

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Diseño de un sistema para envasar leche de soya en botellas de
250 - 1000 ml"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:
Jefferson Juan Mite Holguin
Fernando Patricio Vanegas Siguencia

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a toda nuestra familia por su incondicional apoyo durante nuestra carrera universitaria, por ayudarnos en aquellos momentos difíciles y darnos las fuerzas para salir adelante.

A nuestros profesores quienes han marcado nuestro desarrollo académico, por sus asesorías y consejos, por orientarnos a tomar decisiones dentro de la ética y moral.

Finalmente agradecemos a nuestros amigos, con quienes compartimos grandes momentos de nuestra vida universitaria ayudándonos a crecer en lo académico y como personas.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Mite Holguin Jefferson Juan

Vanegas Sigüencia Fernando Patricio

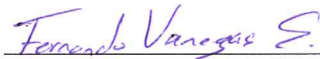
Guadalupe Echeverría Víctor, Msc

Marcial Hernández Jorge, Msc.

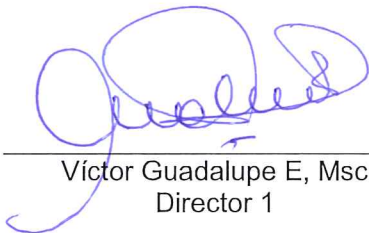
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Jefferson Mite Holguin
Autor 1



Fernando Vanegas Sigüencia
Autor 2



Víctor Guadalupe E, Msc
Director 1



Jorge Marcial H, Msc
Director 2

RESUMEN

Una fundación produce leche de soya con una capacidad de 120 L/h, actualmente envasan con una jarra directo hacia la botella, esto causa quemaduras debido a que se trabaja a 80 °C, además la asepsia del envasado no es la adecuada. Se plantea diseñar una envasadora que elimine los problemas y que aumente su producción. Para el diseño se plantea utilizar la norma INEN-EN 1672-2. Una gran limitante es el aspecto económico porque la fundación no posee grandes recursos económicos. Al final del diseño se debe realizar el modelado 3D de la envasadora, así como los planos para su construcción.

La metodología de diseño se basó en la estructura, el sistema de envasado y el sistema de bombeo. Debido a que se trata de un producto alimenticio se debe construir con acero inoxidable AISI 304 para las partes que no están en contacto con el producto y AISI 316 para las que si lo están.

La estructura se diseñó con tubo cuadrado de 25x25 y espesor de 1.1 mm, los factores de seguridad más bajos fueron de 7,6 para la viga sometida a flexión y 53,5 para la columna sometida a pandeo. El sistema de llenado se lo diseñó de forma manual mediante válvulas de paso total y un mecanismo para que sean abiertas al mismo tiempo. El sistema de bombeo se lo realizó con un motor de ½ hp que se tiene disponible, al cual se le incorporó voluta y rotor diseñada con la norma ASME B73.1 de bombas horizontales centrífugas.

La envasadora diseñada reduce riesgos de quemaduras, aumenta su producción, es adaptable a varios tamaños de botellas y tiene un costo bajo.

Palabras Claves: Envasadora, sistema de llenado manual, diseño de voluta y rotor.

ABSTRACT

A foundation produces soy milk with a capacity of 120 L / h, currently is bottled with a jug directly to the bottle, this causes burns because working at 80 ° C, in addition the asepsis of the filling is not adequate. Due to the problems presented, it is proposed to design a filling machine that eliminates them and increases its production, for the design it is proposed to use the INEN-EN 1672-2 standard, a great limitation is the economic aspect because the foundation does not have large resources economic. At the end of the design, the 3D modeling of the filling machine and the plans for its construction must be carried out. The methodology for the design was based on the design of the structure, the filling system and the pumping system. Because we are working with food product it must be constructed with stainless steel AISI 304 for the parts that are not in contact with the product and AISI 316 for those that are. The structure was designed with square tube of 25x25 and thickness of 1.1 mm, the lowest safety factors were 7.6 for the beam subjected to bending and 53.5 for the column subjected to buckling. The filling system designed is manually, it was designed using full-pass valves and a mechanism to open all at the same time. The pumping system was carried out with a motor of 1/2 hp that is available, to the motor was incorporated volute and rotor designed with ASME B73.1 standard. The designed filling machine reduces the risk of burns, increases production, is adaptable to different sizes of bottles and has a low cost.

Keywords: Filling machine, manual filling system, volute and rotor design.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco teórico	2
1.3.1 Tipos de máquinas de envasado	2
1.3.2 Técnicas de llenado	5
1.4 Normativas para construcción de maquinaria para procesamiento de alimentos.	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología	10
2.1 Sistema de llenado.	11
2.2 Estructura.	11
2.3 Sistema de bombeo.....	14
2.4 Diseño de la bomba.....	16

2.5	Especificaciones	19
2.6	Estructura funcional del sistema de envasado.....	20
2.7	Generación de alternativas	22
2.8	Selección de la mejor alternativa	23
2.9	Diseño de forma	27
2.9.1	Detalle del diseño de forma.....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados	30
3.1	Estructura	30
3.2	Sistema de llenado	32
3.2.1	Tanque de prellenado	33
3.2.2	Válvulas para regulación del caudal.....	35
3.2.3	Control del sistema de llenado	36
3.2.4	Boquillas de llenado	37
3.2.5	Mangueras	38
3.3	Regulación del envase en la línea	39
3.4	Facilidad de uso.....	39
3.5	Análisis de costos	41
CAPÍTULO 4.....		44
4.	Discusión y conclusiones.....	44
4.1	Conclusiones	45
4.2	Recomendaciones	46
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		
APÉNDICE A		
– Cálculos para selección de la bomba		

- Cálculos para el diseño de la bomba
- Selección del tipo de bomba
- Cálculo de la voluta
- Cálculo del impeller
- Peso del producto
- Análisis estructural

APÉNDICE B

- Fotos del prototipo
- Planos Esquemáticos

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AISI	American Iron and Steel Institute
TIG	Tungsten Inert Gas
CAD	Computer Aided Design
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NPT	National Pipe Thread
AISC	American Institute of Steel Construction

SIMBOLOGÍA

ml	Mililitro
kg	Kilogramo
W	Watt
hp	Horse power
MPa	Mega pascales
L	Litros
h	Horas
Ec	Ecuación
m	Metro
mm	Milímetro
3D	Tercera dimensión
N	Newtons
s	Segundos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Máquina de envasado lineal	4
Figura 1.2. Máquina de envasado rotativa	5
Figura 1.3. Llenado por nivel	6
Figura 1.4. Llenado por pistón	6
Figura 1.5. Llenado por peso	7
Figura 1.6. Llenado por volumen	7
Figura 1.7. Llenado por presión	8
Figura 2.1. Metodología de diseño.....	10
Figura 2.2. Estructura funcional de la envasadora.....	22
Figura 2.3. Diseño de forma del sistema de envasado	27
Figura 3.1. Estructura de la línea de envasado.....	30
Figura 3.2. Vigas y columnas para realizar el análisis estructural.....	31
Figura 3.3. Sistema de llenado	32
Figura 3.4. Tanque de prellenado y conectores.....	33
Figura 3.5. Simulación tanque de prellenado – Esfuerzos.....	34
Figura 3.6. Simulación tanque de prellenado – Factor de seguridad.....	34
Figura 3.7. Válvulas y conectores con el tanque de prellenado	35
Figura 3.8. Válvulas para el control del sistema.....	36
Figura 3.9. Mecanismo de las válvulas	37
Figura 3.10. Tubos de llenado	37
Figura 3.11. Mangueras de grado alimenticio (Superior e inferior)	38
Figura 3.12. Grados de libertad en la línea de envasado	39
Figura 3.13. Partes para facilidad de uso en la línea de envasado.....	40
Figura 5.1 Vista frontal y lateral del motor eléctrico	52
Figura 5.2 Forma del volumen de la voluta	53
Figura 5.3 Ubicación de ángulos y velocidades para el cálculo del impeller.....	54
Figura 5.4 Curva característica de una bomba en el mercado para las iteraciones...	56
Figura 5.5 Primera iteración.....	56
Figura 5.6 Segunda iteración	57
Figura 5.7 Selección de elementos para el análisis estructural	59

Figura 6.1 Vista frontal.....	77
Figura 6.2 Vista izquierda	78
Figura 6.3 Vista derecha.....	79
Figura 6.4 Altura nominal.....	80
Figura 6.5 Ancho nominal	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Pérdidas por los accesorios	15
Tabla 2.2 Características del motor que se va a utilizar para la bomba.....	16
Tabla 2.3 Tipo de bomba.	17
Tabla 2.4 Requisitos y limitaciones del diseño.....	20
Tabla 2.5 Elementos del sistema de envasado con sus alternativas de diseño	23
Tabla 2.6 Comparación entre las alternativas de llenadoras	23
Tabla 2.7 Selección del tipo de llenadora	24
Tabla 2.8 Comparación entre las alternativas de los ductos de llenado	24
Tabla 2.9 Ductos de llenado	24
Tabla 2.10 Comparación entre las alternativas del tanque de llenado y pre-llenado.	25
Tabla 2.11 Tanque de llenado y prellenado	25
Tabla 2.12 Comparación entre las alternativas del sistema de bombeo.....	25
Tabla 2.13 Sistema de bombeo	26
Tabla 2.14 Comparación entre las alternativas de las válvulas de llenado	26
Tabla 2.15 Válvulas de llenado	26
Tabla 2.16 Elementos y alternativas seleccionadas	27
Tabla 3.1 Materiales para la estructura.....	31
Tabla 3.2 Factores de seguridad en el análisis estructural	32
Tabla 3.3 Materiales para el sistema de llenado.....	38
Tabla 3.4 Costo de los materiales.....	41
Tabla 3.5 Costo de los materiales para la voluta y el impeller	42
Tabla 3.6 Costo de la mano de obra.....	42
Tabla 3.7 Costo de la mano de obra de la voluta y el impeller.....	43
Tabla 3.8 Costo total de la línea de envasado	43
Tabla 3.9 Costo total de la voluta y el impeller.....	43
Tabla 3.10 Costo total del sistema.....	43

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Envasadora
PLANO 2	Conjuntos de la envasadora
PLANO 3	Conjunto de dosificación
PLANO 4	Conjunto de tanque de prellenado
PLANO 5	Conjunto de boquillas dosificadoras
PLANO 6	Conjunto de válvulas de paso total
PLANO 7	Conjunto mecanismo
PLANO 8	Tanque de prellenado
PLANO 9	Tanque de prellenado
PLANO 10	Mesa
PLANO 11	Soporte de tanque de prellenado
PLANO 12	Guías de tanque de prellenado
PLANO 13	Soporte de válvulas superior
PLANO 14	Soporte de válvulas inferior
PLANO 15	Boquillas de llave de paso total
PLANO 16	Accesorios válvulas de paso total
PLANO 17	Eslabón conector de válvulas
PLANO 18	Accesorios de válvulas de llenado
PLANO 19	Guía circular
PLANO 20	Guía lineal – Soporte de guías
PLANO 21	Bandeja recolectora
PLANO 22	Eje piñón – Manivela
PLANO 23	Piñón – Cremallera
PLANO 24	Placa soporte bocín – Bocín – Eje
PLANO 25	Palanca – Eje palanca – Tapas
PLANO 26	Motor de la bomba
PLANO 27	Voluta e impeller de la bomba
PLANO 28	Bomba

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las líneas de envasado están cubriendo las expectativas en el desarrollo de la industria alimenticia, es de gran ayuda porque satisface las demandas en la producción, así como niveles de higiene y seguridad.

Existen en el mercado productos que son comercializados por microempresas, emprendedores o fundaciones, que cuentan con buena acogida de clientes porque tienen una gran cantidad de nutrientes, pero muchos no son envasados bajo normas sanitarias de alimentos. Son varias las razones por las que se elaboran de una forma inadecuada: el volumen de producción es bajo, no existen los recursos económicos necesarios para comprar una maquinaria, existe desconocimiento sobre los sistemas de envasado y el personal no está capacitado para poder operar estos sistemas.

La leche de soya es un producto que se está elaborando de una forma artesanal, pero es importante llevar la producción a un nivel mayor, que se puede conseguir con la elaboración y envasado del producto por medio de maquinarias. Es necesario que los productos se elaboren bajo normas alimenticias para prevalecer la calidad y la salud de sus consumidores.

1.1 Descripción del problema

Una fundación produce leche de soya para brindar bebidas a las personas necesitadas. Su capacidad de producción promedio es de 120 L/h, envasada a una temperatura entre 80 y 90 °C en botellas de 500ml fabricadas de polietileno de alta densidad. El proceso de envasado se realiza manualmente. Se vierte el producto en cada envase utilizando una jarra, esto deriva varios problemas en la producción. Esta forma de envasar es ineficiente debido a que ocupa mucha mano de obra, su producción es baja y el resultado es un producto contaminado. Además, esta forma rústica de envasar causa un problema de seguridad en los trabajadores porque corren el riesgo de sufrir quemaduras por la elevada temperatura a la cual se realiza el envasado del producto.

Adicionalmente, la fundación cuenta con una envasadora que tiene un tanque de almacenamiento situado a una altura de 2,50 metros, las personas suben por unos escalones llevando consigo un balde de 20 L que contiene leche de soya a unos 80°C lo cual puede causar graves accidentes de caída, quemaduras, y también problemas por el aspecto ergonómico, el proceso dificulta la producción porque consume tiempo al trasladar el producto hacia el tanque, además solo cuenta con dos válvulas de llenado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de envasado para leche de soya que aumente la productividad, seguridad y asepsia cumpliendo con la norma de maquinaria para procesado de alimentos, INEN-EN 1672-2.

1.2.2 Objetivos Específicos

Dimensionar el sistema en base a la capacidad de producción, teniendo en cuenta su posterior desarrollo en cuanto al volumen de producción.

Poder envasar en botellas desde 250 ml hasta 1000 ml.

Diseñar cada componente de la máquina seleccionando materiales, accesorios y mecanismos disponibles en el mercado local, tomando en cuenta la tecnología necesaria que permita reducir costos y tiempos de producción.

Generar un modelado 3D así como los planos detallados de construcción del sistema de envasado.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Tipos de máquinas de envasado

El envasar los alimentos significa protegerlos y preservarlos de cualquier contaminante ambiental, es una cuestión de higiene por lo que su proceso debe tener la debida asepsia y las máquinas usadas deben ser

construidas en base a normas para procesamiento de alimentos con los materiales adecuados.

El envasado de líquidos en la actualidad se lo realiza de múltiples maneras, existen envasadoras manuales que dependen mucho de la intervención de un operador debido a que este controla todo el proceso de envasado. Las envasadoras semiautomáticas que tienen controles en las válvulas y en el encendido de la bomba, pero requieren de un operador para que active el proceso del envasado. Y las envasadoras automáticas en las cuales todo su proceso está automatizado y no requieren de la intervención de un operador.

Las máquinas de envasado se pueden clasificar por la forma del proceso, el uso de cada una depende de la aplicación y capacidad con la cual se va a trabajar. Las máquinas de envasado son las siguientes:

- Máquinas Lineales
- Máquinas rotativas.

1.3.1.1 Máquinas Lineales

Este tipo de máquina envasadora está compuesta por múltiples dosificadores en línea, se conduce a los envases bajo los dosificadores y se los detiene por un lapso de tiempo para ser llenados de líquido, el transporte de los envases puede ser automático mediante una banda transportadora o manualmente.

En este tipo de llenadora es posible colocar un producto diferente en cada envasador dependiendo de los requerimientos, además, se puede regular la altura de los dosificadores dependiendo del tamaño de la botella. Está limitada por su capacidad ya que es para producción baja, en la figura 1.1 se puede apreciar este tipo de máquina. (Vásquez Ángel & Cortez Kristhian, 2014, p.16)

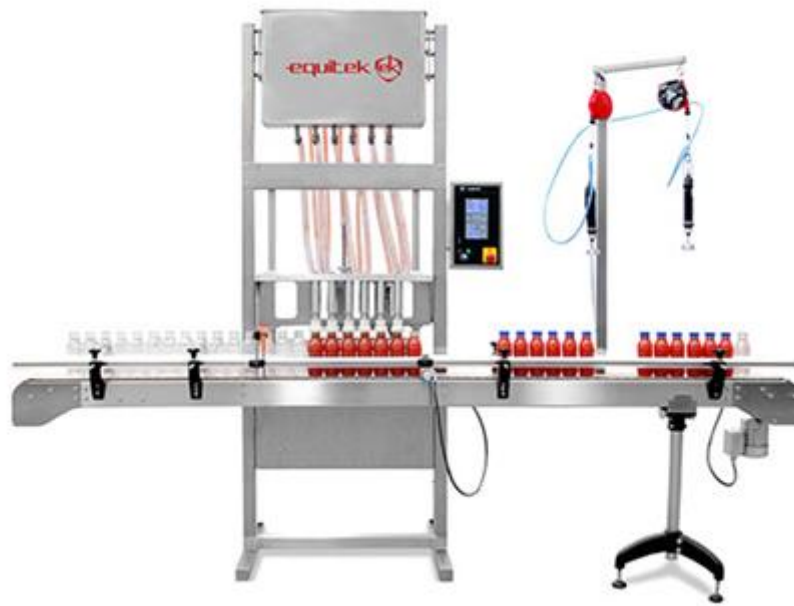


Figura 1.1. Máquina de envasado lineal

Fuente: Empresa Equitek

1.3.1.2 Máquinas rotativas

En la figura 1.2 se ilustra una máquina envasadora rotativa, están compuestas por un circuito circular en donde pasan las botellas para ser llenadas de líquido. En su parte superior tiene un revolver que están sujetos los dosificadores, estos tienen la capacidad de desplazarse hacia abajo para poder coincidir con el pico de la botella, el llenado de la botella se realiza en el recorrido del circuito. El recorrido que realiza las botellas es a través de la mesa rotativa que tiene un alojamiento, con lo cual se encarga de que las botellas realicen el circuito. Todo el proceso del llenado es automático y está diseñado para grandes producciones. (Vásquez Ángel & Cortez Kristhian, 2014, p.16)



Figura 1.2. Máquina de envasado rotativa

Fuente: Empresa Direct Industry

1.3.2 Técnicas de llenado

1.3.2.1 Por nivel

En este sistema es necesario mantener sellado el ingreso de la cánula con el envase. Por medio de la longitud de la cánula se controla el nivel de llenado, el fluido sólo ingresa si el aire que se encuentra en el interior del envase se evacúa por un conducto de retorno. Cuando el sistema llega al nivel estimado, el desfogue se encuentra completamente bloqueado y el fluido deja de ingresar. Para cambiar diferentes tipos de envases o niveles de llenado es necesario cambiar la longitud de la cánula. En la figura 1.3 se muestra la técnica de llenado por nivel. (Sani, Toapanta, 2015, p. 25)

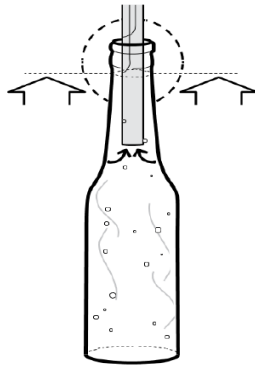


Figura 1.3. Llenado por nivel

Fuente: Sani, Toapanta, 2015.

1.3.2.2 Por pistón

El sistema consiste de una cámara y un pistón, con un volumen que se determina con la cantidad a llenar. Se coloca el envase en la parte inferior de la boquilla de envase y cuando el pistón realiza su carrera completa se transfiere el volumen que se encuentra en su interior hacia el envase. Para cambiar de envases se elabora otro cilindro con el volumen que se desea llenar. En la figura 1.4 se muestra la técnica de llenado por pistón. (Sani et al., 2015, p. 27)

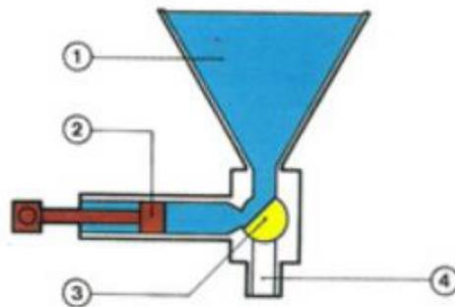


Figura 1.4. Llenado por pistón

Fuente: Sani et al., 2015.

1.3.2.3 Por peso

El sistema cuenta con una celda de carga debajo de cada envase. El proceso de llenado continúa hasta que la celda de carga envía la señal de paro cuando el envase está en el peso de calibración. Son llenadoras electrónicas y su precio es elevado. Además, el envasado

se debe realizar sin cambios bruscos en el volumen porque la celda de carga puede recibir una señal incorrecta. En la figura 1.5 se muestra la técnica de llenado por peso. (Vásquez, Cortés, 2014, p.19)

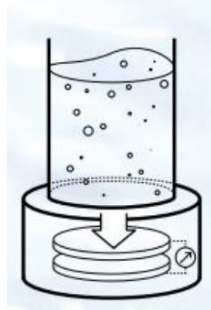


Figura 1.5. Llenado por peso

Fuente: Vásquez, Cortés, 2014.

1.3.2.4 Por volumen

Este sistema cuenta con un controlador del caudal en el dosificador. Los controladores pueden ser: sensores magnéticos o medidores de caudal. Los sensores magnéticos sólo detectan el paso del fluido a través del dosificador y envía una señal de paro de acuerdo al tiempo de llenado que se determina en los envases. Por otra parte, el medidor de caudal controla la cantidad del flujo másico y envía una señal de paro de acuerdo al valor que está calibrado. En la figura 1.6 se muestra la técnica de llenado por volumen. (Vásquez et al., 2014, p.18)

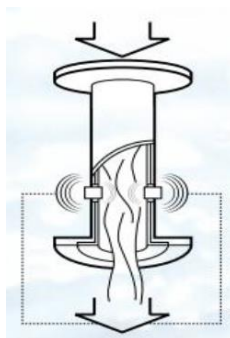


Figura 1.6. Llenado por volumen

Fuente: Vásquez et al., 2014.

