlador Raspberry que permite controlar los servomotores (acoplados a las llenadoras) para que se produzca el giro en las válvulas T de las llenadoras y a su vez controla la entrada de aire a través de la válvula 5-2.
- Un sistema de distribución y llenado: este sistema consta de las llenadoras que tienen una válvula T (de 3 vías 2 posiciones) que permitir el paso de cerveza o CO<sub>2</sub>, y dos distribuidoras (para el CO<sub>2</sub> y la cerveza) que divide de manera equitativa los fluidos a las botellas de cerveza.

## **Sección de mantenimiento**

En esta sección se presentan los puntos a tomar en cuenta para que la máquina semiautomática aumente su tiempo de vida útil, en este caso se presentan mantenimientos tanto preventivos como correctivos.

Gama diaria

- Inspección visual de las conexiones de mangueras en el sistema neumático y en el sistema de distribución y llenado.
- Verificar que no existan fugas de aire, CO<sub>2</sub> o cerveza en las mangueras.

- Comprobar presión de trabajo en el tanque de CO<sub>2</sub>.
- Comprobar temperatura de la cerveza.

#### Gama semanal y mensual

- Limpiar internamente las mangueras de CO<sub>2</sub> y de cerveza con agua caliente.
- Limpiar la distribuidora de cerveza con agua a presión en conjunto con alcohol isopropílico.
- Limpiar la distribuidora de CO<sub>2</sub> con agua caliente.
- Emplear un limpiador multiusos WD-40 para evitar la corrosión, humedad, grasa y aumentar la lubricación de la guía y del expansor del pistón.
- Comprobar que los protectores de los equipos electrónicos estén funcionando correctamente.
- Comprobar el estado de carga de la batería de 9 voltios.

#### Gama anual

- Verificar el estado de los prisioneros de la guía para garantizar un posicionamiento central de la base móvil.
- Desarmar las llenadoras para comprobar que estén bien acoplados, su parte superior y su parte inferior.
- Cambiar las siliconas de pare de las llenadoras.
- Desarme y limpieza de las partes del cilindro pistón, las partes pueden ser removidas con herramientas comunes (de taller).
- Cambiar el expansor.

### **Sección de Operación**

Antes de iniciar el proceso de llenado se deben tomar en cuenta las siguientes consignas:

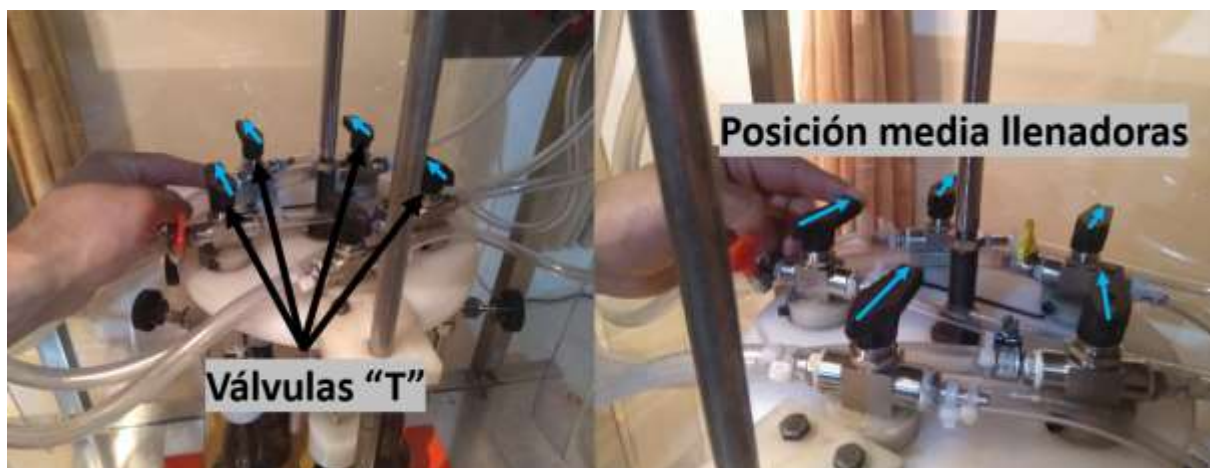
1. Colocar correctamente las cervezas en sus respectivos soportes.



2. Comprobar la posición del soporte de cerveza en la estructura con la cinta reflectiva gris y blanca.

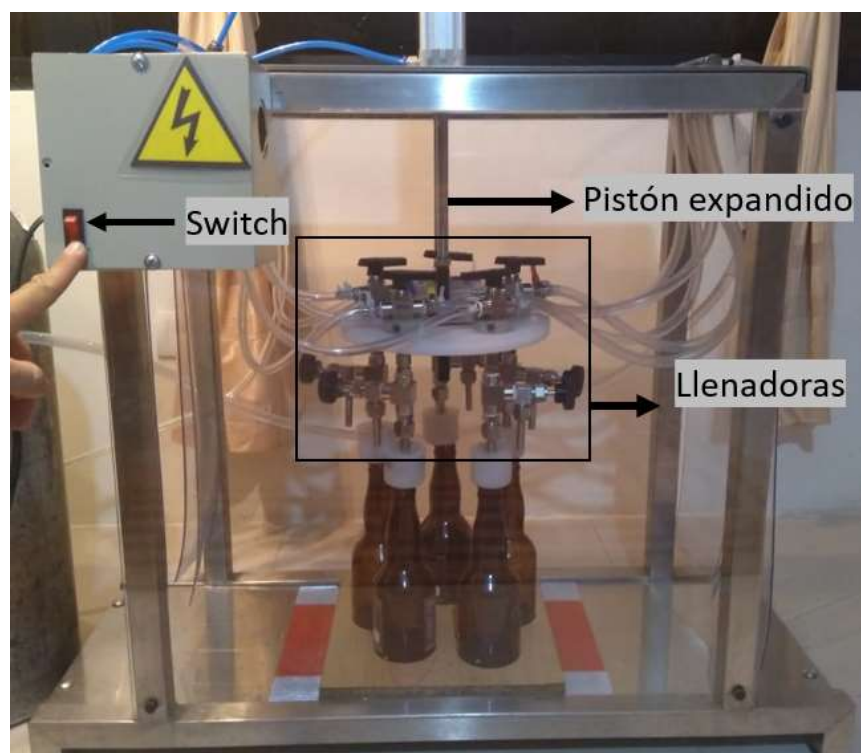


3. Posicionar la llenadora, válvula T, en una posición media de tal forma que se restrinja el paso tanto de cerveza como de CO<sub>2</sub>.



### Operación de llenado

1. Regular la presión del tanque de CO<sub>2</sub> a 1.3 bares (18.8 psi).
2. Aplastar el switch para que el cilindro pistón se expanda y se acoplen las llenadoras a las botellas.



3. Permitir el paso del CO<sub>2</sub> posicionado la llenadora en dirección hacia su distribuidora durante 2 segundos, y luego cerrarla (llenadora en la posición media).





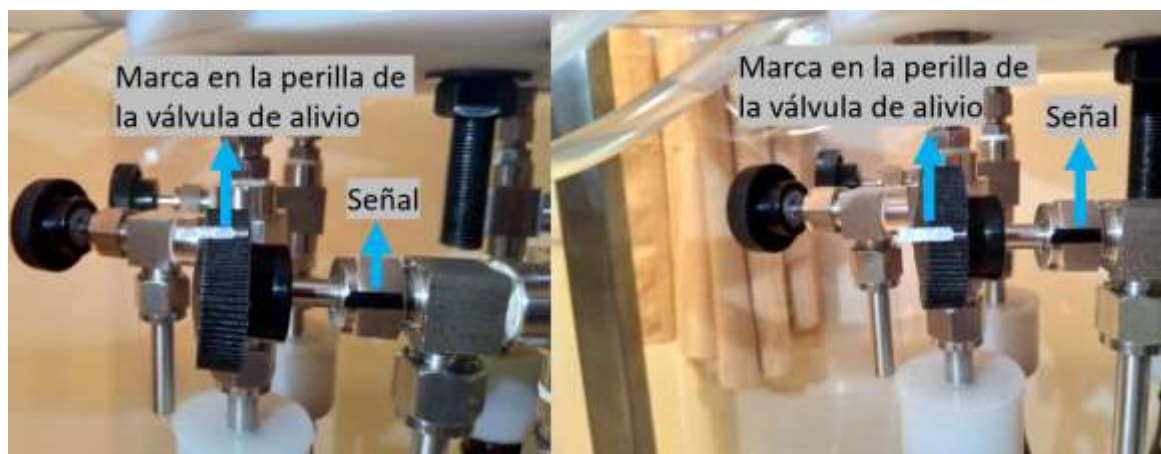
4. Purgar el oxígeno girando la perilla de la válvula de alivio un cuarto de vuelta durante 2 segundos, y volver a cerrar la válvula.



5. Repetir los pasos 3 y 4, 3 veces para barrer el oxígeno en la botella.
6. Girar la válvula "T" 90 grados para permitir el paso de cerveza.