1.3.2.5 Por presión

Este tipo de llenado cuenta con un sistema presurizado y es muy utilizado para fluidos viscosos. El tanque de almacenamiento recibe aire a presión para facilitar el flujo del líquido a través de las tuberías de llenado y el dosificador. De acuerdo a la consistencia del líquido se puede realizar el paro del flujo con tan sólo disminuir la presión del sistema. En la figura 1.7 se muestra la técnica de llenado por presión. (Sani et al., 2015, p. 26)

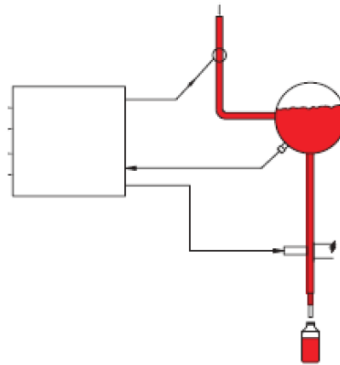


Figura 1.7. Llenado por presión

Fuente: Sani et al., 2015.

1.4 Normativas para construcción de maquinaria para procesamiento de alimentos.

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

Lo primero que se hace es elegir el método para reducir riesgos tanto en la higiene como en la seguridad debido a que esto influye mucho en contaminación de los productos elaborados, así como en la integridad del

operador. Esta normativa también hace referencia a los materiales de construcción empleados en la elaboración de la maquinaria con el fin de no contaminar el producto con elementos peligrosos para poner en riesgo la salud del consumidor.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para resolver el problema es la descrita en la figura 2.1, en la cual se puede apreciar los puntos a diseñar que son el sistema de llenado, la estructura y el sistema de bombeo.

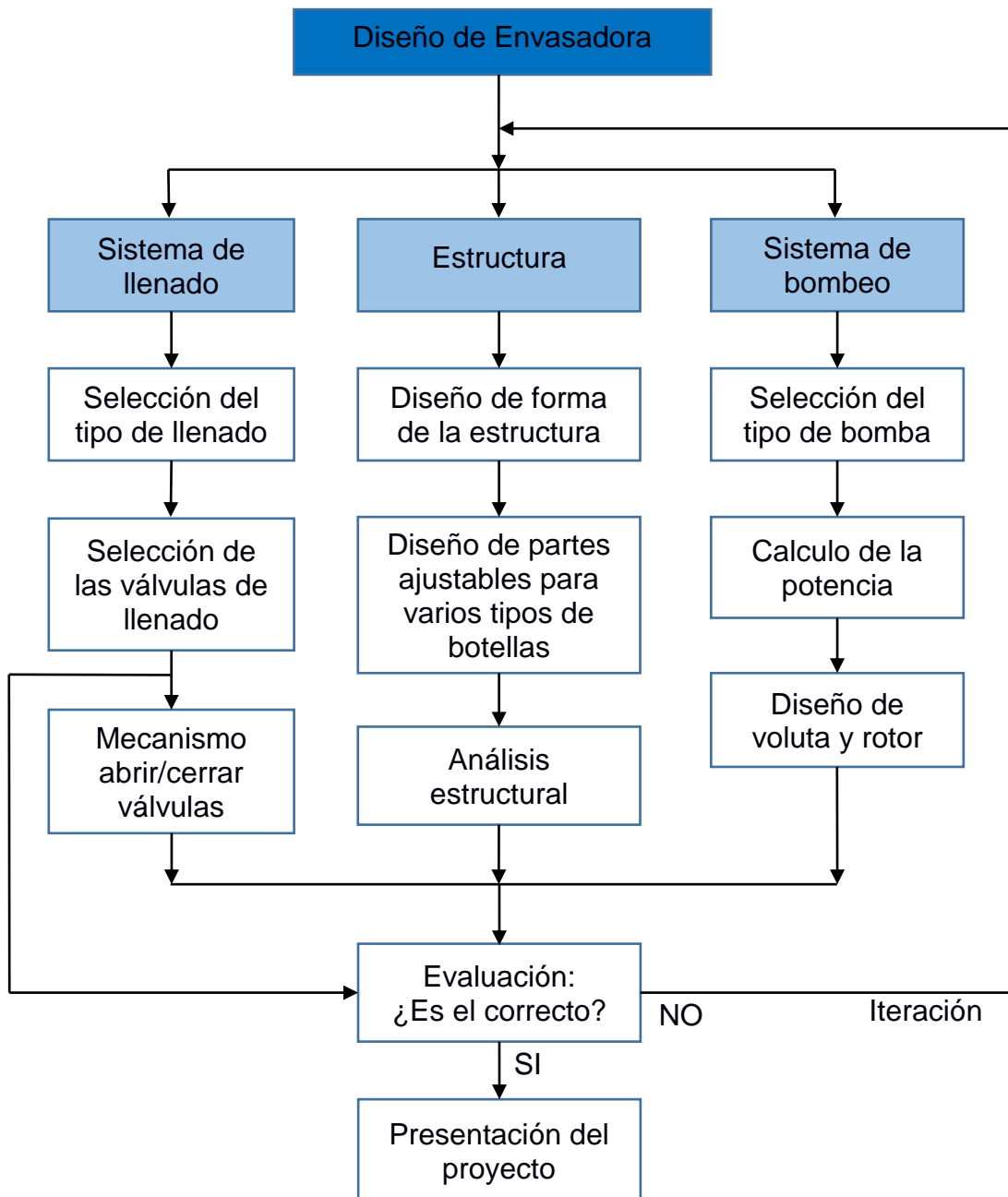


Figura 2.1. Metodología de diseño

Fuente: Elaboración propia

2.1 Sistema de llenado.

Para el sistema de llenado se tiene dos tipos de llenadoras entre las cuales se seleccionará la mejor opción para el proyecto, tenemos las llenadoras de tipo circular y las de tipo lineal.

Otra consideración es el tipo de llenado, esto consiste en definir la forma en la que se va a realizar el llenado de las botellas, puede ser mediante nivel, pistón, peso, volumen, presión o simplemente por inspección.

Una vez que se ha seleccionado el tipo de llenado se debe seleccionar el tipo de válvula que vaya acorde con el tipo de llenado, entre las válvulas a elegir tenemos las electroválvulas, válvulas de paso total y válvulas de nivel.

Finalmente se debe seleccionar un mecanismo para poder abrir todas las válvulas al mismo tiempo ya que se deba garantizar que todas las botellas se llenen por igual.

2.2 Estructura.

Primero se procederá a realizar un diseño de forma en base a los distintos componentes de la envasadora como el tanque de prellenado, válvulas y demás accesorios involucrados.

Es necesario que la estructura tenga las partes móviles necesarias para poder llenar botellas de diferente volumen, para esto las válvulas de llenado deben desplazarse para posicionarse sobre la boca de la botella y también deben moverse las guías que conducen a las botellas y que se ajustan a los diferentes diámetros que tengan las botellas.

Se debe seleccionar el tipo de material y el perfil con el cuál se va a construir la estructura que puede ser ángulo o tubo. Luego se debe realizar un análisis estructural para comprobar si la estructura diseñada soporta las cargas que actúan sobre la misma. También se debe analizar si el tanque de prellenado no va a fallar.

Para el análisis estructural se analizarán las vigas y columnas consideradas críticas.

Todas las vigas estarán sometidas a flexión pura por lo cual el análisis estructural se lo realizará con las siguientes ecuaciones: (Pytel & Singer, 1994, p. 87)

-Los esfuerzos producidos debido a la flexión son los siguientes:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad Ec. 2.1$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal.

M : Momento flector máximo sobre la viga.

c : Punto más lejano desde el eje neutro.

I : Inercia del elemento

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t} \quad Ec. 2.2$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

Q : Momento flector máximo sobre la viga.

t : Espesor mínimo.

I : Inercia del elemento

-Esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad Ec. 2.3$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

σ : Esfuerzo normal.

τ : Esfuerzo cortante

-El factor de seguridad para la viga es el siguiente:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad Ec. 2.4$$

n : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

Para las columnas se realizará el análisis de pandeo. Sólo se lo realizará para las que se consideren críticas.

-Se define si la columna es larga, intermedia o corta. (Pytel & Singer, 1994, p. 356)

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

E : Módulo de elasticidad.

σ_F : Esfuerzo de fluencia del material.

$$\frac{L_e}{r} = \frac{k * L}{r} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

L_e/r : Relación de esbeltez.

k : Constante por la condición de sujeción.

L : Longitud de la columna.

r : Radio de giro.

L_e : Longitud efectiva.

Si $L_e/r < C_c$ se aplica la fórmula de la parábola que es recomendada por el AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(L_e/r)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{L_e}{r}\right)^3}{8C_c^3} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(L_e/r)^2}{2C_c^2}\right) \frac{\sigma_F}{FS} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$P_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{A} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

P_{cr} : Carga crítica.

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

A : Área de la sección transversal de la columna.

$$n = \frac{P_{cr}}{P} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

n : Factor de seguridad.

P_{cr} : Carga crítica.

P : Carga aplicada.

2.3 Sistema de bombeo.

Se debe seleccionar el tipo de bomba que se va a necesitar, para envasadoras por lo general se usan bombas neumáticas y bombas eléctricas.

Se procederá a calcular la potencia de la bomba que se necesita, los cálculos empleados son los siguientes:

-Se plantea la ecuación de balance de energía: (White F., 2008, p. 341)

$$h_b = z_2 - z_1 + \frac{v^2}{2g} \left(\frac{fL}{d} + \sum K \right) \quad \text{Ec. 2.11}$$

h_b : Cabezal de incremento debido a la bomba.

z_2 : Altura del nivel del líquido en el tanque de prellenado.

z_1 : Altura del nivel del líquido en el tanque de almacenamiento.

v : Velocidad del líquido a través de las tuberías.

g : Aceleración de la gravedad en la Tierra.

f : Factor de fricción en las paredes de la tubería.

L : Longitud total que recorre el líquido.

d : Diámetro nominal de la tubería.

K : Pérdidas de caudal debido a accesorios

-La velocidad del fluido está definida por la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Q : Caudal.

A : Área transversal de la tubería.

-El f se lo obtiene del diagrama de Moody, para esto necesitamos el número de Reynolds (Re) y la fricción relativa (ε/d).

$$Re = \frac{v * d}{\nu} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Re : Número de Reynolds.

v : Velocidad del líquido a través de las tuberías.

d : Diámetro nominal de la tubería.

ν : Viscosidad dinámica del agua.

-La fricción relativa es la siguiente:

$$\text{Fricción relativa} = \frac{\varepsilon}{d} \quad \text{Ec. 2.14}$$

ε : Rugosidad de la tubería.

d : Diámetro nominal de la tubería.

-Las pérdidas debido a los accesorios se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Pérdidas por los accesorios

Accesorio	Coefficiente de resistencia (K)
Codo a 90°	0.95
Válvula de paso total de 1/2"	14
Salida brusca	1
Entrada con bordes vivos	0.5

Fuente: Elaboración propia

-La presión del líquido en el sistema es:

$$p = \rho g h_b \quad \text{Ec. 2.15}$$

p : Presión.

ρ : Densidad del agua.

g : Aceleración de la gravedad.

h_b : Cabezal de incremento debido a la bomba.

-La potencia necesaria para bombear el líquido es:

$$P = \rho g Q h_b \quad \text{Ec. 2.16}$$

P : Potencia.

ρ : Densidad del agua.

g : Aceleración de la gravedad.

Q : Caudal.

h_b : Cabezal de incremento debido a la bomba.

Al final se analiza cada punto de diseño y se comprueba si cumple con todos los requisitos y limitaciones, además de la parte funcional. Si no cumple se repite el proceso de diseño porque es un proceso iterativo.

2.4 Diseño de la bomba.

Se ha proporcionado un motor para realizar el diseño de la bomba. La voluta y sus partes internas se van a realizar en acero inoxidable AISI 316. En la tabla 2.2 se muestra las características del motor que se va a utilizar para la bomba.

Tabla 2.2 Características del motor que se va a utilizar para la bomba

Motor para la bomba	
Marca	Weg
Modelo	915851003-2MO022
Potencia	0,5 HP
Frecuencia	60 Hz
Revoluciones	1625 RPM
Fases	Monofásico
Voltaje	110V
Amperaje	4,4 A
Capacitancia	16MFD/250VAC
Clase	B Armazon 48Y

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos nos indican características, condiciones de operación del motor y tipo de conexión.

-Norma

La norma que se ha utilizado para el diseño de la bomba de acuerdo a la resolución No. 14 521 de la subsecretaría de la calidad es ASME B73.1 que corresponde a bombas horizontales centrífugas para servicios auxiliares.

-Selección del tipo de bomba

Se utiliza la siguiente ecuación

$$N'_s = \frac{(n)(Q)^{1/2}}{(H)^{3/4}} \quad \text{Ec. 2.17}$$

N'_s : Velocidad específica.
 n : Revoluciones del motor.
 Q : Caudal del sistema.
 H : Cabezal del sistema.

En la tabla 2.3 extraída del libro de White se determina el tipo de bomba a utilizar:

Tabla 2.3 Tipo de bomba.

Ns	Tipo de bomba
500 - 4000	Bomba radial
4000 - 10000	Bomba diagonal
10000 - Mayor	Bomba axial

Fuente: F. White, 2008, p. 772.

El tipo de bomba de acuerdo al cálculo realizado que se encuentra en la sección de anexos, es radial. (White F., 2008, p. 750)

-Dimensionamiento de la voluta

Se realiza con las medidas del motor de esta forma la voluta tiene una buena estética cuando se ensamble. Se obtiene el diámetro exterior de la voluta a partir de las medidas del motor.

El volumen se determina con el caudal.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Q: Caudal del sistema.

V: Volumen.

t: Tiempo.

Se reemplaza en la siguiente ecuación.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} x b \quad \text{Ec. 2.19}$$

V: Volumen.

D: Diámetro de la voluta.

b: Ancho de la voluta.

Se obtiene b, que es el mínimo ancho para cumplir con la demanda de caudal que requiere la bomba y el sistema.

-Diseño del impeller.

Se obtiene el diámetro exterior del impeller a partir de las dimensiones de la voluta. Se obtiene el diámetro interior del impeller a partir del tubo que va conectado al ingreso de la voluta. Se utilizan los datos de operación del sistema y del motor para los cálculos.

$$T = \rho Q (r_2 V_{t2}) \quad \text{Ec. 2.20}$$

T: Torque en el impeller.

ρ : Densidad de la soya.
 Q : Caudal.
 r_2 : Radio exterior del impeller.
 V_{t2} : Velocidad tangencial en la salida del impeller.

$$V_{n1} = \frac{Q}{2\pi r_1 b_1} \quad \text{Ec. 2.21}$$

V_{n1} : Velocidad normal a la entrada del impeller.
 Q : Caudal.
 r_1 : Radio interior del impeller.
 b_1 : Alto interior del impeller.

$$V_{n2} = \frac{Q}{2\pi r_2 b_2} \quad \text{Ec. 2.22}$$

V_{n2} : Velocidad normal a la salida del impeller.
 Q : Caudal.
 r_2 : Radio exterior del impeller.
 b_2 : Alto exterior del impeller.

$$u_1 = \omega r_1 \quad \text{Ec. 2.23}$$

u_1 : Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la entrada.
 ω : Velocidad angular.
 r_1 : Radio interior del impeller.

$$u_2 = \omega r_2 \quad \text{Ec. 2.24}$$

u_2 : Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la salida.
 ω : Velocidad angular.
 r_2 : Radio exterior del impeller.

$$V_{n1} = u_1 \tan(\beta_1) \quad \text{Ec. 2.25}$$

V_{n1} : Velocidad normal a la entrada del impeller.
 u_1 : Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la entrada.
 β_1 : Ángulo de los álabes a la entrada.

$$V_{t2} = u_2 - V_{n2} \cot(\beta_2) \quad \text{Ec. 2.26}$$

V_{t2} : Velocidad tangencial en la salida del impeller.
 u_2 : Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la salida.

V_{n2} : Velocidad normal a la salida del impeller.

β_2 : Ángulo de los álabes a la salida.

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P} \quad \text{Ec. 2.27}$$

η : Eficiencia de la bomba.

ρ : Densidad de la soya.

Q : Caudal.

H : Cabezal.

P : Potencia.

Es importante indicar que la predicción de las características de la bomba es una mezcla de experiencia, correlaciones empíricas, teoría ideal y modificaciones con software. (F. White, 2008, p. 763).

2.5 Especificaciones

El diseño de la envasadora debe cumplir con las necesidades del cliente para poder mejorar su producción y garantizar un producto de calidad, para esto es necesario tomar en cuenta los requisitos y limitaciones ya que estos restringen el diseño y nos ayudan a concentrar el diseño solamente en las funciones que debe cumplir la máquina. Los principales requisitos y limitaciones se pueden apreciar en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Requisitos y limitaciones del diseño

Requisitos y limitaciones	Detalles
Baja inversión.	Debido al bajo presupuesto del cual se dispone es necesario que la envasadora sea económica pero que cumpla con las funciones necesarias.
La envasadora debe poder operar hasta una temperatura de 90°C.	La leche de soya es envasada a una temperatura entre 80 y 90°C por lo que es necesario que la envasadora pueda operar a esta temperatura.
Cumplir con la normativa para construcción de máquinas procesadoras de alimentos, INEN-EN 1672-2	Dado que es un producto alimenticio su proceso debe estar regido por normas de procesamiento de alimentos para garantizar un producto de calidad y libre de contaminación.
Fácil de realizar mantenimiento.	Para una buena higiene y evitar contaminación en el producto es necesario que los componentes puedan ser lavados para evitar contaminación del producto.
La máquina debe ser ergonómica.	La envasadora debe estar diseñada de tal manera que no comprometa el estado físico del operador.
Aumentar la capacidad de producción actual.	Se debe poner los dispensadores necesarios para poder cumplir con la producción deseada, así como sobre dimensionar la capacidad de operación para futuro crecimiento de la producción.

Fuente: Elaboración propia

2.6 Estructura funcional del sistema de envasado.

El proceso de envasado está compuesto de cinco pasos que se los sigue secuencialmente y se los puede observar en la figura 2.2, a continuación, se establece cada proceso y su descripción:

Almacenamiento: el líquido a ser envasado se encuentra en un tanque de almacenamiento desde donde se distribuye hasta llegar a las botellas.

Bombeo del líquido: el líquido a envasar debe ser transportado desde el tanque de almacenamiento hasta los dosificadores, para esto se utiliza una bomba hidráulica.

Conductores: es necesario de un sistema que conduzca el líquido desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de prellenado para luego ser envasado, esto puede ser realizado mediante un sistema de mangueras o tuberías.

Transporte de botellas: las botellas deben ser llevadas debajo de los dosificadores para ser llenadas y luego continuar para que las siguientes hagan lo mismo.

Envasado: para envasar el líquido en las botellas se debe disponer de unos dosificadores para conducir el líquido hacia las botellas asegurándose que todas las botellas reciban la misma cantidad de líquido.

Tapar: una vez que las botellas han sido llenadas es necesario tapar las botellas para evitar derrames y sobre todo para garantizar la calidad y no contaminación del producto.

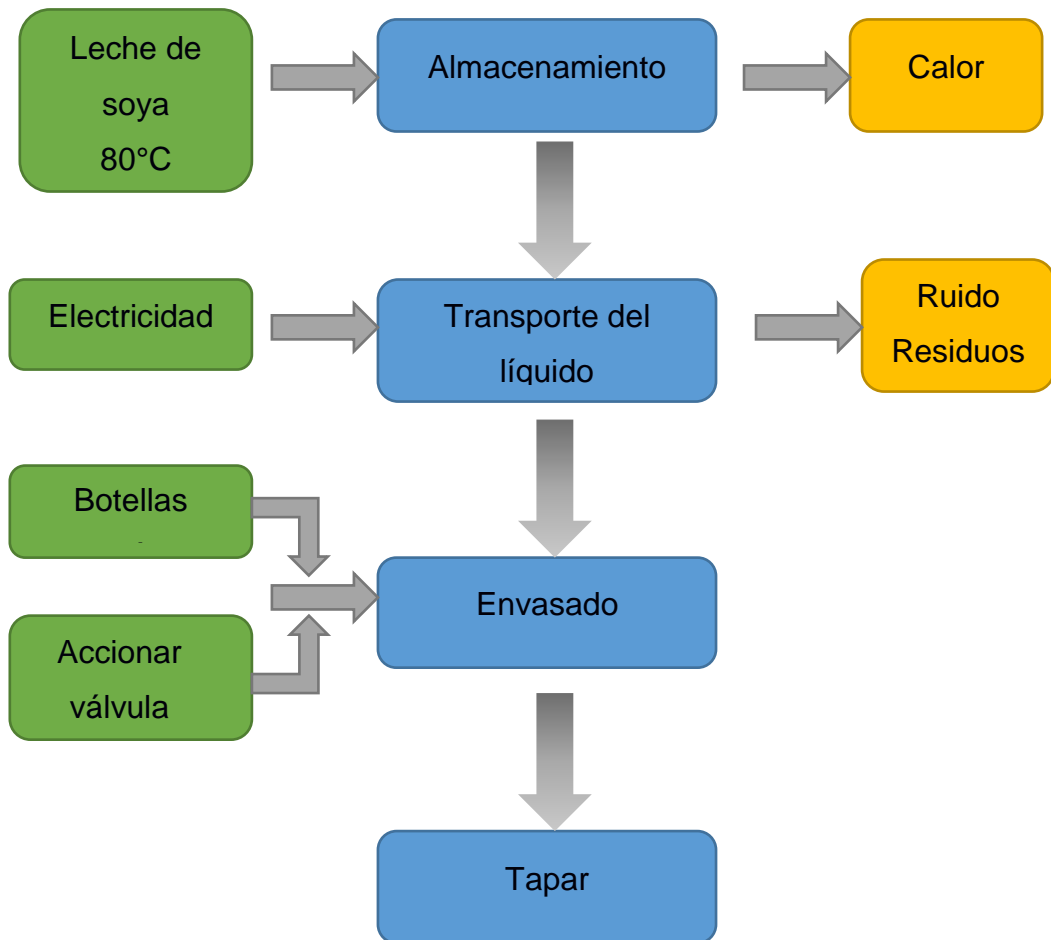


Figura 2.2. Estructura funcional de la envasadora

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Generación de alternativas

Las alternativas de diseño se establecen como una opción de solución al problema planteado, deben ser elaboradas para cada componente del sistema de envasado por lo que se procede a establecer los mismos, mediante búsqueda de información y experiencia, se generan las alternativas que pueden solucionar el problema para posteriormente mediante un proceso evaluativo elegir la mejor alternativa.