7. Regular la entrada de cerveza empleando la válvula de alivio, es decir, girando la perilla negra hasta que la marca en la perilla de la válvula de alivio este alineada con la señal indicada.



8. Aplastar el switch para que el cilindro pistón se contraiga.



Una vez concluido el proceso de llenado se debe comprobar que el cilindro pistón permanezca en su posición natural (expandido), desactivar la entrada del aire a la válvula 5-2 y despresurizar el sistema de distribución y llenado.

## Discusiones

- El material y la geometría de la estructura soporta la carga del sistema sin ningún inconveniente. En el caso de los soportes hay una deflexión despreciable, el sistema es estable dado que la carga aplicada es menor que la carga crítica y el esfuerzo permisible es menor que el máximo lo que indica que no falla.
- Posteriormente realizados los cálculos correspondientes se puede observar que los componentes utilizados en la en la estructura son capaces de soportar las cargas máximas que se aplicaran durante el proceso.

## Conclusiones

- La estructura es capaz de soportar las cargas producidas por las llenadoras y la base móvil sin que exista peligro de que esta falle; por lo tanto, es un componente seguro en la construcción de la máquina semiautomática.
- Las soldaduras son capaces de soportar la carga del sistema y mantener a la estructura junta a pesar de haber un esfuerzo por flexión que aumente el esfuerzo máximo.
- Se recomienda el uso un controlador tipo PLC, el cual se encuentre diseñado para realizar todas las operaciones de la máquina.
- Se concluye que el uso de componentes eléctricos dentro del sistema no es una alternativa fiable puesto que se pueden producir alteraciones en el tiempo de vida útil de la llenadora.
- Se comprobó que cuando el diámetro de las llenadoras es menor, el caudal dentro de las mismas aumenta y se genera un mejor llenado en un menor tiempo.
- Para garantizar que no existan pérdidas de CO<sub>2</sub> el sistema debe encontrarse herméticamente sellado a través del ajuste correcto de los corchos.

## Trabajos a Futuro

Una vez concluido el diseño y la fabricación de la máquina semiautomática de cervezas, se recomiendan realizar las siguientes implementaciones o modificaciones que permitan mejorar el diseño.

- Implementar un sistema de resorte-masa para absorber la energía producida por la diferencia de presiones dentro de la botella de cerveza.
- Emplear un PLC en conjunto con válvulas continuas y fijas para reemplazar los servomotores.
- Realizar un estudio de vibraciones de la estructura teoría.
- Implementar cortinas plásticas en las partes laterales de la estructura (donde entra y salen las botellas).
- Agregar una puerta corrediza en la parte frontal de la estructura.

- Tapar el pistón con una estructura de metal que contenga el logo de la empresa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andarde, X. Pisco, I. Quinde, L. Coronel, C. (2020). El mercado de bebidas alcohólicas en Ecuador | Revista Industrias. El Mercado de Bebidas Alcohólicas En Ecuador. (<https://revistaindustrias.com/el-mercado-de-bebidas-alcoholicas-en-ecuador/>).
- Aislantes SH (2018). *GRILON*. <https://www.aislantessh.com.ar/grilon-2/#:%7E:text=Posee%20una%20elevada%20resistencia%20al,engranajes%20trabajan%20de%20forma%20silenciosa.>
- Brunete, A., Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la automatización Industrial* (1ste editie, Vol. 1). Universidad Politécnica de Madrid.
- Cacho, M. J., & Loayza, D. E. (2019). Análisis Económico de la Producción en la Industria de Alimentos y Bebidas del Ecuador Durante el Periodo 2007–2017. *X-pedientes Económicos*, 3(6), 6-22.
- Engin, Kaan & Eyercioglu, Omer. (2016). Investigation of the Process Parameters on the Blanking of AISI 304 Stainless Steel by Using Finite Element Method. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*. 6. 10.17265/2159-
- Fonseca, V. (2007). Breve historia de la cerveza. *Virtual Pro*, 64.
- Historia de la cerveza. (2021, 16 noviembre). *Cervecistas*. (<https://www.loscervecistas.es/historia-de-la-cerveza/>).
- J.T.I.E.C. (2022, 1 febrero). Pesticide filling machine, corrosive liquid filling machine manufacturer. Tom. (<https://www.tompacks.com/Product/DGP-SCZ-12-automatic-weighing-type-filling-machines.html>)
- Munson. (2010). *Fundamentos de mecánica de Fluidos*. octava edición.
- Samano, R. G. (2008). Cerveza y globalización. El pan bebible. *Revista Vinculando*.
- Stenerson, J. (2011). *Programmable Logic Controllers with ControlLogix*. Cengage Learning.
- Shigley. (2010). *Diseño mecánico*.
- United Nations. (2011). Población | Naciones Unidas. (<https://www.un.org/es/global-issues/population>)
- UCSP (2021, 22 febrero). *Descubre qué son los procesos de manufactura*. Escuela de Postgrado de la Universidad Católica San Pablo. <https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/que-son-procesos-manufactura/>