En la tabla 2.5 se presenta cada elemento con sus alternativas de diseño.

Tabla 2.5 Elementos del sistema de envasado con sus alternativas de diseño

Elemento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tipo de llenadora	Lineal	Rotativa	
Transporte de líquido	Tubería acero inoxidable	Manguera grado sanitario.	
Sistema de bombeo	Bomba eléctrica	Bomba neumática	
Válvulas de llenado	Electroválvulas	Válvulas de paso total	Válvulas de nivel
Tanque de llenado y prellenado	Tanque de Acero inoxidable.	Tanque de plástico	

Fuente: Elaboración propia

2.8 Selección de la mejor alternativa

Para cada elemento se realiza una matriz de decisión, la misma está compuesta de múltiples alternativas de solución, estas alternativas son evaluadas en base a criterios que se consideran importantes tales como requisitos y restricciones, finalmente mediante un proceso de evaluación se determina la mejor alternativa que conduce a la solución ideal de nuestro diseño. En las tablas 2.6 a la 2.15 se encuentran detalladas las matrices de decisión elaboradas para la envasadora.

Tabla 2.6 Comparación entre las alternativas de llenadoras

Alternativas	Llenadoras	Costo	Mantenimiento	Producción (Botellas/min)	Fácil de usar
1	Lineal con 12 boquillas	\$ 22.000	No necesita un técnico Los operarios pueden realizar el mantenimiento	200	No es necesario el control de un técnico
2	Rotativa con 12 boquillas	\$ 45.000	Necesita personal capacitado para el mantenimiento	600	Es necesario el control de un técnico capacitado

Fuente: Elaboración propia con información de empresas referenciada

Tabla 2.7 Selección del tipo de llenadora

Tabla de análisis	Criterios de análisis				Valoración
0 - No viable					
2,5 - Poca viabilidad	Costo	Mantenimiento	Producción	Fácil de usar	Total
5 - Viabilidad media					
7,5 - Alta viabilidad	40%	20%	20%	20%	100%
10 - Excelente viabilidad					
Lineal	5	7,5	5	7,5	6
Rotativa	2,5	2,5	7,5	2,5	3,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.8 Comparación entre las alternativas de los ductos de llenado

Alternativas	Ductos	Costo	Mantenimiento	Durabilidad
1	Manguera sanitaria siliconada (1/2´´)	\$ 15/metro	Debido a su flexibilidad, su limpieza se la realiza mediante arrastre con agua caliente	Con el calor tiene a debilitarse a lo largo del tiempo
2	Tubería de acero inoxidable (1/2´´)	\$ 80,00	La limpieza debe ser realizada con presión para que pueda recorrer todo su trayecto	Es resistente a la abrasión por lo que su desgaste en mínimo

Fuente: Elaboración propia con información de catálogos

Tabla 2.9 Ductos de llenado

Tabla de análisis	Criterios de análisis			Valoración
0 - No viable				
2,5 - Poca viabilidad	Costo	Mantenimiento	Durabilidad	Total
5 - Viabilidad media				
7,5 - Alta viabilidad	50%	20%	30%	100%
10 - Excelente viabilidad				
Manguera sanitaria	5	5	2,5	4,25
Tubería de acero inoxidable	5	2,5	7,5	5,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.10 Comparación entre las alternativas del tanque de llenado y pre-llenado

Alternativas	Tanques	Costo	Mantenimiento	Durabilidad	Contaminación
1	Acero Inoxidable	Precio elevado debido a su material	Su superficie es muy fácil de limpiarla	Es resistente a la abrasión, temperatura y golpes	Debido a que es de grado alimenticio mantiene intacto el producto
2	Plástico	Existen tanques que son producidos en grandes cantidades con lo cual su precio es bajo	Debido a su superficie áspera la limpieza resulta un poco complicada	En temperaturas elevadas con el paso del tiempo tiende a deformarse, no es resistente a la abrasión	Tienden a acumular partículas a lo largo del tiempo

Fuente: Elaboración propia con información de catálogos

Tabla 2.11 Tanque de llenado y prellenado

Tabla de análisis	Criterios de análisis				Valoración
0 - No viable					
2,5 - Poca viabilidad	Costo	Mantenimiento	Durabilidad	Contaminación	Total
5 - Viabilidad media					
7,5 - Alta viabilidad	40%	20%	20%	20%	100%
10 - Excelente viabilidad					
Acero inoxidable	5	7,5	10	10	7,5
Plástico	10	5	5	5	7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.12 Comparación entre las alternativas del sistema de bombeo

Alternativas	Bombas	Costo	Mantenimiento	Eficiencia	Nivel de operación
1	Eléctrica de 1/2 HP con voluta de acero inoxidable	\$ 275	Cambio de rodamientos cada 6 meses a un costo de \$12	0,85%	Bomba centrífuga No recoge hasta la última parte del líquido en el tanque
2	Neumática con doble diafragma	\$ 3000	Cambio del kit de repuestos a un costo de \$360	0,9%	Bomba neumática de diafragma Recoge hasta la última parte de líquido en el tanque

Fuente: Elaboración propia con información de catálogos

Tabla 2.13 Sistema de bombeo

Tabla de análisis	Criterios de análisis				Valoración
0 - No viable					
2,5 - Poca viabilidad	Costo	Mantenimiento	Eficiencia	Nivel de operación	Total
5 - Viabilidad media					
7,5 - Alta viabilidad	40%	20%	20%	20%	100%
10 - Excelente viabilidad					
Bomba eléctrica	7,5	7,5	5	2,5	6
Bomba neumática	0	2,5	5	7,5	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.14 Comparación entre las alternativas de las válvulas de llenado

Alternativas	Válvulas	Costo	Mantenimiento	Construcción	Fácil de usar
1	Electroválvulas	\$ 360	Calibración de sensor y limpieza de ductos	Mecanizado de piezas y adaptación del sistema de control	Accionado mediante sistema de control
2	Válvulas de paso total	\$ 80	Limpieza de los ductos	Mecanización de pocas piezas	Accionado con un mecanismo
3	Válvulas de nivel	\$ 250	Limpieza de los ductos	Mecanizado de múltiples piezas	Accionados mediante un cabezal

Fuente: Elaboración propia con información de catálogos

Tabla 2.15 Válvulas de llenado

Tabla de análisis	Criterios de análisis				Valoración
0 - No viable					
2,5 - Poca viabilidad	Costo	Mantenimiento	Construcción	Fácil de usar	Total
5 - Viabilidad media					
7,5 - Alta viabilidad	40%	20%	20%	20%	100%
10 - Excelente viabilidad					
Electroválvulas	2,5	2,5	2,5	7,5	3,5
Válvulas de paso total	7,5	5	7,5	5	6,5
Válvulas de nivel	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

Mediante matrices de decisión se determinó la mejor alternativa para cada elemento. Las alternativas seleccionadas para este diseño se las puede ver resumidas en la tabla 2.16.

Tabla 2.16 Elementos y alternativas seleccionadas

Elemento	Alternativa seleccionada
Tipo de llenadora	Lineal
Ductos de llenado	Tubería de acero inoxidable
Tanque de llenado y pre-llenado	Tanque de acero inoxidable
Sistema de bombeo	Bomba eléctrica
Válvulas de llenado	Válvulas de paso total

Fuente: Elaboración propia

2.9 Diseño de forma

En la figura 2.3 se muestra el diseño de forma del sistema de envasado de soya. Para cada una de las partes se va a tomar en cuenta los resultados de las matrices de decisiones.

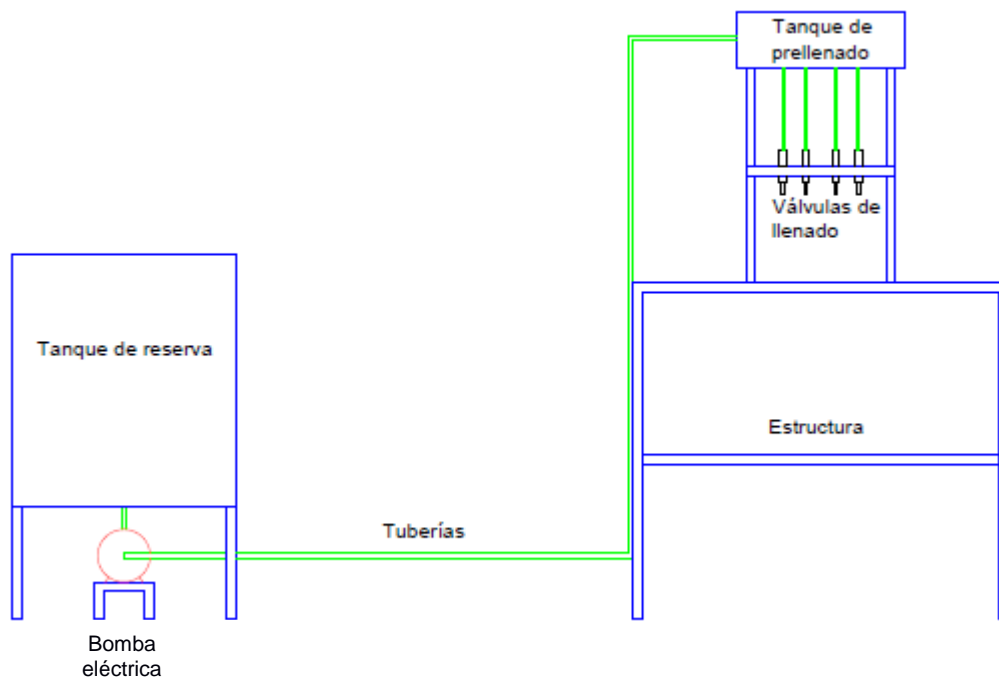


Figura 2.3. Diseño de forma del sistema de envasado

Fuente: Elaboración propia.

2.9.1 Detalle del diseño de forma

Llenadora Lineal.- Esta llenadora realiza la cantidad de producción que se necesita, ocupa poco espacio y es económica. Tiene una estructura adecuada para ubicar cada parte del proceso en un orden, es fácil de operar, y de fácil mantenimiento. En la figura 2.3 se puede observar la llenadora lineal.

Ductos de envío.- El envío del producto se realiza mediante las tuberías de acero inoxidable que van desde el tanque de almacenamiento al tanque de prellenado, también, desde el tanque de prellenado hasta las válvulas. Para la conexión del tanque de almacenamiento al tanque de prellenado se va a utilizar tubos de acero inoxidable AISI 316. Para la conexión del tanque de prellenado a las válvulas dosificadoras se va a utilizar mangueras de grado alimenticio. En la figura 2.3 se pueden observar el trayecto de las tuberías desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de prellenado.

Tanques de acero inoxidable para llenado y prellenado.- El tanque de almacenamiento esta dimensionado de acuerdo a la cantidad de producción.

El tanque de prellenado va a constar con cuatros perforaciones para conectarse a las válvulas de llenado y tendrá una forma que permita evacuar todo el producto sin dejar residuos. Constará de un volumen adecuado que permita el accionamiento breve de la bomba.

El material de construcción de ambos tanques es acero inoxidable AISI 316, para mantener la higiene y facilitar la limpieza. En la figura 2.3 se muestra el tanque de llenado y prellenado.

Bomba eléctrica.- Se dispone de un motor eléctrico por lo que se construirá la voluta y el rotor en acero AISI 316, la bomba construida será de tipo centrífuga. Su función es enviar el producto desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de prellenado. Se va a escoger de acuerdo con el caudal que se requiere para cubrir la demanda de producción.

Válvulas de paso total.- Controlan el paso del producto desde el tanque de prellenado hasta el envase. Para su funcionamiento se va a realizar un mecanismo que permita al operador accionar las válvulas con un sólo

movimiento. Además, va a tener un acople para que el fluido se deposite en el interior del envase y no se contamine.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

Se realizó un amplio estudio de las alternativas de diseño en el capítulo anterior y se ha separado los resultados de la siguiente forma:

- Estructura
- Sistema de llenado
 - Tanque de prellenado
 - Válvulas para regulación del caudal
 - Control del sistema de llenado
 - Boquillas de llenado
 - Mangueras
- Regulación del envase en la línea
- Facilidad de uso

3.1 Estructura

La estructura del diseño final se muestra en la figura 3.1. La lista de materiales se encuentra en la tabla 3.1.

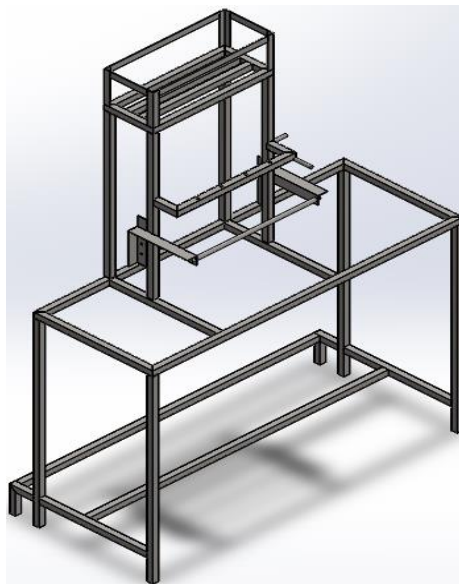


Figura 3.1. Estructura de la línea de envasado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1 Materiales para la estructura

Estructura	
Materiales	Tipo
Tubo cuadrado de 25x1,10	Acero Inoxidable AISI 304
Platina de 25x3	Acero Inoxidable AISI 304
Ángulo de 40x3	Acero Inoxidable AISI 304
Plancha de Acero Inoxidable de 2mm de espesor	Acero Inoxidable AISI 316
Eje de $\Phi 1/2"$ (Longitud: 1026 mm)	Acero Inoxidable AISI 304
Tuerca de $\Phi 1/2"$	Acero Inoxidable AISI 304
Pernos $5/16"$ x $1 1/2"$	Acero Inoxidable AISI 304
Pernos $1/4"$ x $1"$	Acero Inoxidable AISI 304

Fuente: Elaboración propia.

Para la estructura se utilizó tubo cuadrado de 25x25x1.1 porque satisface los factores de seguridad bajo las cargas aplicadas para flexiones en las vigas y pandeo en las columnas. Estos cálculos se muestran en el apéndice A, en la sección de análisis estructural. Además, el tubo escogido es de fácil obtención y económico en el mercado.

En la figura 3.2 se muestra la selección de vigas y columnas de acuerdo con el análisis.

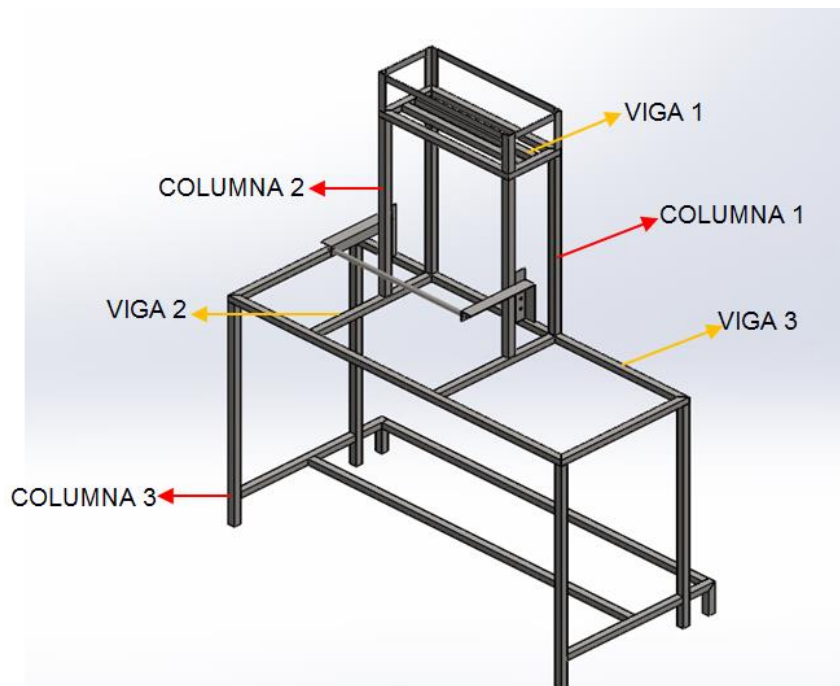


Figura 3.2. Vigas y columnas para realizar el análisis estructural

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.2 se muestra los factores de seguridad de cada elemento.

Tabla 3.2 Factores de seguridad en el análisis estructural

Análisis estructural	
Elementos	Factor de seguridad (n)
Viga 1	19,8
Viga 2	34,8
Viga 3	7,6
Columna 1	155,9
Columna 2	96,6
Columna 3	53,5

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el mínimo factor de seguridad es 7,6 para flexión y corresponde a la viga 3. La columna 3 tiene el factor de seguridad más bajo con un valor de 53,5.

3.2 Sistema de llenado

En las matrices de decisiones del capítulo 2 se describen varias partes del sistema de llenado. En la figura 3.3 se muestra el sistema de llenado final, las partes son:

- Tanque de prellenado
- Válvulas para regulación de caudal
- Control del sistema de llenado
- Tubos de llenado
- Mangueras

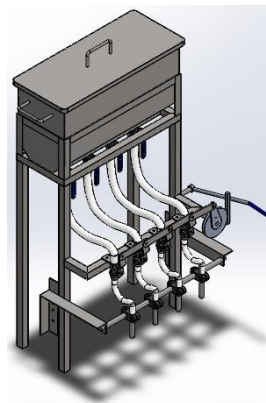


Figura 3.3. Sistema de llenado

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Tanque de prellenado

Para el tanque de prellenado se utilizó plancha de acero inoxidable AISI 316, con espesor de 2 mm. El diseño se lo realizó bajo la norma INEN-EN 1672-2. Además, el tanque de prellenado cuenta con cuatro perforaciones que es por donde el líquido desciende hasta las válvulas para el llenado. Los conectores son mecanizados de acuerdo con la perforación del tanque y rosca de las válvulas.

Para la construcción del tanque se realizó procesos de doblado y soldado. En la figura 3.4 se observa el tanque de prellenado y conectores.

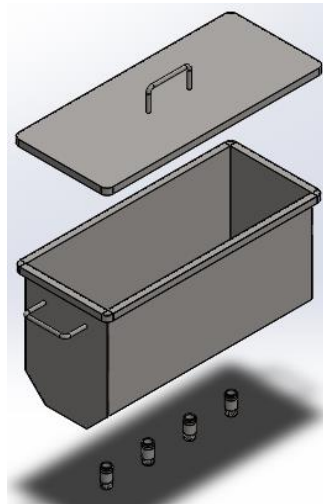


Figura 3.4. Tanque de prellenado y conectores

Fuente: Elaboración propia.

Se simuló el tanque de prellenado en un software de elementos finitos para verificar su comportamiento al estar sometido bajo peso del líquido. En las figuras 3.5 y 3.6 se observa los resultados de la simulación.

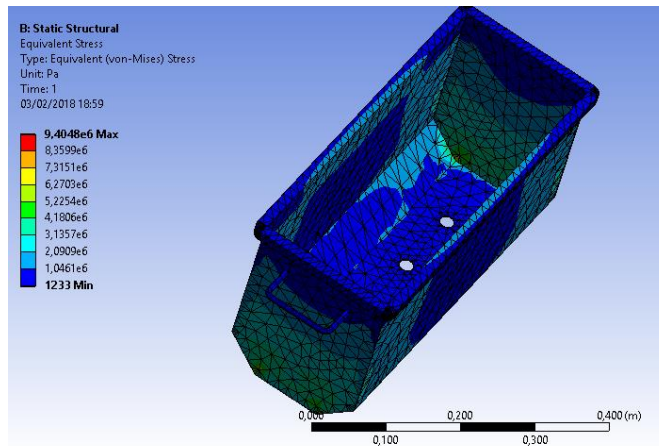


Figura 3.5. Simulación tanque de prellenado – Esfuerzos

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de esfuerzos se puede observar que los esfuerzos mayores se encuentran en las esquinas inferiores del tanque, estos esfuerzos son hasta de 6.27 MPa. Los esfuerzos son generados debido a la presión del líquido sobre el tanque.

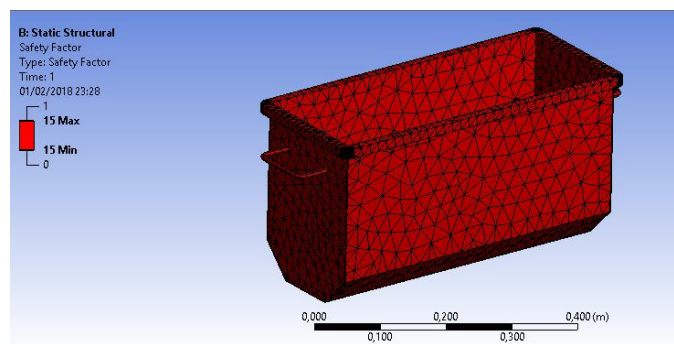


Figura 3.6. Simulación tanque de prellenado – Factor de seguridad

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis estructural realizado mediante software de elementos finitos se puede apreciar que se obtiene un factor de seguridad de 15 para todo el tanque.

3.2.2 Válvulas para regulación del caudal

En la matriz de decisión 2.12 se escogió la válvula de paso total para el sistema de llenado. Esta válvula tiene la característica de ser económica, fácil mecanismo y fácil adaptación. Se eligió las válvulas de paso total de 1/2" NPT porque contribuye con el caudal que se necesita para tener un tiempo de producción rentable. El cálculo del caudal para el llenado de los envases se encuentra en la sección de anexos A.

En la salida del tanque de prellenado se han ubicado válvulas de paso total para regular el caudal de llenado en cada uno de los envases, con esto se mantiene el nivel de llenado para todas las botellas. Además, se han colocado sellos de teflón entre el conector y las roscas de las válvulas para evitar que queden espacios vacíos y garantizar que no queden residuos en el interior.

En la figura 3.7 se muestra las válvulas de paso total y los conectores.

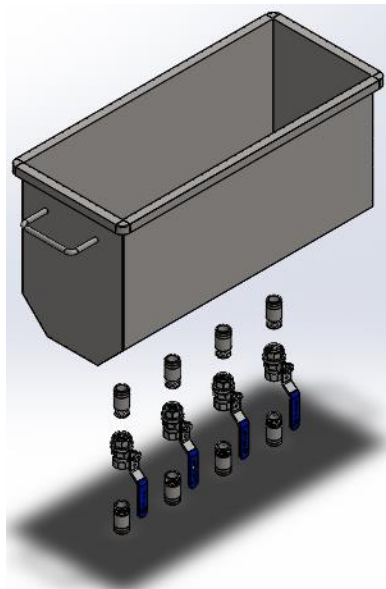


Figura 3.7. Válvulas y conectores con el tanque de prellenado

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Control del sistema de llenado

Se usó válvulas de paso total para controlar la apertura y el cierre del fluido. Se ha retirado los mangos de apertura para mecanizar un nuevo mango que sea adaptable al mecanismo de las válvulas.

En la figura 3.8 se observa las válvulas de paso total de 1/2" NPT con los mangos de apertura que se han cambiado.

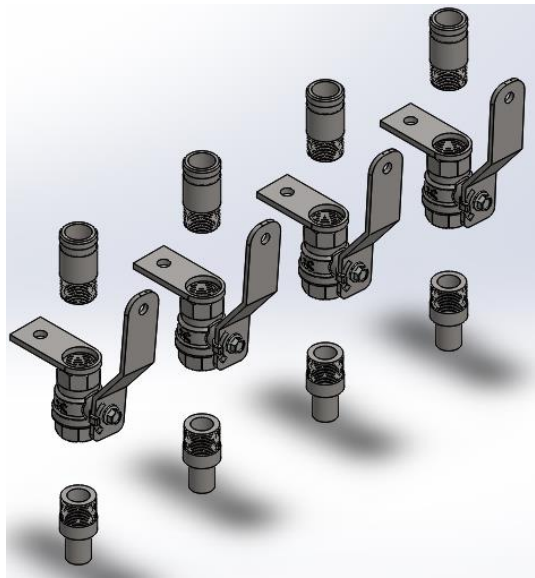


Figura 3.8. Válvulas para el control del sistema

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo de las válvulas se ha construido con:

- Eslabones para conectar las válvulas
- Biela para transmitir el movimiento a un piñón
- Cremallera que se conecta a una palanca.

Los eslabones y la biela se han construido con platinas de acero inoxidable AISI 304. El piñón y la cremallera se han construido con acero de transmisión. La palanca se ha construido con acero inoxidable.

Cuando la palanca se mueve hacia abajo se transmite el movimiento a la cremallera para que gire el piñón, el piñón gira a la biela, y ésta se encuentra conectada a los eslabones. Los eslabones están conectados a los mangos de las válvulas. De esta forma se realiza la apertura y

cierre del mecanismo. En la figura 3.9 se muestra el mecanismo de las válvulas en varias posiciones.

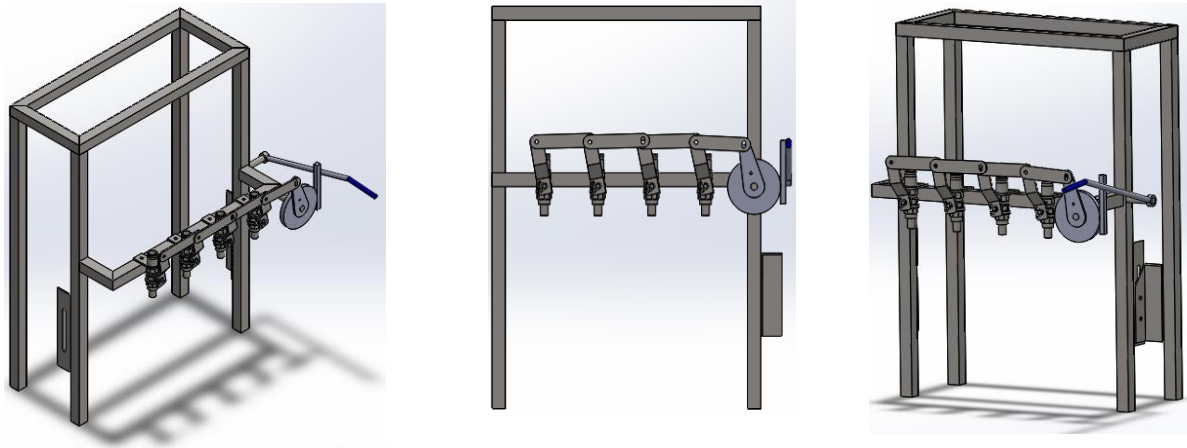


Figura 3.9. Mecanismo de las válvulas

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Boquillas de llenado

Para el llenado de los envases se utilizó boquillas de acero inoxidable AISI 316. Estas boquillas tienen la punta mecanizada para evitar el goteo después del cierre de las válvulas que controlan el fluido. Están conectados directamente con las mangueras que llevan el fluido, y se presionan con abrazaderas. En la figura 3.10 se muestran los tubos que se utilizaron para el llenado.

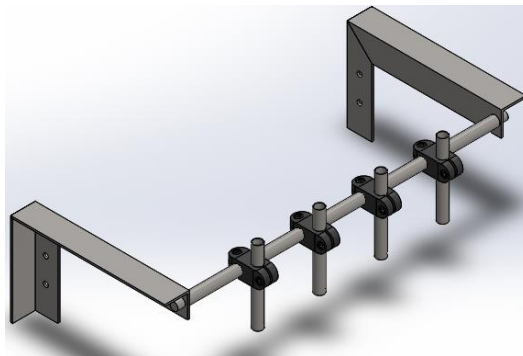


Figura 3.10. Tubos de llenado

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Mangueras

Las mangueras utilizadas son de grado alimenticio $\varnothing 5/8''$ NPT. Se utilizó las mangueras para la conexión del tanque de prellenado y las válvulas de control del sistema, así como en la parte inferior entre la conexión de las válvulas de control y los tubos de llenado. En todas las conexiones se colocó abrazaderas para asegurar la sujeción. Las mangueras se pueden lavar con agua y un detergente neutro, cuando empiezan a deteriorarse se recomienda que sean cambiadas. Son económicas y de fácil acceso en el mercado. En la figura 3.11 se muestra las mangueras de grado alimenticio que se utilizó.

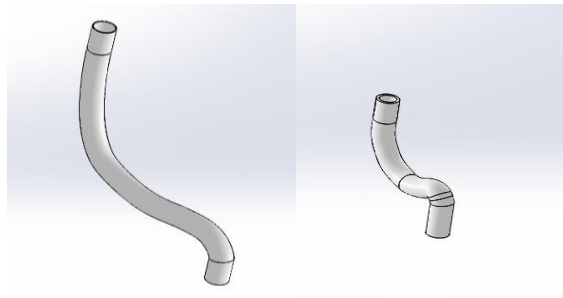


Figura 3.11. Mangueras de grado alimenticio (Superior e inferior)

Fuente: Elaboración propia.

La lista de materiales utilizados para el sistema de llenado se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Materiales para el sistema de llenado

Sistema de llenado	
Materiales	Tipo
Bases para sujetar los tubos de llenado	Plástico
Plancha de Acero Inoxidable de 2mm de espesor	Acero Inoxidable AISI 316
Tubo de $\varnothing 3/4''$ Ced 40 (Longitud: 352 mm)	Acero Inoxidable AISI 304
Tubing $\varnothing 14$ (Longitud: 200mm)	Acero Inoxidable AISI 316
Válvula de paso total de $1/2''$ NPT	Acero Inoxidable AISI 316
Tuercas para válvulas de paso total	Acero Inoxidable AISI 304
Manguera sanitaria (Longitud: 6 m)	Plástico alimenticio
Abrazaderas	Acero Inoxidable AISI 304
Piñón	Acero de transmisión
Cremallera	Acero de transmisión

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Regulación del envase en la línea

La línea de envasado cuenta con tres grados de libertad para regular la adaptación de la envasadora a distintos tamaños de botellas. El envase ingresa a través de la baranda, las cuales se pueden regular de acuerdo al diámetro del envase. Las válvulas dosificadoras realizan el movimiento en el eje que se encuentran sujetas, esto se puede observar en la figura 3.9. Las boquillas de llenado se pueden desplazar de forma horizontal para que sean alineadas con la boca del envase. El cabezal de llenado se puede regular de acuerdo a la altura del envase por medio de ojos chinos que tienen los ángulos de sujeción. Todos los movimientos se los puede apreciar en la Figura 3.12.

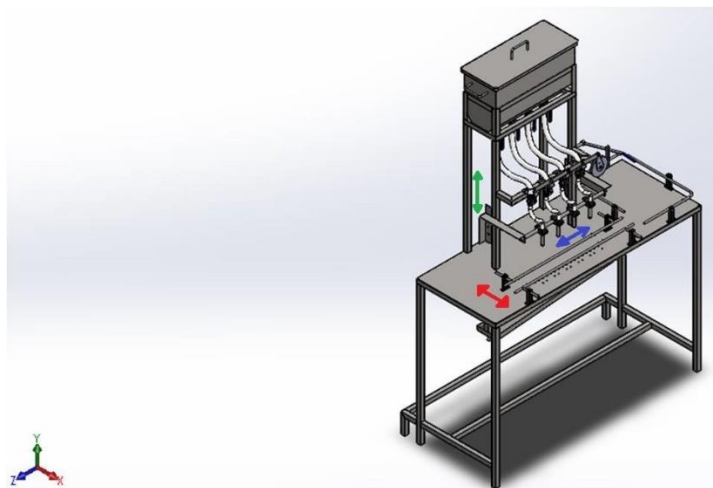


Figura 3.12. Grados de libertad en la línea de envasado

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Facilidad de uso

La mesa cuenta con un espacio para colocar los envases antes del proceso. También se instaló barandas con soportes de plásticos y guías de varillas de acero inoxidable para transportar el envase, y para la recepción. La mesa cuenta con perforaciones que ayudan a que el líquido que se derrama en la mesa pueda ser evacuado hacia una bandeja recolectora que se encuentra en la parte inferior de la mesa. La bandeja tiene una salida en la cual se puede instalar una manguera para enviar el líquido a una coladera. En la

figura 3.13 se muestra la línea de envasado con las partes que se ha realizado para facilidad de uso.

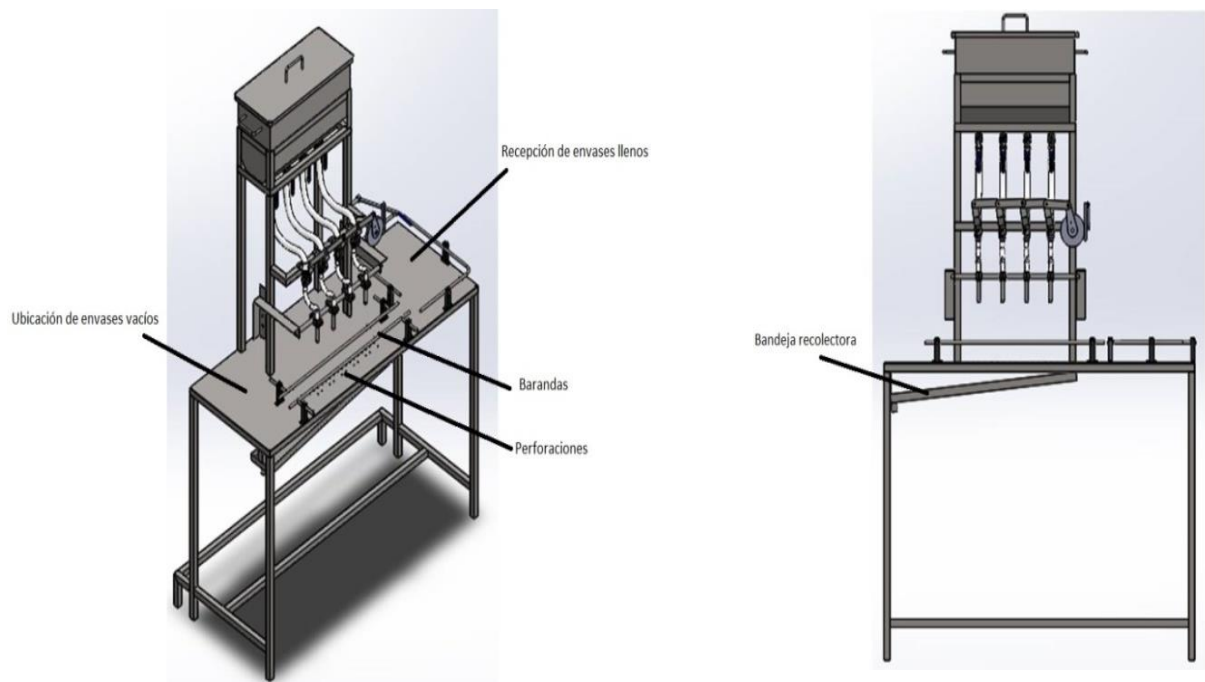


Figura 3.13. Partes para facilidad de uso en la línea de envasado

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis de costos

Para el análisis de costos se hizo una lista con todos materiales necesarios para la construcción de la línea de envasado, la lista cuenta con cotizaciones de los materiales que se los puede conseguir fácilmente en el medio.

En la tabla 3.4 se encuentra la lista de materiales para construir la envasadora.

En el mercado se obtiene ejes de acero inoxidable a un precio de \$7,00 el kilogramo, por lo que no se tiene la necesidad de comprar un eje completo.

Tabla 3.4 Costo de los materiales

Insumos	Material	Cantidad	Valor unitario	Total
Tubo cuadrado de 25x1,10	Acero Inoxidable AISI 304	3	\$ 29,39	\$ 88,17
Platina de 25x3	Acero Inoxidable AISI 304	1	\$ 28,00	\$ 28,00
Ángulo de 40x3	Acero Inoxidable AISI 304	1	\$ 44,97	\$ 44,97
Plancha de Acero Inoxidable de 2mm de espesor	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 152,93	\$ 152,93
Bases de regulación	Plástico	8	\$ 12,00	\$ 96,00
Bases para sujetar los tubos de llenado	Plástico	4	\$ 8,00	\$ 32,00
Varilla de Φ 10 mm (Longitud: 2935mm)	Acero Inoxidable AISI 304	1	\$ 12,74	\$ 12,74
Eje de Φ 1/2" (Longitud: 1026 mm)	Acero Inoxidable AISI 304	1	\$ 7,21	\$ 7,21
Tuerca de Φ 1/2"	Acero Inoxidable AISI 304	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Tubo de Φ 3/4" Cédula 40 (Longitud: 352 mm)	Acero Inoxidable AISI 304	1	\$ 5,56	\$ 5,56
Válvula de paso total de 1/2" NPT	Acero Inoxidable AISI 316	8	\$ 7,86	\$ 62,88
Tuercas para válvulas de paso total	Acero Inoxidable AISI 304	4	\$ 2,00	\$ 8,00
Piñón	Acero de transmisión	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Cremallera	Acero de transmisión	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Manguera sanitaria (Longitud: 6 m)	Plástico alimenticio	6	\$ 3,50	\$ 21,00
Abrazaderas	Acero Inoxidable AISI 304	16	\$ 1,00	\$ 16,00
Pernos 5/16"x1 1/2"	Acero Inoxidable AISI 304	26	\$ 0,50	\$ 13,00
Pernos 1/4"x1"	Acero Inoxidable AISI 304	6	\$ 0,25	\$ 1,50
Tornillos allen	Acero Inoxidable AISI 304	16	\$ 0,50	\$ 8,00
			Cantidad total	\$ 605,46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5 Costo de los materiales para la voluta y el impeller

Materiales	Tipo	Cantidad	Valor unitario	Total
Plancha de 6mm (430x145 mm)	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 40,95	\$ 40,95
Plancha de 3mm (360x305 mm)	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 36,28	\$ 36,28
Tubo de 1/2" Ced. 10 (Longitud: 102 mm)	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Tubo de 1 1/2" Ced. 10 (Longitud: 35 mm)	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Eje de 3/4" (Longitud: 20 mm)	Acero Inoxidable AISI 316	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Pernos de 1/4"x1 1/2"	Acero Inoxidable AISI 304	8	\$ 1,00	\$ 8,00
Prisioneros 5/16"x1/2"	Acero Inoxidable AISI 316	3	\$ 0,75	\$ 2,25
			Cantidad total	\$ 91,48

Fuente: Elaboración propia.

El costo de la mano de obra se calculó de acuerdo a la cantidad de operaciones que se va a utilizar para realizar la maquinaria y el valor del ingeniero a cargo del proyecto. En el costo de las operaciones se incluye el valor de los mecánicos y materiales que se utiliza. En la tabla 3.6 se muestra el costo de la mano de obra para la construcción de la envasadora.

Tabla 3.6 Costo de la mano de obra

Costo de mano de obra			
Costo de operaciones			
Operaciones	Cantidad	Valor	
Corte	170	\$ 0,75	\$ 127,50
Perforación	100	\$ 0,25	\$ 25,00
Doblado	20	\$ 1,00	\$ 20,00
Soldado	10,1	\$ 40,00	\$ 404,00
Redondeo	24	\$ 0,25	\$ 6,00
Torneado	48	\$ 2,00	\$ 96,00
	Total de operaciones		\$ 678,50
Costo del Ingeniero durante 2 semanas de trabajo			
Personal	Cantidad	Valor	
Ingeniero	1	\$ 500,00	\$ 500,00
	Total de mano de obra		\$ 1.178,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7 Costo de la mano de obra de la voluta y el impeller

Costo de mano de obra			
Costo de operaciones			
Operaciones	Cantidad	Valor	
Corte	26	\$ 0,75	\$ 19,50
Perforación	18	\$ 0,25	\$ 4,50
Rolada	5	\$ 5,00	\$ 25,00
Soldado	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Redondeo	24	\$ 0,25	\$ 6,00
Torneado	8	\$ 2,00	\$ 16,00
Total de operaciones			\$ 111,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8 Costo total de la línea de envasado

Análisis de costos		Valor
Costo de materiales		\$ 605,46
Costo de mano de obra		\$ 1.178,50
Valor		\$ 1.783,96
I.V.A (12%)		\$ 214,08
Total		\$ 1.998,04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9 Costo total de la voluta y el impeller

Análisis de costos		Valor
Costo de materiales		\$ 91,48
Costo de mano de obra		\$ 111,00
Valor		\$ 202,48
I.V.A (12%)		\$ 24,30
Total		\$ 226,78

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10 Costo total del sistema

Análisis de costos		Valor
Costo de la línea de envasado		\$ 1.998,04
Costo de la voluta y el impeller		\$ 226,78
Total		\$ 2.224,81

Fuente: Elaboración propia.

El precio de la línea de envasado es de \$1.998,04 para los clientes. De esta manera el precio a los clientes cubre en su totalidad los materiales, mano de obra y el IVA.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La parte estructural no representa un gran problema para el diseño debido a que las cargas que actúan en la envasadora son pequeñas y los materiales usados son los adecuados para soportar dichas cargas, esto se puede comprobar con los factores de seguridad obtenidos tanto para vigas y columnas que se encuentran en la tabla 3.2 en donde se puede apreciar que el factores de seguridad más bajo en las vigas es de 7,6 y para las columnas 53,5. También la plancha de acero utilizada para el tanque de prellenado resultó ser la adecuada ya que el factor de seguridad obtenido es de 15 lo cual garantiza que no va a fallar.

En cuanto a la selección de materiales, se utilizó acero inoxidable AISI 304 para las partes que no están en contacto con el producto y AISI 316 para las que si lo están, además las mangueras utilizadas son de grado alimenticio.

Para garantizar que las botellas se llenen por igual se colocó válvulas de paso total a la salida del tanque de prellenado, esto se puede apreciar en la figura 3.7, con esto se puede regular el caudal en cada línea. Si una botella se llena más rápido que el resto lo que se hace es cerrar la válvula de paso total correspondiente y ajustar al caudal de las demás.

El mecanismo utilizado para la apertura y cierre de las válvulas fue diseñado para que el operador realice un movimiento en el cuál la fatiga en sus músculos sea la menor, por esto para abrir o cerrar las válvulas se debe subir o bajar una palanca según corresponda, fue necesario diseñar nuevos mangos para las válvulas de paso total y conectar los mismos mediante eslabones, esto para que se pueda realizar el movimiento necesario para que funcione el mecanismo.

La envasadora debe poder adaptarse a diferentes tamaños de botellas por lo cual se diseñó para que las guías se adapten al diámetro de las botellas, el cabezal de llenado puede subir o bajar según la altura de la botella y las válvulas dosificadoras pueden desplazarse sobre el eje al que están sujetas para así coincidir con la boca de la botella. Esto es necesario ya que no todas las botellas elaboradas por diferentes fabricantes tienen las mismas dimensiones, además se

debe tener en cuenta la posibilidad de envasar botellas de una mayor capacidad a la de 500 ml que es para la cual se ha diseñado la envasadora.