## APENDICES

### Apéndice A

#### Evaluación de criterios para obtención del prototipo final.

Tabla 23 Evaluación del peso específico del criterio 1: costo.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas es más económica  
Solución B > Solución E > Solución D = Solución C > Solución A

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0	0	0	1	2	0,133
SOLUCIÓN B	1		1	1	1	5	0,333
SOLUCIÓN C	1	0		0,5	0	2,5	0,167
SOLUCIÓN D	1	0	0,5		0	2,5	0,167
SOLUCIÓN E	0	0	1	1		3	0,200
						15	1

Tabla 24: Evaluación del peso específico del criterio 2: montaje y desmontaje.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas es más sencilla de montar y desmontar  
Solución C = Solución D > Solución B > Solución A > Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0	0	0	1	2	0,133
SOLUCIÓN B	1		0	0	1	3	0,200
SOLUCIÓN C	1	1		0,5	1	4,5	0,300
SOLUCIÓN D	1	1	0,5		1	4,5	0,300
SOLUCIÓN E	0	0	0	0		1	0,067
						15	1

Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio 3: dimensiones

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas ocupa menor espacio  
Solución C = Solución D > Solución A = Solución B > Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0,5	0	0	1	2	0,143
SOLUCIÓN B	0,5		0	0	1	2	0,143
SOLUCIÓN C	1	1		0,5	1	4,5	0,321
SOLUCIÓN D	1	1	0,5		1	4,5	0,321
SOLUCIÓN E	0	0	0	0		1	0,071
						14	1

Tabla 26: Evaluación del peso específico del criterio 4: precisión.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas es más precisa  
Solución A = Solución B = Solución E > Solución C = Solución D

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0,5	1	1	0,5	4	0,267
SOLUCIÓN B	0,5		1	1	0,5	4	0,267
SOLUCIÓN C	0	0		0,5	0	1,5	0,100
SOLUCIÓN D	0	0	0,5		0	1,5	0,100
SOLUCIÓN E	0,5	0,5	1	1		4	0,267
						15	1

Tabla 27: Evaluación del peso específico del criterio 5: seguridad

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas tiene mayor seguridad de las botellas  
Solución A = Solución B = Solución C > Solución D = Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		1	1	1	1	5	0,357
SOLUCIÓN B	0		1	1	1	4	0,286
SOLUCIÓN C	0	0		0,5	1	2	0,143
SOLUCIÓN D	0	0	0,5		0,5	1,5	0,107
SOLUCIÓN E	0	0	0	0,5		1,5	0,107
						14	1,000



Tabla 28: Evaluación del peso específico del criterio 6: dificultad de construcción y cálculos.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas es más fácil de construir y de calcular  
Solución D > Solución C > Solución A = Solución B = Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0,5	0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN B	0,5		0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN C	1	1		0	1	4	0,267
SOLUCIÓN D	1	1	1		1	5	0,333
SOLUCIÓN E	0,5	0,5	0	0		2	0,133
						15	1

Tabla 29: Evaluación del peso específico del criterio 7: diseño estético.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas tiene mejor diseño estético  
Solución E > Solución A > Solución B > Solución C = Solución D

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0	1	1	0,5	3,5	0,233
SOLUCIÓN B	1		0	0	1	3	0,200
SOLUCIÓN C	0	1		0,5	0	2,5	0,167
SOLUCIÓN D	0	1	0,5		0	2,5	0,167
SOLUCIÓN E	0,5	0	1	1		3,5	0,233
						15	1

Tabla 30: Evaluación del peso específico del criterio 8: mantenimiento

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas es más fácil de reparar y el tiempo aproximado que tarda  
Solución D = Solución C > Solución B > Solución A = Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0	0	0	0,5	1,5	0,100
SOLUCIÓN B	1		0	0	1	3	0,200
SOLUCIÓN C	1	1		0,5	1	4,5	0,300
SOLUCIÓN D	1	1	0,5		1	4,5	0,300
SOLUCIÓN E	0,5	0	0	0		1,5	0,100
						15	1

Tabla 31: Evaluación del peso específico del criterio 9: tiempo de vida útil.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas tiene mayor tiempo de vida útil  
Solución D > Solución C > Solución E > Solución A = Solución B

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0,5	0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN B	0,5		0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN C	1	1		0,5	0	3,5	0,233
SOLUCIÓN D	1	1	0,5		1	4,5	0,300
SOLUCIÓN E	0,5	0,5	1	0		3	0,200
						15	1

Tabla 32: Evaluación del peso específico del criterio 10: eficiencia.