La potencia necesaria para bombear la leche de soya desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de prellenado es de 2,02 W, es un valor bajo debido a que la diferencia de niveles a bombear es pequeña. Se cuenta con un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ hp, al que se le diseño una voluta y un impeller con acero inoxidable AISI 316. El punto de operación de la bomba construida tiene un caudal de 24 L/min a 2,06 m de cabezal. Este valor es más de lo necesario es por eso que la eficiencia de la bomba es 21%. El precio de la voluta y el impeller es de \$ 226,78, se ha tomado en cuenta los materiales y la mano de obra. Es un valor alto a comparación de las bombas que se encuentra en el mercado, sin embargo se está diseñando una bomba para el sistema y es de acuerdo a la norma ASME B73.1 de bombas horizontales centrífugas para servicios auxiliares. Debido a que el material que se utiliza para construir la envasadora es acero inoxidable la soldadura se la debe realizar mediante un proceso de soldadura TIG. El precio final de la envasadora tomando en cuenta materiales y mano de obra es de \$1.998,04 el cual puede parecer un poco alto debido a que nuestro cliente es una fundación, este valor se compensa con el aumento de productividad y la reducción de la mano de obra que se necesita actualmente ya que el envasado se lo hace mediante una jarra, la envasadora cuenta con cuatro válvulas por lo que un operador puede cubrir el trabajo de cuatro personas.

4.1 Conclusiones

La envasadora diseñada cumple con la capacidad de producción de la fundación que es de 120 L/h. Además, tomando en cuenta el posterior aumento de producción se diseñó la envasadora para que pueda funcionar hasta una capacidad del doble de lo requerido.

En cuanto a la seguridad se incluyó en el diseño una bomba eléctrica para que las personas no tengan que llevar el líquido en baldes hasta el tanque de prellenado, con esto se elimina el riesgo de quemaduras que existe en el diseño actual.

El diseño de la envasadora fue hecho bajo la norma INEN-EN 1672-2 que hace referencia a la construcción de maquinaria para procesamiento de alimentos, con esto se garantiza la asepsia del proceso de envasado.

La envasadora se diseñó tomando en cuenta que el cliente es una fundación que no cuenta con grandes recursos económicos, debido a esto se optó por hacer que su operación sea manual pero que cumpla con la capacidad de producción requerida así como con los materiales adecuados para el procesamiento de alimentos.

Se realizó el modelado 3D de la envasadora para representar el montaje de cada parte así como su funcionamiento. También se hizo los planos para la construcción de la envasadora.

4.2 Recomendaciones

El accionar de la bomba es mediante un interruptor, como algo complementario se recomienda instalar un control de nivel en el tanque de prellenado para que la bomba se accione al tener un volumen bajo del líquido.

Para la construcción del tanque de prellenado es importante que las esquinas tengan redondeo interior y que las salidas en el cambio de sección sea suave, es decir que tenga redondeo, esto es para evitar acumulación del producto en las esquinas lo cual causaría dificultades en el mantenimiento y un posible cultivo de bacterias.

Se recomienda colocar la voluta de la bomba de tal manera que la salida esté en la parte inferior apuntando hacia un costado ya que así es fácil evacuar el producto que se encuentra en su interior para evitar cultivos de bacterias.

BIBLIOGRAFÍA

Vásquez Ospina, A. & Cortés Angel, K. (2014). *Diseño y construcción del prototipo de una máquina de embotellado de jugos pasteurizados*. (Tesis inédita de ingeniería). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira.

Sani Centeno, A. & Toapanta Carrasco, J. (2015). *Diseño, construcción e implementación de una máquina envasadora y dosificadora de refrescos para la industria de lácteos Santillan "Prasol"*. (Tesis inédita de ingeniería). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba.

Pytel, A. & Singer, F. (4ta.). (1994). *Resistencia de materiales*. México: Alfaomega.

DIPAC, (2011). Catálogo. *Productos de Acero*. Volumen (1).

Budynas Richard & Nisbett Keith. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico. McGraw-Hill.

Pedrollo, (2014). Catálogo. *Bombas hidráulicas*. Italia.

Equitek (2016). Catálogo. *Máquinas envasadoras, tapado y etiquetado*. Mexico.

White, F. (6ta.). (2008). *Mecánica de fluidos*. España: McGraw-Hill.

APÉNDICES

APÉNDICE A

– Cálculos para selección de la bomba

Datos:

$$z_1 = 0.83 \text{ m}$$

$$z_2 = 1.565 \text{ m}$$

$$L = 3.5 \text{ m}$$

$$d = 0.0127 \text{ m}$$

Se plantea la ecuación

$$h_b = z_2 - z_1 + \frac{v^2}{2g} \left(\frac{fL}{d} + \sum K \right)$$

h_b : Cabezal de incremento debido a la bomba.

z_2 : Altura del nivel del líquido en el tanque de prellenado.

z_1 : Altura del nivel del líquido en el tanque de almacenamiento.

v : Velocidad del líquido a través de las tuberías.

g : Aceleración de la gravedad en la Tierra.

f : factor de fricción en las paredes de la tubería.

L : Longitud total que recorre el líquido.

d : Diámetro nominal de la tubería.

K : Pérdidas de caudal debido a accesorios

$$v = \frac{Q}{A}$$

Q : Caudal.

A : Área transversal de la tubería.

El caudal se determina de acuerdo a la cantidad de envases llenados en un minuto. El diseño determinado en este proyecto consta de cuatro válvulas y en un minuto se plantean realizar tres ciclos, por lo tanto; doce envases llenados, que corresponde a una cantidad de 6 litros en un minuto. Entonces:

$$Q = \frac{6 \text{ L}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * (0.0127)^2}{4} = 1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1 \times 10^{-4}}{1.267 \times 10^{-4}} = 0.789 \text{ m/s}$$

La longitud total de la tubería es: $L = 3.5 \text{ m}$

El f se lo obtiene del diagrama de Moody, para esto necesitamos el número de Reynolds (Re) y la fricción relativa (ε/d).

$$Re = \frac{v * d}{\nu}$$

Re : Número de Reynolds.

v : Velocidad del líquido a través de las tuberías.

d : Diámetro nominal de la tubería.

ν : Viscosidad dinámica del agua.

$$Re = \frac{0.789 * 0.0127}{1.022 * 10^{-6}} = 9804.59$$

$$\text{Fricción relativa} = \frac{\varepsilon}{d}$$

ε : Rugosidad de la tubería.

d : Diámetro nominal de la tubería.

$$\text{Fricción relativa} = \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.002}{12.7} = 1.575 \times 10^{-4}$$

Con Re y ε/d vamos al diagrama de Moody y se obtiene f el cual nos da 0.031.

Las pérdidas debido a los accesorios se encuentran en la siguiente tabla:

Cantidad	Accesorio	Coefficiente de resistencia (K)
4	Codo a 90°	0.95
2	Válvula de paso total de 1/2"	14
1	Salida brusca	1
1	Entrada con bordes vivos	0.5
ΣK		33.3

Entonces:

$$h_b = 1.565 - 0.83 + \frac{0.789^2}{2 * 9.8} \left(\frac{0.031 * 3.5}{0.0127} + 33.3 \right)$$
$$h_b = 2.06 \text{ m}$$

Presión en el sistema:

$$P = \rho g h_b$$

$$P = (1000)(9.81)(2.06) = 20.2 \text{ KPa}$$

Ecuación del sistema:

Se obtiene reemplazando la ecuación $Q = vA$, de donde $A = \frac{\pi d^2}{4}$

$$h_b = z_2 - z_1 + \frac{v^2}{2g} \left(\frac{fL}{d} + \Sigma K \right)$$

$$h_b = z_2 - z_1 + Q^2 \frac{8}{\pi^2 d^4 g} \left(\frac{fL}{d} + \Sigma K \right)$$

$$h_b = 0.735 + (132.90 \times 10^6) Q^2$$

La potencia necesaria para bombear el líquido es:

$$P = \rho g Q h_b$$

P: Potencia.

ρ : Densidad del agua.

g: Aceleración de la gravedad.

Q: Caudal.

h_b : Cabezal de incremento debido a la bomba.

$$P = (1000)(9.8)(1 \times 10^{-4})(2.06)$$

$$P = 2.02 \text{ w}$$

– Cálculos para el diseño de la bomba.

Selección del tipo de bomba

En la tabla 2.2 se muestran los datos del motor para el que se va a diseñar la voluta.

La norma que se va a utilizar es ASME B73.1 de bombas horizontales centrífugas para servicios auxiliares.

Para el diseño de una bomba se debe de tener en cuenta dos datos principales: Altura efectiva y caudal. Estos datos para el sistema en cuestión.

Luego, se considera el rango de velocidades del motor eléctrico, o las exigencias en cavitación.

El diseñador selecciona el tamaño y la forma (radial, diagonal y axial). (F. White, 2008, p. 772).

Para empezar el diseño se necesita un parámetro que relacione velocidad, caudal, altura efectiva, pero no el tamaño. Este parámetro es adimensional y es constante para cada tipo de bombas. Este parámetro se denomina velocidad específica.

$$N'_s = \frac{C_Q^{*1/2}}{C_H^{*3/4}} = \frac{n(Q^*)^{1/2}}{(gH^*)^{3/4}} \quad (\text{Forma rigurosa})$$

$$N'_s = \frac{(rpm)(l/min)^{1/2}}{(H(m))^{3/4}} \quad (\text{Forma común})$$

También existe una relación:

$$N_s = 17,182N'_s$$

Reemplazando los datos del motor y operación del sistema.

Datos:

$$Q = 0,0001 \frac{m^3}{s} = 6 \text{ l/min}$$

$$H = 2,06 \text{ m}$$

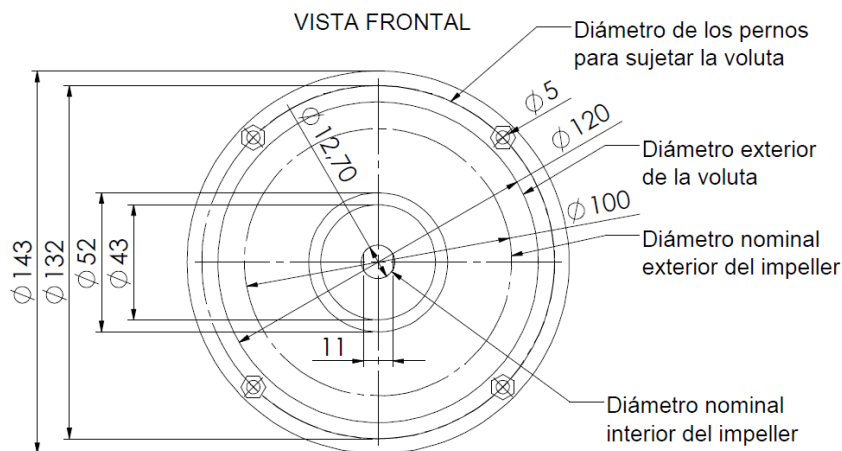
$$\omega = 1625 \text{ RPM}$$

$$N'_s = \frac{(1625)(6)^{1/2}}{(2,06)^{3/4}} = 2314,88$$

De acuerdo a la tabla 2.3 está en el rango de una bomba radial.

– Cálculo de la voluta

En la figura 5.1 se muestra la vista frontal y lateral del motor eléctrico que se va a utilizar para la bomba.



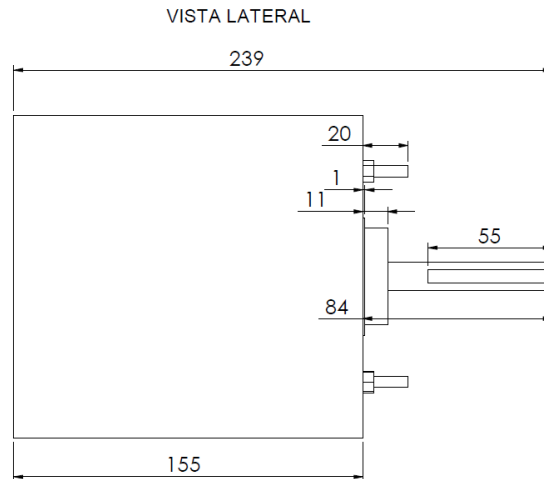


Figura 0.1 Vista frontal y lateral del motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

El diseño se va a realizar exclusivo para este motor. De aquí se obtienen tres resultados importantes:

\emptyset exterior de la voluta: 120 mm

\emptyset nominal exterior del impeller: 100 mm

\emptyset nominal interior del impeller: 12.7 mm

Para determinar el volumen de la voluta se tiene que tener dos datos; la cantidad de revoluciones del motor y el caudal que se necesita para el sistema.

Datos:

$$\omega = 1625 \text{ RPM}$$

$$Q = 0,0001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Luego, se obtiene la cantidad de volumen que se remueve por revolución.

$$V_{c/rev} = \frac{6 \frac{\text{L}}{\text{min}}}{1625 \frac{\text{Rev}}{\text{min}}} = 3.69 \times 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{Rev}} = 3.69 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{Rev}}$$

Con este dato se determina el volumen en la voluta.

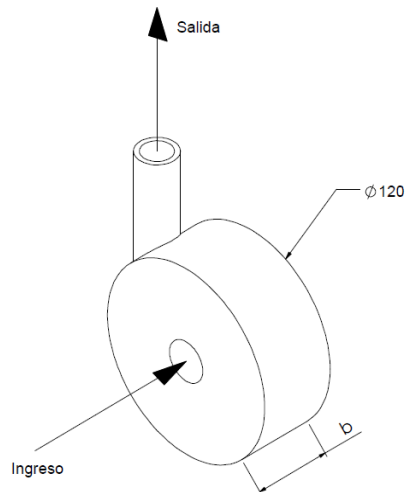


Figura 0.2 Forma del volumen de la voluta

Fuente: Elaboración propia.

El volumen de la voluta se determina por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} x b$$

Reemplazando y despejando, se obtiene:

$$b = 3.26 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.3 \text{ mm}$$

Este es el mínimo ancho que puede tener b para cumplir con la demanda de caudal de la bomba y el sistema.

Esta parte es iterativa porque no se ha tomado en cuenta el volumen que ocupa el impeller. Se va a tomar un mayor volumen para el diseño de la voluta debido a que va a cumplir con la demanda del caudal y con el volumen que ocupa el impeller. Debido a que el volumen va a ser mayor la bomba podrá trabajar en rangos de operación mayores.

– Cálculo del impeller

Los diámetros del impeller se determinan a partir del volumen de la voluta.

Ø nominal exterior del impeller: 100 mm

Ø nominal interior del impeller: 12.7 mm

En la figura 5.3 se muestra la ubicación de los ángulos y las velocidades que se han utilizado para el cálculo.

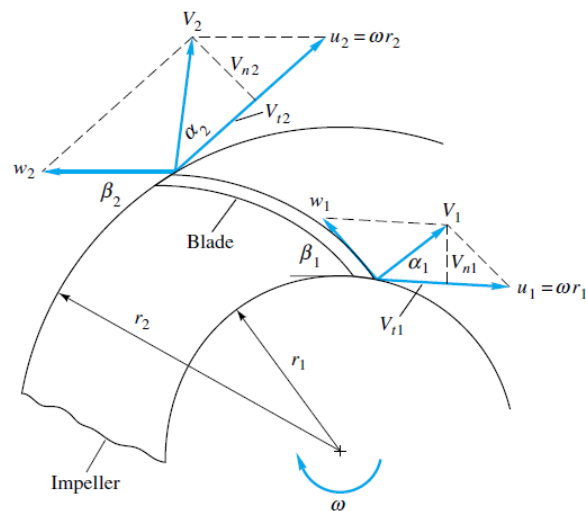


Figura 0.3 Ubicación de ángulos y velocidades para el cálculo del impeller

Fuente: F. White, 2008, p. 772.

Suposiciones:

Flujo estacionario.

Se desprecia términos viscosos.

Se desprecia transferencia de calor.

Se considera flujo unidimensional.

Campo de velocidades idealizado en el rodete.

Datos:

$$\rho = 1005 \frac{Kg}{m^3}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Q = 0,0001 \frac{m^3}{s}$$

$$H = 2,06 m$$

$$\omega = 3450 RPM$$

$$P = 0.5 HP$$

$$\alpha_2 = 90^\circ$$

$$\alpha_1 = 90^\circ$$

$$r_2 = 0.044 m$$

$$r_1 = 0.012 m$$

Ecuaciones:

Estas ecuaciones se conocen como ecuaciones de Euler de las Turbomáquinas.

Estas ecuaciones indican que el par, la potencia y la altura efectiva ideales son función únicamente de las velocidades en las puntas de los álabes u_1, u_2 y de las componentes tangenciales de la velocidad absoluta V_{t1}, V_{t2} .

$$P = \rho g Q H \quad \text{Potencia hidráulica}$$

$$T = \rho Q (r_2 V_{t2}) \quad \text{Torque en el rodete de una turbomáquina}$$

$$V_{n2} = \frac{Q}{2\pi r_2 b_2} \quad \text{Velocidad normal a la salida del impeller}$$

$$V_{n1} = \frac{Q}{2\pi r_1 b_1} \quad \text{Velocidad normal a la entrada del impeller}$$

$u_1 = \omega r_1$ *Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la entrada*

$u_2 = \omega r_2$ *Componente circunferencial de la velocidad en la punta de los álabes a la salida*

$$V_{n1} = u_1 \tan(\beta_1) \quad \text{Velocidad normal a la entrada del impeller}$$

$$V_{t2} = u_2 - V_{n2} \cot(\beta_2) \quad \text{Velocidad tangencial a la salida del impeller}$$

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{P} \quad \text{Eficiencia de la bomba}$$

Es importante recalcar que este cálculo es ideal y no se ha tomado en cuenta tres tipos de pérdidas:

Pérdidas por recirculación: Son importantes para caudales grandes.

Pérdidas por fricción: en los álabes y en las superficies interiores, que aumentan con el caudal.

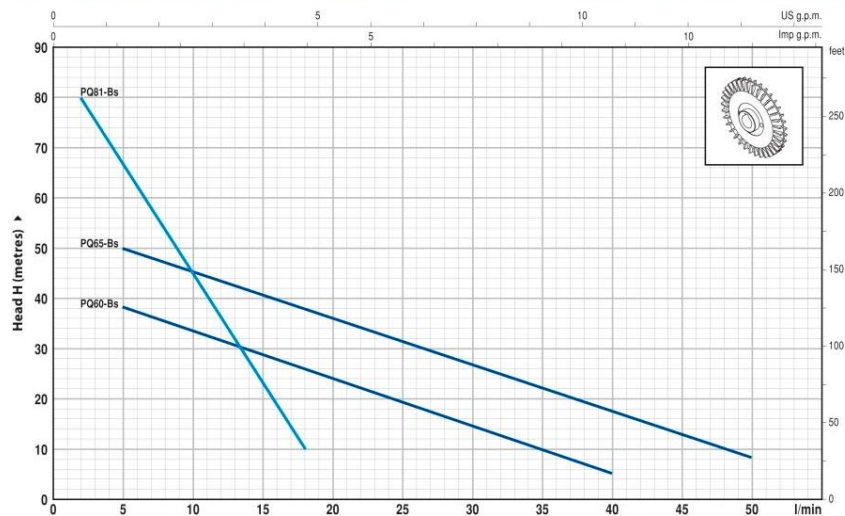
Pérdidas por choque: son desajustes entre los ángulos de los álabes y la dirección del flujo a la entrada, son importantes para caudales grandes.

La predicción de las características de la bomba es una mezcla de experiencia, correlaciones empíricas, teoría ideal y modificaciones con CFD.

(F. White, 2008, p. 763).

Este proceso es muy iterativo. Se realizó un programa, en el que se ingresó las ecuaciones para realizar las distintas iteraciones. Para obtener los ángulos β_1, β_2 se ha tomado como referencia la curva de una bomba que existe en el mercado con características un poco similares para obtener valores del impeller cercanos a los reales. Se ha escogido la bomba pedrollo PQm 60-Bs con un motor de 0.5 Hp y 2900 RPM a 50 Hz.

CHARACTERISTIC CURVES AND PERFORMANCE DATA 50 Hz n= 2900 1/min HS= 0 m



MODEL		POWER		Q	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0
Single-phase	Three-phase	kW	HP	l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
PQm 60-Bs	PQ 60-Bs	0.37	0.50	H metres	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5	
PQm 65-Bs	PQ 65-Bs	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8

Figura 0.4 Curva característica de una bomba en el mercado para las iteraciones

Fuente: Pedrollo PQ-s, 2014, p. 2.

Se realizó iteraciones en el punto

$$Q = 20 \frac{L}{min} = 0,00033 \frac{m^3}{s}$$

$$H = 24 m$$

Se obtuvo el siguiente resultado

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	b_1	b_2	n	β_1	β_2	T	u_1	u_2	V_{n1}	V_{n2}	V_{i2}
	[m]	[m]		[°]	[°]	[N/m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Run 1	0,01	0,01	0,2115	37,71	20	2,192	1,081	9,359	0,8355	0,09646	119
Run 2	0,01474	0,01474	0,2115	27,68	20	2,192	1,081	9,359	0,5669	0,06545	119
Run 3	0,01947	0,01947	0,2115	21,65	20	2,192	1,081	9,359	0,429	0,04953	119
Run 4	0,02421	0,02421	0,2115	17,71	20	2,192	1,081	9,359	0,3451	0,03984	119
Run 5	0,02895	0,02895	0,2115	14,95	20	2,192	1,081	9,359	0,2886	0,03332	119
Run 6	0,03368	0,03368	0,2115	12,93	20	2,192	1,081	9,359	0,248	0,02864	119
Run 7	0,03842	0,03842	0,2115	11,38	20	2,192	1,081	9,359	0,2174	0,02511	119
Run 8	0,04316	0,04316	0,2115	10,16	20	2,192	1,081	9,359	0,1936	0,02235	119
Run 9	0,04789	0,04789	0,2115	9,17	20	2,192	1,081	9,359	0,1744	0,02014	119
Run 10	0,05263	0,05263	0,2115	8,357	20	2,192	1,081	9,359	0,1587	0,01833	119
Run 11	0,05737	0,05737	0,2115	7,676	20	2,192	1,081	9,359	0,1456	0,01681	119
Run 12	0,06211	0,06211	0,2115	7,096	20	2,192	1,081	9,359	0,1345	0,01553	119
Run 13	0,06684	0,06684	0,2115	6,598	20	2,192	1,081	9,359	0,125	0,01443	119
Run 14	0,07158	0,07158	0,2115	6,165	20	2,192	1,081	9,359	0,1167	0,01348	119
Run 15	0,07632	0,07632	0,2115	5,785	20	2,192	1,081	9,359	0,1095	0,01264	119
Run 16	0,08105	0,08105	0,2115	5,449	20	2,192	1,081	9,359	0,1031	0,0119	119
Run 17	0,08579	0,08579	0,2115	5,15	20	2,192	1,081	9,359	0,09738	0,01124	119
Run 18	0,09053	0,09053	0,2115	4,882	20	2,192	1,081	9,359	0,09229	0,01066	119
Run 19	0,09526	0,09526	0,2115	4,64	20	2,192	1,081	9,359	0,0877	0,01013	119
Run 20	0,1	0,1	0,2115	4,421	20	2,192	1,081	9,359	0,08355	0,009646	119

Figura 0.5 Primera iteración

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene que:

$$b_1 = b_2 = 0.015 \text{ m .}$$

$$\beta_1 = 27.68^\circ$$

$$\beta_2 = 20^\circ$$

En la siguiente iteración se van a fijar los valores del b_1 , b_2 y variar los valores de Q , H , β_1 , β_2 , para obtener un punto con la mayor eficiencia.

1.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Q_1 [m ³ /s]	H [m]	n	β_2 [°]	β_1 [°]	T [N/m]	u_1 [m/s]	u_2 [m/s]	V_{n1} [m/s]	V_{t2} [m/s]	V_{n2} [m/s]
Run 1	0,0000833	38	0,08367	20	7,34	2,192	1,081	9,359	0,1392	476,1	0,01607
Run 2	0,000166	33,5	0,147	20	14,4	2,192	1,081	9,359	0,2774	238,9	0,03202
Run 3	0,00025	29	0,1916	20	21,14	2,192	1,081	9,359	0,4177	158,6	0,04823
Run 4	0,000333	24	0,2112	20	27,25	2,192	1,081	9,359	0,5564	119,1	0,06424
Run 5	0,000416	19,5	0,2144	20	32,75	2,192	1,081	9,359	0,6951	95,32	0,08025
Run 6	0,0005	15	0,1982	20	37,71	2,192	1,081	9,359	0,8355	79,31	0,09646
Run 7	0,0005833	10	0,1542	20	42,05	2,192	1,081	9,359	0,9746	67,98	0,1125
Run 8	0,000666	5	0,08802	20	45,84	2,192	1,081	9,359	1,113	59,54	0,1285

Figura 0.6 Segunda iteración

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene los resultados:

$$Q = 24 \frac{L}{min}$$

$$H = 2,06 \text{ m}$$

$$b_1 = b_2 = 0.015 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 32.75^\circ$$

$$\beta_2 = 20^\circ$$

$$\eta = 21.4\%$$

Con estos datos se pueden realizar los planos del impeller y de la voluta.

Para obtener la curva características es necesario realizar pruebas experimentales con un prototipo para saber el comportamiento.

– Peso del producto

El tanque tiene una capacidad de 20 litros.

$$V = 20 \text{ L}$$

$$V = 20 \text{ L} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,02 \text{ m}^3$$

Densidad de la soya: 1050 $\frac{Kg}{m^3}$

$$\rho = 1050 \frac{Kg}{m^3}$$

Gravedad: $9,81 \frac{m}{s^2}$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Se plantea la siguiente ecuación para determinar la masa del producto en el interior del tanque:

$$m = \rho V$$

ρ : Densidad de la soya.

V : Volumen del producto.

Reemplazando:

$$m = (1050)(0,02) = 21 \text{ Kg}$$

Para determinar el peso se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_{\text{producto}} = mg$$

m : Masa del producto.

g : Gravedad del producto.

Reemplazando:

$$W_{\text{producto}} = (21)(9,81) = 206,01 \text{ N}$$

— Análisis estructural

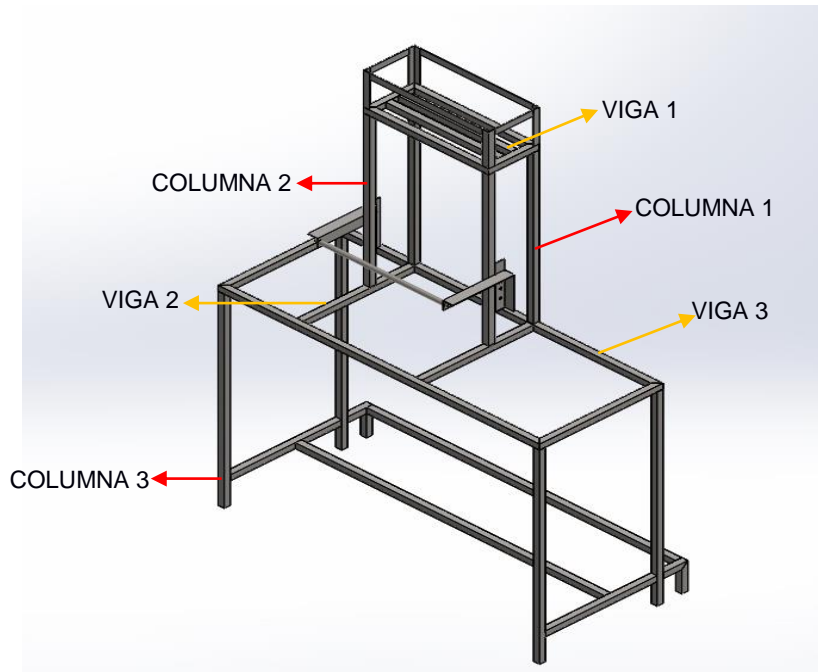


Figura 0.7 Selección de elementos para el análisis estructural

Fuente: Elaboración propia.

Viga 1.

Sobre esta viga está apoyado el tanque de prellenado por lo que todo el peso del tanque con el líquido en su interior es soportado por la viga 1.

Se analiza la viga con doble apoyo simple con una carga distribuida debido al tanque con su contenido.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$w = 312.1 \text{ N/m}$$

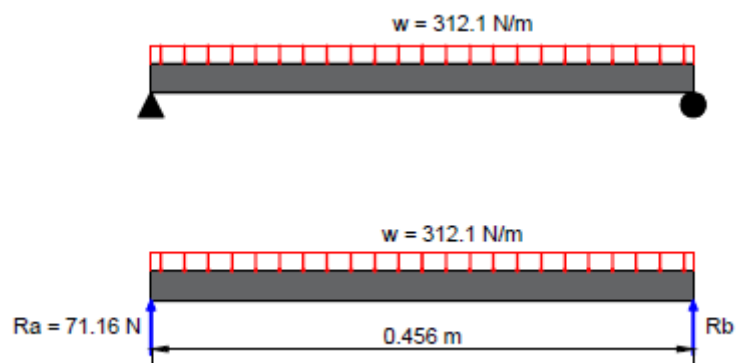
$$L = 0.456 \text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$Q = 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$S_y = 276 \times 10^6 \text{ MPa}$$



Las reacciones se calculan con la siguiente formula:

$$R_a = \frac{w * L}{2}$$

Donde:

R_a : Reacción en el punto A.

w : Carga distribuida.

L : Longitud de la viga.

$$R_a = \frac{312.1 * 0.456}{2}$$

$$R_a = 71.16 \text{ N}$$

Por simetría R_a y R_b son iguales.

El momento en el punto medio de la viga es el siguiente:

$$M = \frac{R_a * L_1}{2}$$

Donde:

M : Momento en el punto medio.

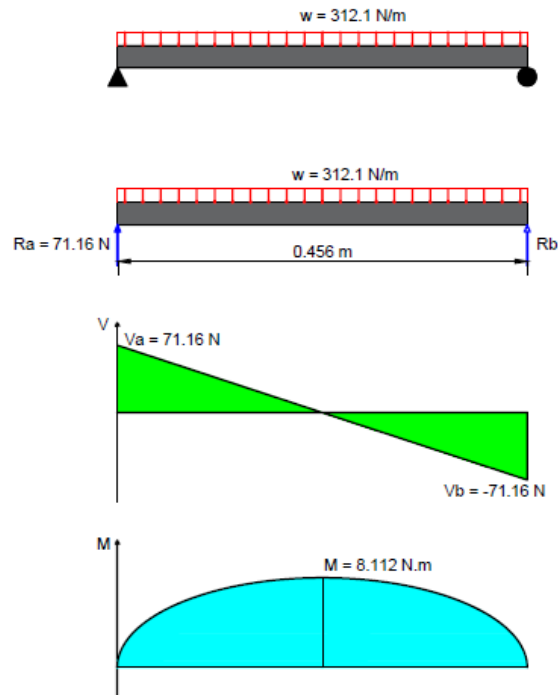
R_a : Reacción en el punto A.

L_1 : Longitud de la viga en el punto medio.

$$M = \frac{71.16 * 0.228}{2}$$

$$M = 8.112 \text{ N.m}$$

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector es el siguiente:



Los esfuerzos producidos debido a la flexión son los siguientes:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal.

M : Momento flector máximo sobre la viga.

c : Punto más lejano desde el eje neutro.

I : Inercia del elemento

$$\sigma = \frac{8.112 * 12.5 \times 10^{-3}}{9.5 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 10.67 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

Q : Momento flector máximo sobre la viga.

t : Espesor mínimo.

I : Inercia del elemento

$$\tau = \frac{71.16 * 7.6 \times 10^{-7}}{9.5 \times 10^{-9} * 0.0011}$$

$$\tau = 5.175 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

σ : Esfuerzo normal.

τ : Esfuerzo cortante

$$\sigma' = \sqrt{10.67^2 + 3 * 5.175^2}$$

$$\sigma' = 13.94 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

n : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

$$n = \frac{276 \text{ MPa}}{13.94 \text{ MPa}}$$

$$n = 19.8$$

Viga 2.

Sobre esta viga está apoyado un cuarto del peso de la estructura que contiene el tanque de prellenado y las válvulas.

Se analiza la viga con doble apoyo simple con una carga concentra por el peso de la estructura.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$F = 49.6 \text{ N}$$

$$L = 0.456 \text{ m}$$

$$a = 0.1685 \text{ m}$$

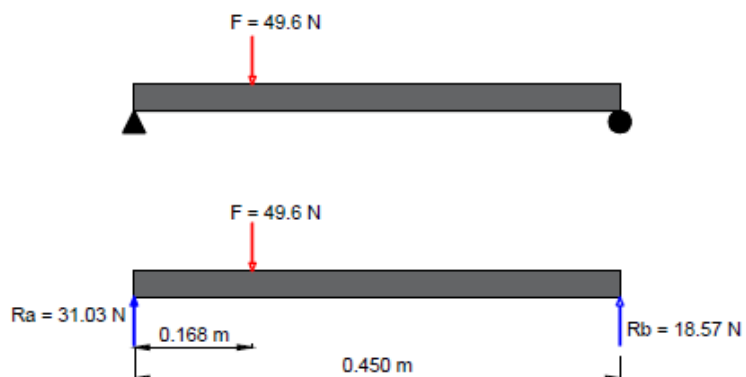
$$b = 0.2815 \text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$Q = 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$S_y = 276 \times 10^6 \text{ MPa}$$



Las reacciones se calculan con la siguiente formula:

$$R_a = \frac{F * b}{L}$$

Donde:

R_a : Reacción en el punto A.

F : Fuerza aplicada.

L : Longitud de la viga.

a : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

b : Longitud desde B hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$$R_a = \frac{49.6 * 0.2815}{0.450}$$

$$R_a = 31.03 \text{ N}$$

$$R_b = \frac{F * a}{L}$$

Donde:

R_a : Reacción en el punto A.

F : Fuerza aplicada.

L : Longitud de la viga.

a : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

b : Longitud desde B hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$$R_b = \frac{49.6 * 0.1685}{0.450}$$

$$R_b = 18.57 \text{ N}$$

El momento en el punto A se calculan de la siguiente manera:

$$M_a = R_a * a$$

Donde:

M_a : Momento en el punto A.

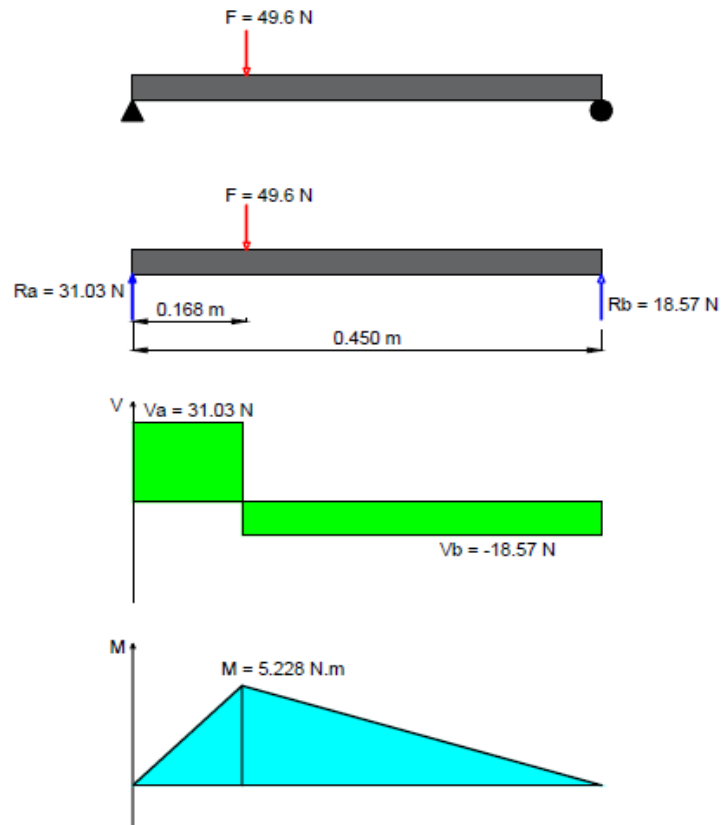
R_a : Reacción en el punto A.

a : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$$M = 31.03 * 0.1685$$

$$M = 5.228 \text{ N.m}$$

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector es el siguiente:



Los esfuerzos producidos debido a la flexión son los siguientes:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal.

M : Momento flector máximo sobre la viga.

c : Punto más lejano desde el eje neutro.

I : Inercia del elemento

$$\sigma = \frac{5.228 * 12.5 \times 10^{-3}}{9.5 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 6.88 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

Q : Momento flector máximo sobre la viga.

t : Espesor mínimo.

I : Inercia del elemento

$$\tau = \frac{31.03 * 7.6 \times 10^{-7}}{9.5 \times 10^{-9} * 0.0011}$$

$$\tau = 2.257 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

σ : Esfuerzo normal.

τ : Esfuerzo cortante

$$\sigma' = \sqrt{6.88^2 + 3 * 2.257^2}$$

$$\sigma' = 7.912 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

n : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

$$n = \frac{276 \text{ MPa}}{7.912 \text{ MPa}}$$

$$n = 34.88$$

Viga 3.

Sobre esta viga está apoyado un cuarto del peso de la estructura que contiene el tanque de prellenado y las válvulas, además contiene la reacción generada por la viga 2.

Se analiza la viga con doble apoyo simple con dos cargas concentradas por las fuerzas externas aplicadas.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$F = 80.63 \text{ N}$$

$$L = 1.30 \text{ m}$$

$$a = 0.5125 \text{ m}$$

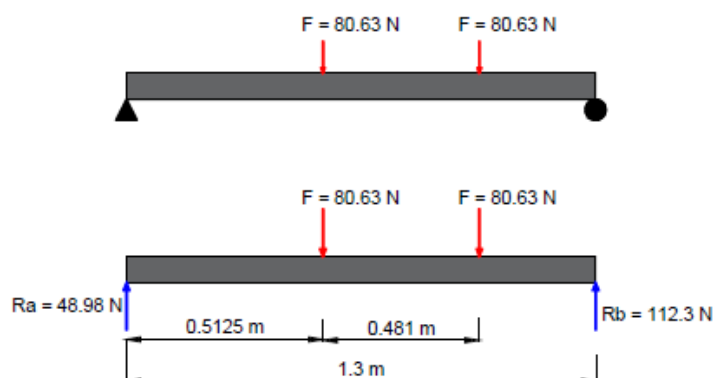
$$b = 0.9935 \text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$Q = 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$S_y = 276 \times 10^6 \text{ MPa}$$



Las reacciones se calculan con la siguiente sumatoria de fuerzas y momentos:

$$R_a + R_b + 2F = 0$$

$$F * a + F * b - R_b * L = 0$$

Donde:

R_a : Reacción en el punto A.

R_b : Reacción en el punto B.

F : Fuerza aplicada.

L : Longitud de la viga.

a : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

b : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

Por lo tanto:

$$R_a = 81.56 \text{ N}$$

$$R_b = 112.3 \text{ N}$$

El cortante entre las dos fuerzas aplicadas es el siguiente:

$$V = V_a - F$$

$$V = 81.56 - 80.63 = -15.36 \text{ N}$$

El momento en el punto de aplicación de cada fuerza es el siguiente:

$$M_1 = R_a * a$$

Donde:

M_1 : Momento creado por la fuerza más cercana al punto A.

R_a : Reacción en el punto A.

a : Longitud desde A hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$$M_1 = 81.56 * 0.5125$$

$$M_1 = 41.8 \text{ N.m}$$

$$M_2 = R_b * d$$

Donde:

M_2 : Momento creado por la fuerza más cercana al punto B.

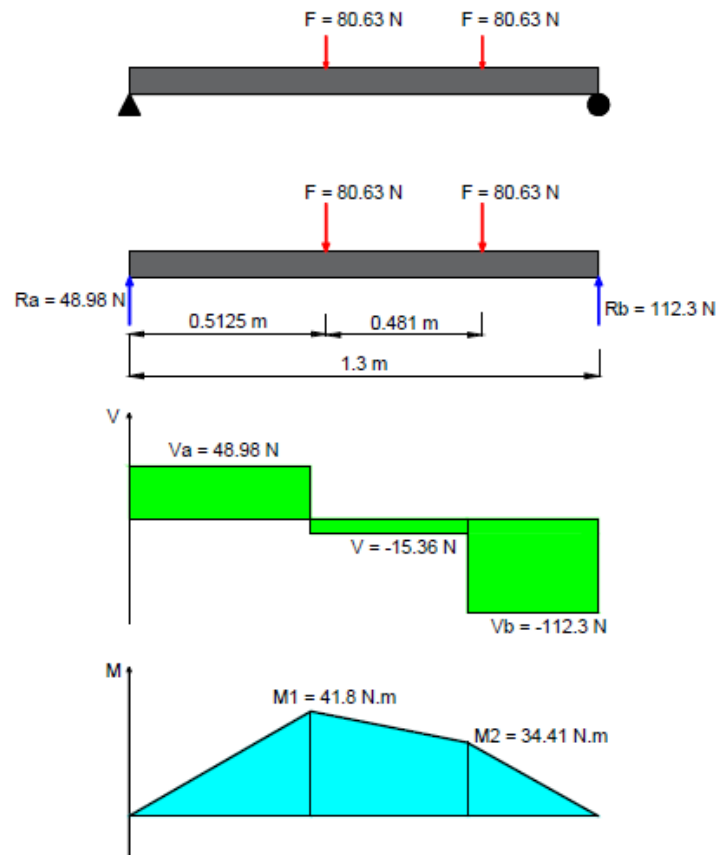
R_b : Reacción en el punto B.

d : Longitud desde B hasta el punto de aplicación de la fuerza.

$$M_2 = 112.3 * 0.3065$$

$$M_2 = 34.41 \text{ N.m}$$

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector es el siguiente:



Los esfuerzos producidos debido a la flexión son los siguientes:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

σ : Esfuerzo normal.

M : Momento flector máximo sobre la viga.

c : Punto más lejano desde el eje neutro.

I : Inercia del elemento

$$\sigma = \frac{41.8 * 12.5 \times 10^{-3}}{9.5 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma = 33.03 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t}$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante.

Q : Momento flector máximo sobre la viga.

t : Espesor mínimo.

I : Inercia del elemento

$$\tau = \frac{112.3 * 7.6x10^{-7}}{9.5x10^{-9} * 0.0011}$$
$$\tau = 8.166 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

σ : Esfuerzo normal.

τ : Esfuerzo cortante

$$\sigma' = \sqrt{33.03^2 + 3 * 8.166^2}$$
$$\sigma' = 35.93 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'}$$

n : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

$$n = \frac{276 \text{ MPa}}{35.93 \text{ MPa}}$$
$$n = 7.682$$

Análisis de columnas.

Columna 1.

Sobre esta columna está apoyado un cuarto del peso de la estructura que contiene el tanque de prellenado.

Se analiza la columna como doble articulación y una carga aplicada en el centro.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$F = 79.155 \text{ N}$$

$$L = 0.7 \text{ m}$$

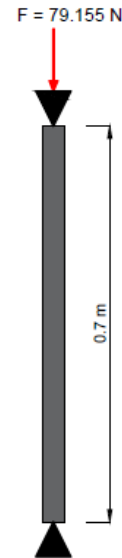
$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\sigma_F = 276 \text{ MPa}$$

$$r = 9.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$



Se define si la viga es larga, intermedia o corta.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}}$$

Donde:

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

E : Módulo de elasticidad.