Discusión - Evaluación de cuál de las alternativas tiene mayor eficiencia  
Solución C > Solución D > Solución A = Solución B = Solución E

CRITERIO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	Solución E	Suma + 1	Ponderado de la calificación
SOLUCIÓN A		0,5	0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN B	0,5		0	0	0,5	2	0,133
SOLUCIÓN C	1	1		0,5	1	4,5	0,300
SOLUCIÓN D	1	1	0,5		1	4,5	0,300
SOLUCIÓN E	0,5	0,5	0	0		2	0,133
						15	1

Tabla 33: Resultados finales de la ponderación de los criterios.

Ponderado del Criterio 9	Ponderado Calificación Criterio 9: Tiempo de vida útil	Producto	Ponderado del Criterio 10	Ponderado Calificación Criterio 10: Eficiencia	Producto	Suma de los productos	Prioridad
0,127	0,133	0,017	0,118	0,133	0,016	0,188	4
0,127	0,133	0,017	0,118	0,133	0,016	0,209	3
0,127	0,233	0,030	0,118	0,300	0,035	0,225	2
0,127	0,300	0,038	0,118	0,300	0,035	0,230	1
0,127	0,200	0,025	0,118	0,133	0,016	0,149	5



### Datos

$$k_{\text{codo}} = 0,4$$

$$k_{\text{valvula}} = 10$$

$$k_{\text{salida}} = 1$$

$$l_{\text{pipe}} = 1,1 \text{ [m]}$$

$$d_{\text{pipe}} = 0,009525 \text{ [m]}$$

$$\text{rugosidad}_{\text{relativa}} = 0$$

$$\text{Viscosidad}_{\text{dinámica}} = 1,518 \text{ [N*s/m}^2\text{]}$$

$$RR = 0$$

$$P_{\text{esO}_{\text{especifico}}} = 10 \text{ [N/m}^3\text{]}$$

$$\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$z_b = -0,01 \text{ [m]}$$

$$P_a = 13000 \text{ [Pa]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\text{Area} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{pipe}}^2$$

$$\text{Caudal} = \text{Velocidad} \cdot \text{Area}$$

$$\text{Sum}_K = k_{\text{codo}} + k_{\text{valvula}} + k_{\text{salida}}$$

$$h_l = 0,5 \cdot \frac{P_a}{P_{\text{esO}_{\text{especifico}}}} - \frac{\text{Velocidad}^2}{2 \cdot g} - z_b$$

$$h_l = h_{\text{mayor}} + h_{\text{menor}}$$

$$h_{\text{mayor}} = f \cdot \frac{l_{\text{pipe}}}{d_{\text{pipe}}} \cdot \frac{\text{Velocidad}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{\text{menor}} = \text{Sum}_K \cdot \frac{\text{Velocidad}^2}{2 \cdot g}$$

### Número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot \text{Velocidad} \cdot d_{\text{pipe}}}{\text{Viscosidad}_{\text{dinámica}}}$$

### Friction factor

$$f = \text{MoodyChart} (\text{Re} ; RR)$$

**Resultados con el barril de cerveza por debajo de la distribuidora**

Unit Settings: SI C MPa kJ mass deg

Area = 0.0000126 [m<sup>2</sup>]

h<sub>resc</sub> = 585.1 [m]

Permeabilidad = 10 [m/s<sup>2</sup>]

Suma = 11.4

Caudal = 0.0000882 [m<sup>3</sup>/s]

h<sub>resc</sub> = 53.95 [m]

F<sub>g</sub> = 1.000 [N]

Velocidad = 3.913 [m/s]

r<sub>pipe</sub> = 0.009025 [m]

R<sub>cost</sub> = 2.4

R<sub>o</sub> = 21.57

Velocidad<sub>transm</sub> = 1.018 [m/s]

F = 1.035

h<sub>resc</sub> = 1

ρ = 1000 [kg/m<sup>3</sup>]

z<sub>g</sub> = 2.01 [m]

g = 9.81 [m/s<sup>2</sup>]

h<sub>resc</sub> = 10

R<sub>o</sub> = 0

h<sub>g</sub> = 645.1 [m]

h<sub>resc</sub> = 1.1 [m]

regresión<sub>transm</sub> = 0

No unit problems were detected.