σ_F : Esfuerzo de fluencia del material.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 \times 10^9}{276 \times 10^6}}$$

$$C_c = 119.6$$

$$\frac{L_e}{r} = \frac{k * L}{r}$$

Donde:

L_e/r : Relación de esbeltez.

k : Constante por la condición de sujeción.

L : Longitud de la columna.

r : Radio de giro.

L_e : Longitud efectiva.

$$\frac{L_e}{r} = \frac{1 * 0.7}{9.7 * 10^{-3}}$$

$$\frac{L_e}{r} = 72.16$$

Por lo tanto, se considera una columna intermedia para la cuál se aplica la fórmula de la parábola que es recomendada por el AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(L_e/r)}{8C_c} - \frac{(L_e/r)^3}{8C_c^3}$$

Donde:

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(72.16)}{8 * 119.6} - \frac{(72.16)^3}{8 * 119.6^3}$$

$$FS = 1.865$$

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(L_e/r)^2}{2C_c^2}\right) \frac{\sigma_F}{FS}$$

Donde:

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(72.16)^2}{2 * 119.6^2}\right) \frac{276 * 10^6}{1.865}$$

$$\sigma_{cr} = 121 \text{ MPa}$$

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

Donde:

P_{cr} : Carga crítica.

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

A : Área de la sección transversal de la columna.

$$P_{cr} = \frac{121 * 10^6}{102 * 10^{-6}}$$

$$P_{cr} = 12 \text{ 344 N}$$

$$n = \frac{P_{cr}}{P}$$

Donde:

n : Factor de seguridad.

P_{cr} : Carga crítica.

P : Carga aplicada.

$$n = \frac{12\,344}{79.155}$$

$$n = 155.9$$

Columna 2.

Sobre esta columna está apoyado un cuarto del peso de la estructura que contiene el tanque de prellenado, además soporta dos conjuntos de las válvulas de llenado.

Se analiza la columna como doble articulación y una carga aplicada en el centro.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$F = 79.155\text{ N}$$

$$F_1 = 24.39\text{ N}$$

$$F_2 = 24.39\text{ N}$$

$$L = 0.7\text{ m}$$

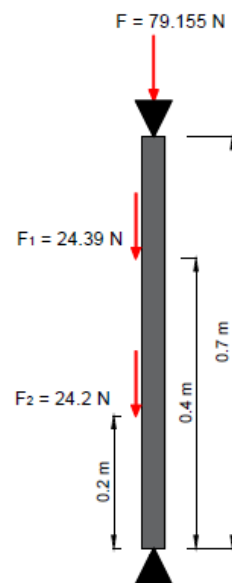
$$E = 200\text{ GPa}$$

$$\sigma_F = 276\text{ MPa}$$

$$r = 9.7 \times 10^{-3}\text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6}\text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9}\text{ m}^4$$



Se define si la viga es larga, intermedia o corta.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}}$$

Donde:

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

E : Módulo de elasticidad.

σ_F : Esfuerzo de fluencia del material.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 * 10^9}{276 * 10^6}}$$

$$C_c = 119.6$$

$$\frac{L_e}{r} = \frac{k * L}{r}$$

Donde:

L_e/r : Relación de esbeltez.

k : Constante por la condición de sujeción.

L : Longitud de la columna.

r : Radio de giro.

L_e : Longitud efectiva.

$$\frac{L_e}{r} = \frac{1 * 0.7}{9.7 * 10^{-3}}$$

$$\frac{L_e}{r} = 72.16$$

Por lo tanto, se considera una columna intermedia para la cual se aplica la fórmula de la parábola que es recomendada por el AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(L_e/r)}{8C_c} - \frac{(L_e/r)^3}{8C_c^3}$$

Donde:

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(72.16)}{8 * 119.6} - \frac{(72.16)^3}{8 * 119.6^3}$$

$$FS = 1.865$$

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(L_e/r)^2}{2C_c^2}\right) \frac{\sigma_F}{FS}$$

Donde:

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(72.16)^2}{2 * 119.6^2}\right) \frac{276 * 10^6}{1.865}$$

$$\sigma_{cr} = 121 \text{ MPa}$$

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

Donde:

P_{cr} : Carga crítica.

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

A: Área de la sección transversal de la columna.

$$P_{cr} = \frac{121 \times 10^6}{102 \times 10^{-6}}$$

$$P_{cr} = 12\,344 \text{ N}$$

$$n = \frac{P_{cr}}{P}$$

Donde:

n : Factor de seguridad.

P_{cr} : Carga crítica.

P : Carga total aplicada.

$$P = F + F_1 + F_2$$

$$P = 79.155 + 24.39 + 24.2$$

$$P = 127.7$$

$$n = 127.7$$

$$n = 96.63$$

Columna 3.

Esta columna es una de las cuatro que soportan todo el peso de la estructura por lo que soporta un cuarto del peso total.

Se analiza la columna como doble articulación y una carga aplicada en el centro.

Se utiliza tubo cuadrado de acero inoxidable AISI 304 de 25x25, espesor 1.1 mm.

Datos:

$$F = 198.4 \text{ N}$$

$$L = 0.875 \text{ m}$$

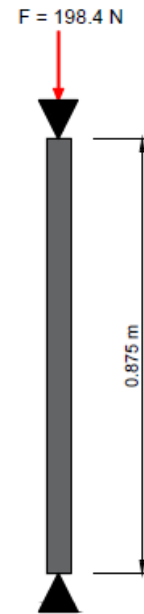
$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\sigma_F = 276 \text{ MPa}$$

$$r = 9.7 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = 102 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$I = 9.5 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$



Se define si la viga es larga, intermedia o corta.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_F}}$$

Donde:

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

E : Módulo de elasticidad.

σ_F : Esfuerzo de fluencia del material.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 \times 10^9}{276 \times 10^6}}$$

$$C_c = 119.6$$

$$\frac{L_e}{r} = \frac{k * L}{r}$$

Donde:

L_e/r : Relación de esbeltez.

k : Constante por la condición de sujeción.

L : Longitud de la columna.

r : Radio de giro.

L_e : Longitud efectiva.

$$\frac{L_e}{r} = \frac{1 * 0.875}{9.7 * 10^{-3}}$$

$$\frac{L_e}{r} = 90.21$$

Por lo tanto, se considera una columna intermedia para la cuál se aplica la fórmula de la parábola que es recomendada por el AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(L_e/r)}{8C_c} - \frac{(L_e/r)^3}{8C_c^3}$$

Donde:

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(90.21)}{8 * 119.6} - \frac{(90.21)^3}{8 * 119.6^3}$$

$$FS = 1.896$$

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(L_e/r)^2}{2C_c^2}\right) \frac{\sigma_F}{FS}$$

Donde:

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

FS : Factor de seguridad.

L_e/r : Relación de esbeltez.

C_c : Relación de esbeltez del AISC.

$$\sigma_{cr} = \left(1 - \frac{(90.21)^2}{2 * 119.6^2}\right) \frac{276 * 10^6}{1.896}$$

$$\sigma_{cr} = 104.2 \text{ MPa}$$

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

Donde:

P_{cr} : Carga crítica.

σ_{cr} : Esfuerzo crítico que soporta la columna.

A : Área de la sección transversal de la columna.

$$P_{cr} = \frac{104.2 * 10^6}{102 * 10^{-6}}$$

$$P_{cr} = 10\,625 \text{ N}$$

$$n = \frac{P_{cr}}{P}$$

Donde:

n : Factor de seguridad.

P_{cr} : Carga crítica.

P : Carga aplicada.

$$n = \frac{10\,625}{198.4}$$

$$n = 53.56$$

APÉNDICE B

– Fotos del prototipo

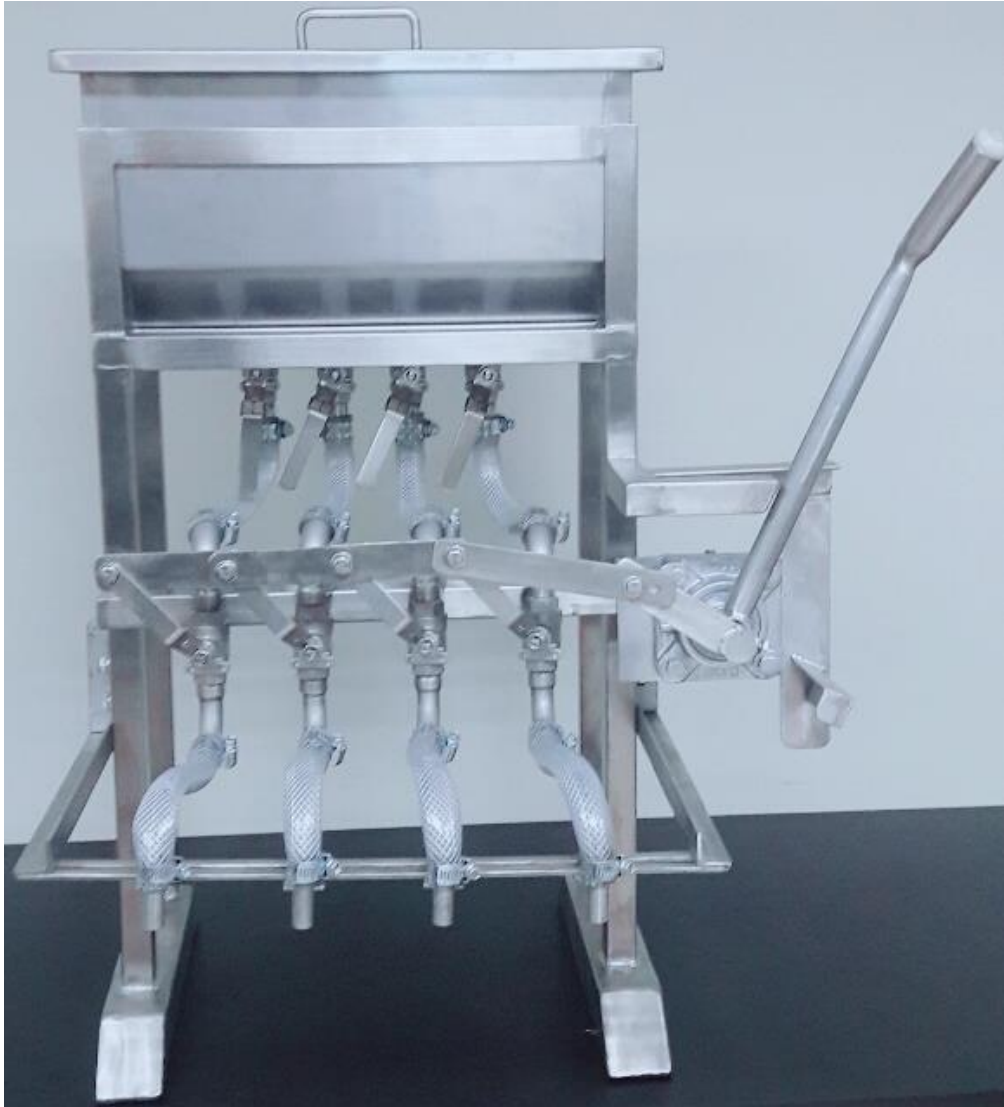


Figura 0.1 Vista frontal

Fuente: Elaboración propia.



Figura 0.2 Vista izquierda

Fuente: Elaboración propia.



Figura 0.3 Vista derecha

Fuente: Elaboración propia.



Figura 0.4 Altura nominal

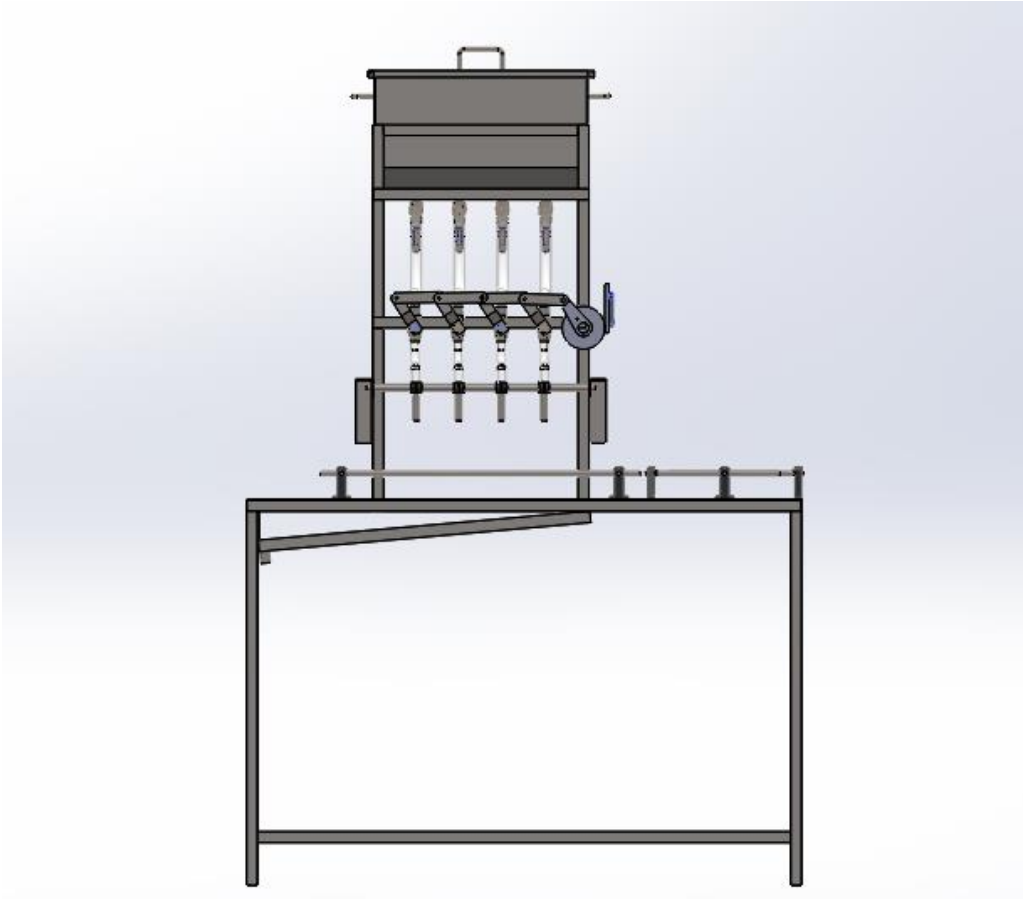
Fuente: Elaboración propia.

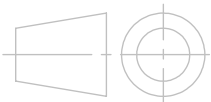
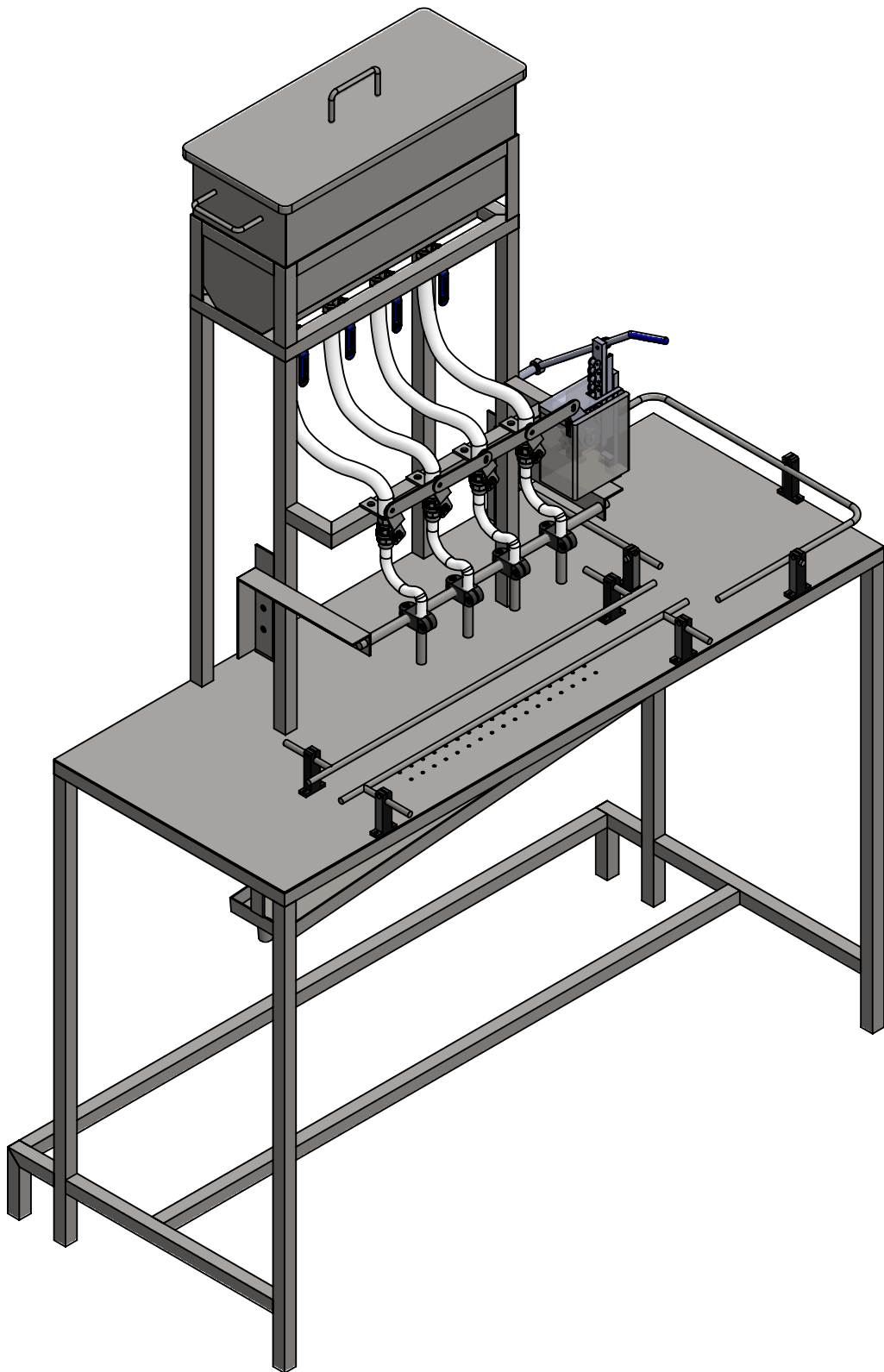


Figura 0.5 Ancho nominal

Fuente: Elaboración propia.

– Planos Esquemáticos





Título:	Envasadora	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

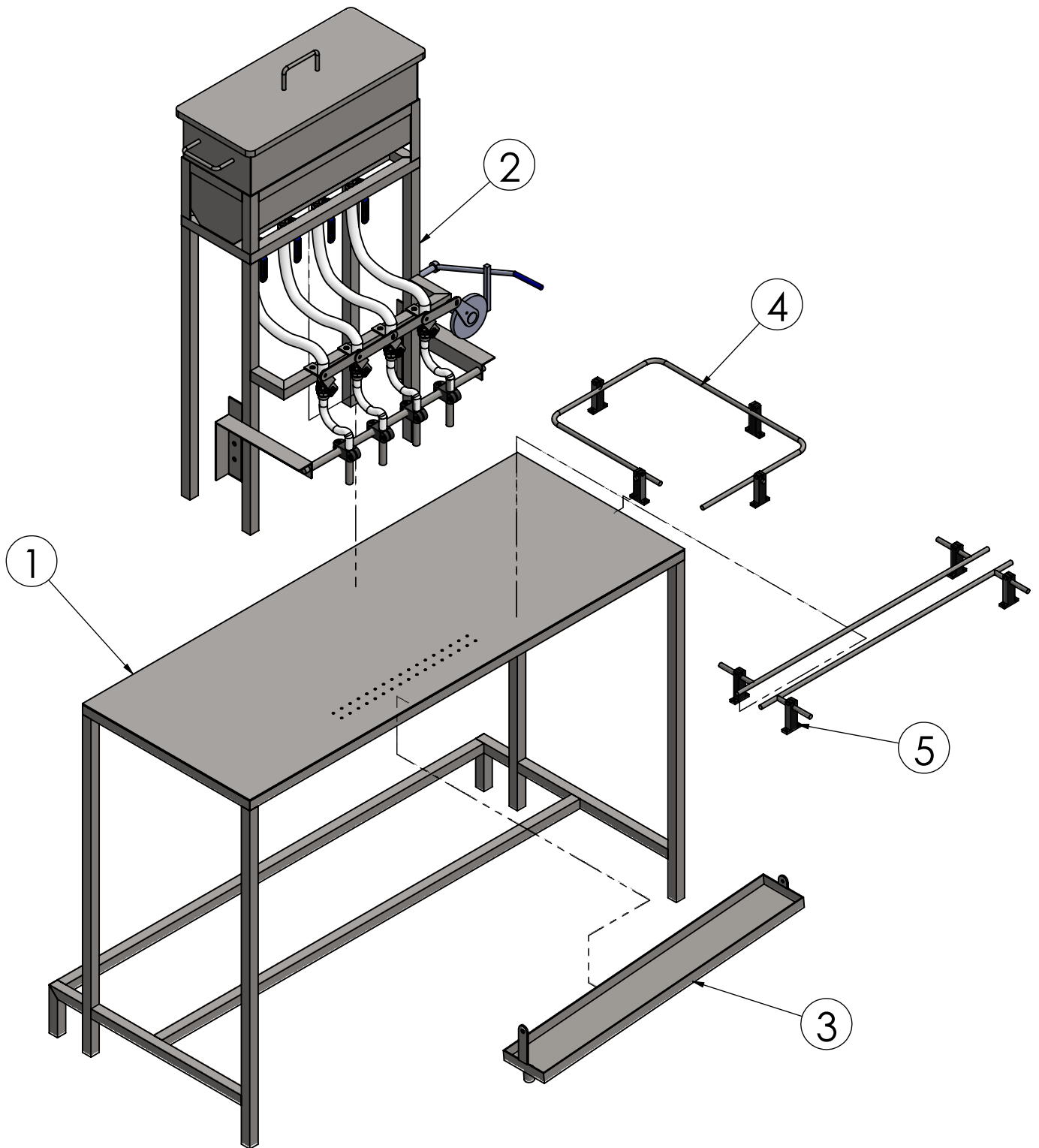
Escala:	1:10
---------	------

Material:
 AISI 304
 AISI 316

Envasadora de leche de soya

No.	1
-----	----------

1	Mesa
2	Conjunto de dosificación
3	Bandeja recolectora
4	Guía tipo rodeo
5	Guías lineales



Material:
Tubo cuadrado
25x25/ e=1.1
AISI 304

Título: Conjuntos de la envasadora
Dibujado por: Vanegas F. Mite J.
Aprobado por: Guadalupe V.

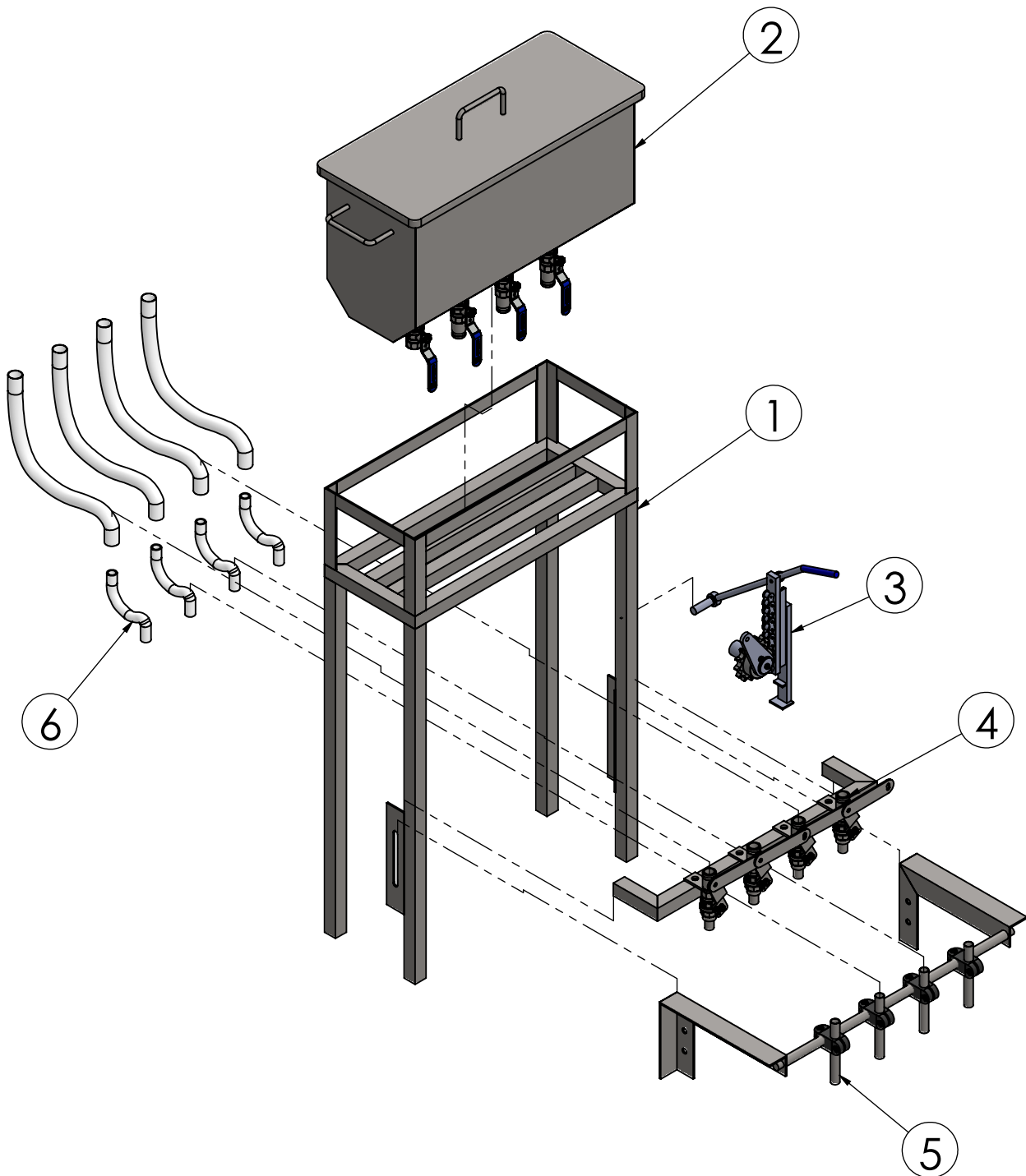
ESPOL

Escala: 1:10

Envasadora de leche de soya

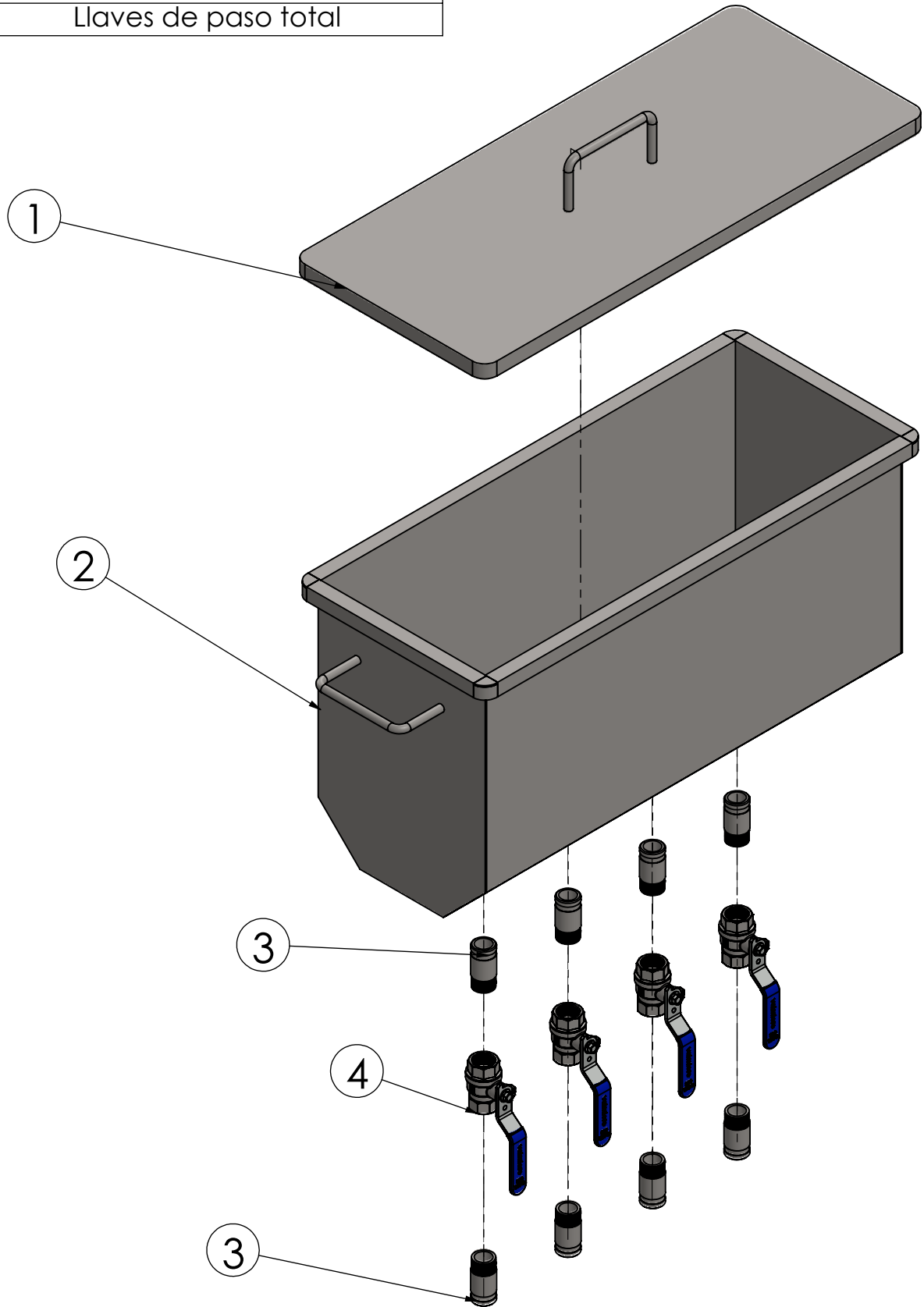
No. 2

1	Estructura
2	Conjunto del tanque de prellenado
3	Mecanismo abrir/cerrar válvulas
4	Conjunto de válvulas de paso total
5	Conjunto de boquillas dosificadoras
6	Manqueras



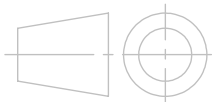
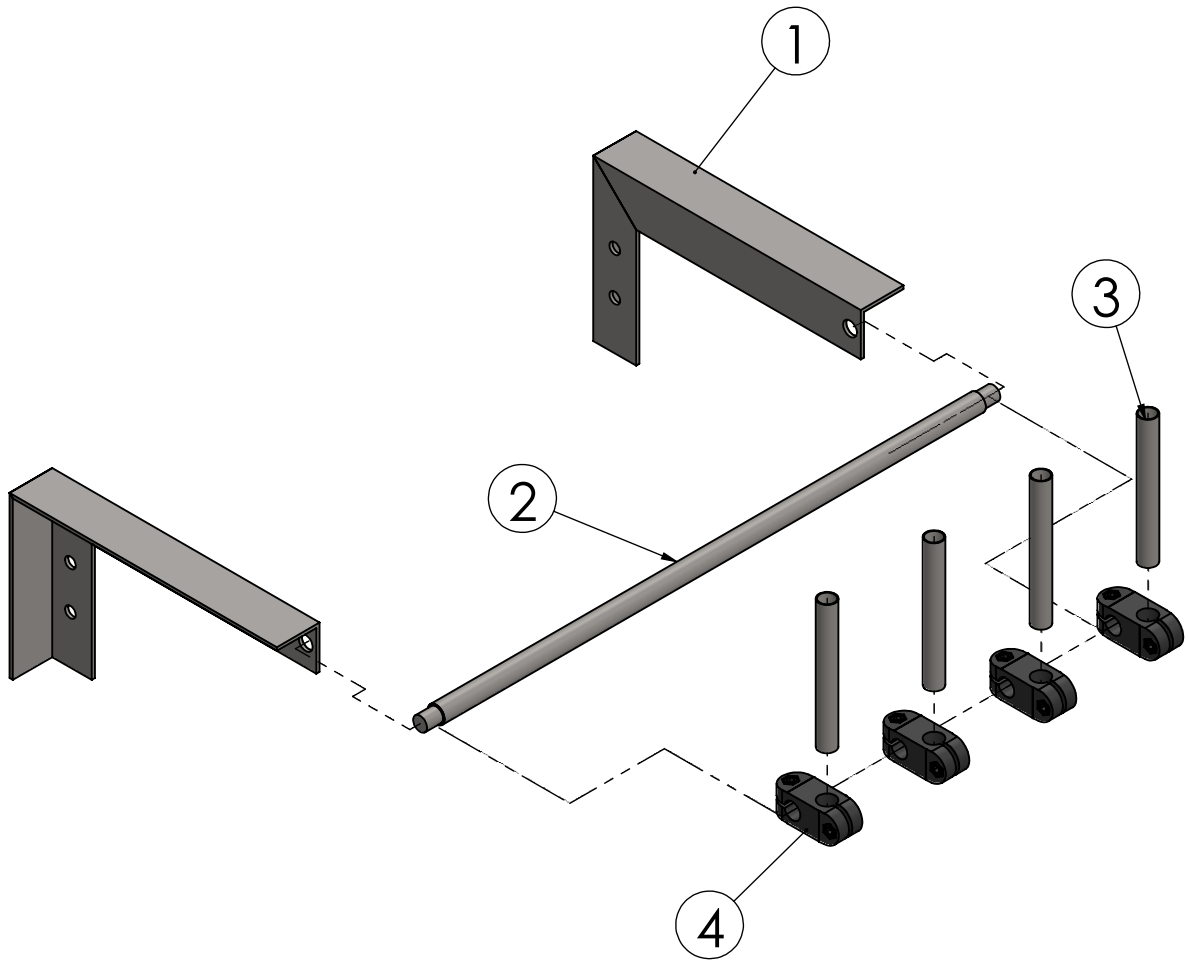
	Título:	Conjunto de dosificación		ESPOL	
	Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.		
Material:	Aprobado por:	Guadalupe V.	Escala:	1:10	No.
AISI 304 AISI 316	Envasadora de leche de soya				3

1	Tapa del tanque de prellenado
2	Tanque de prellenado
3	Boquillas de llave de paso total
4	Llaves de paso total



	Título:	Conjunto de tanque de prellenado		ESPOL	
	Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.		
Material:	Aprobado por:	Guadalupe V.	Escala:	1:5	No.
AISI 316 AISI 304	Envasadora de leche de soya				4

1	Soporte de boquillas dosificadoras
2	Eje de boquillas dosificadoras
3	Tubo dosificador
4	Accesorio



Material:
Tubo cuadrado
25x25/ e=1.1
AISI 304

Título:	Conjunto de boquillas dosificadoras	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

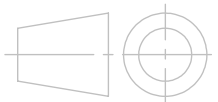
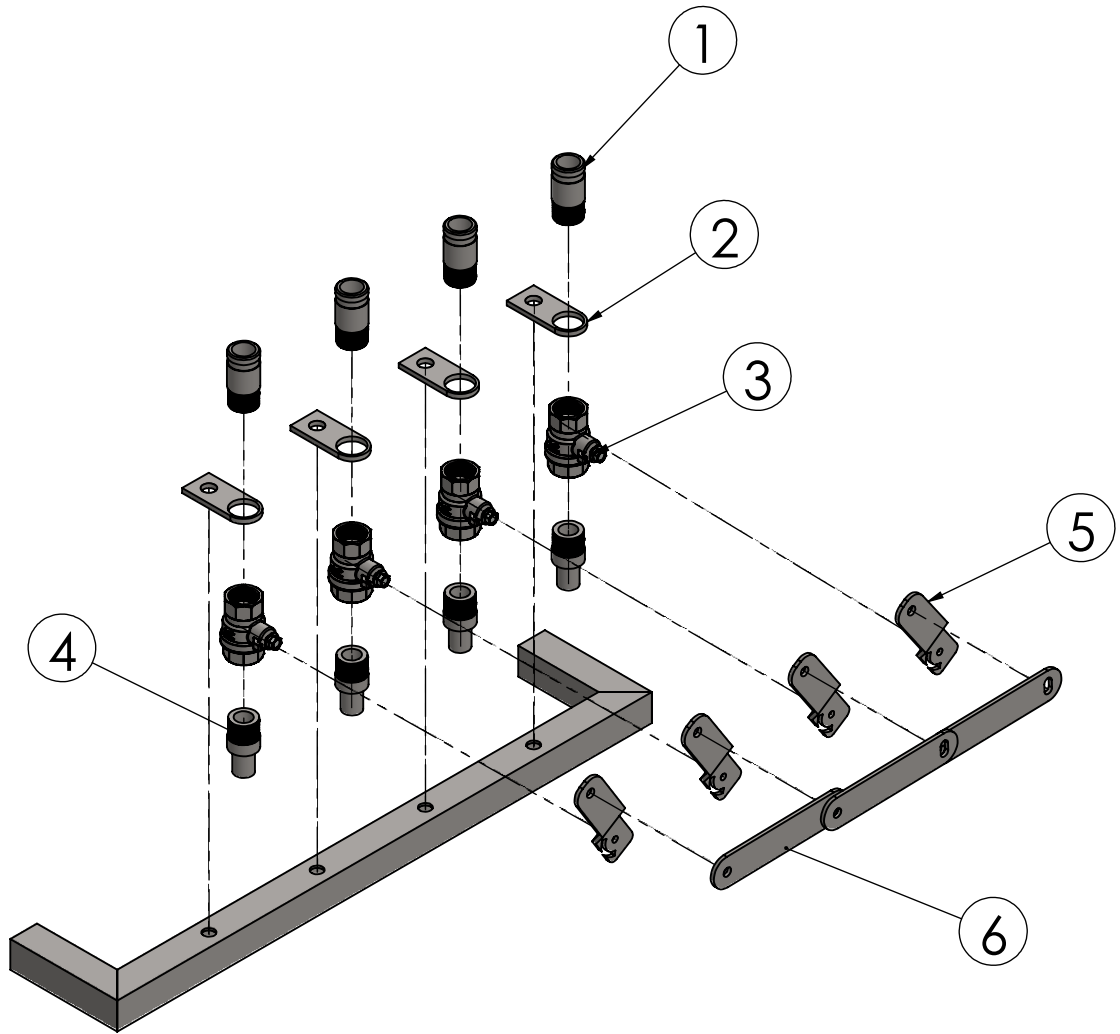
ESPOL

Escala: 1:5

Envasadora de leche de soya

No. **5**

1	Boquilla superior
2	Soporte válvulas paso total
3	Válvulas de paso total
4	Boquilla inferior
5	Soporte paara válvulas supeior
6	Manivela válvulas de paso total
7	Eslabones



Material:
Tubo cuadrado
25x25/ e=1.1
AISI 304

Título:	Conjunto de válvulas de paso total	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

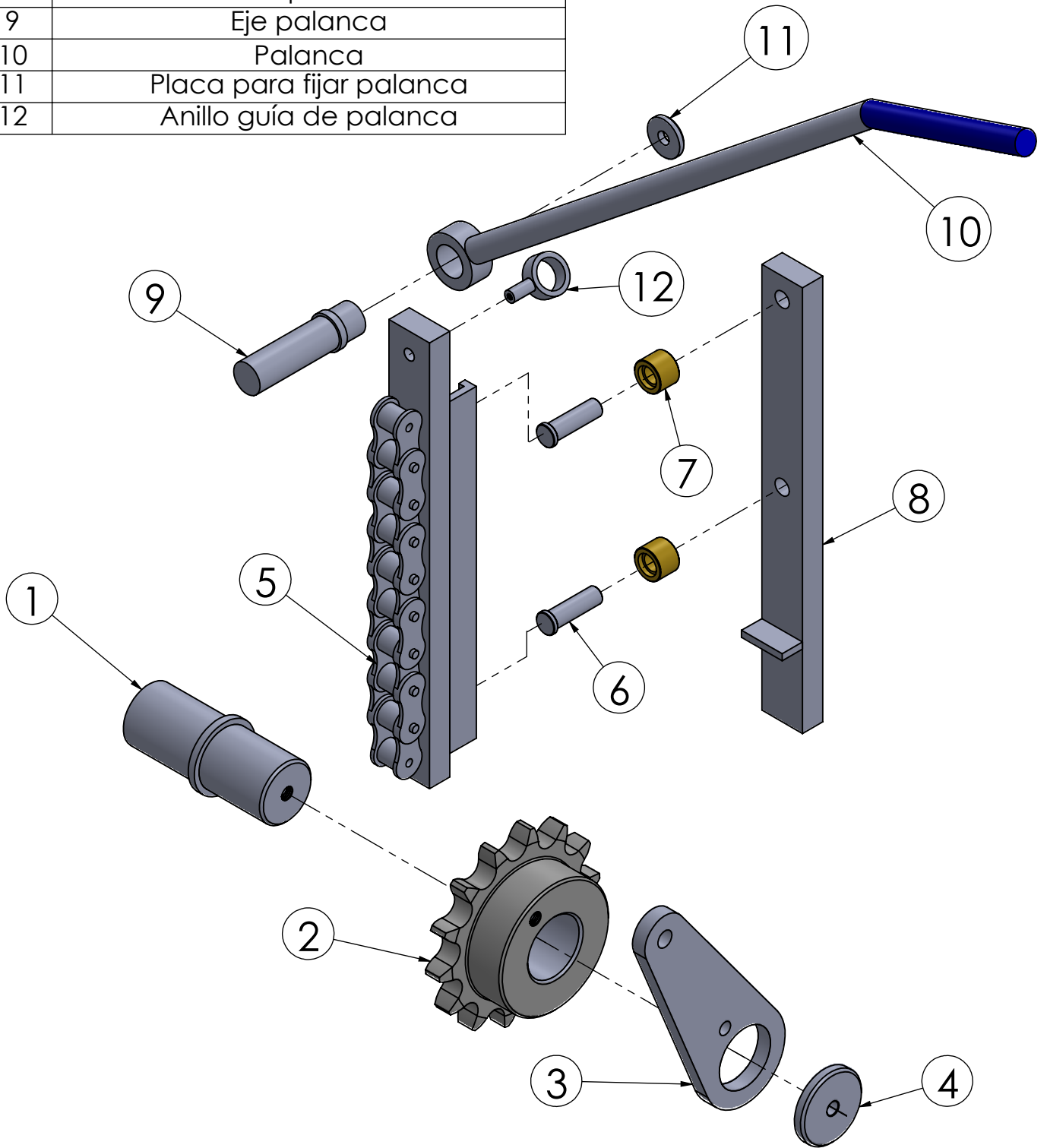
ESPOL

Escala: 1:10

Envasadora de leche de soya

No. **6**

1	Eje piñón
2	Piñón
3	Manivela
4	Placa para fijar biela
5	Cremallera
6	Eje bocín
7	bocín
8	Placa soporte bocín
9	Eje palanca
10	Palanca
11	Placa para fijar palanca
12	Anillo guía de palanca



Título: Conjunto mecanismo

Dibujado por: Vanegas F. Mite J.

Aprobado por: Guadalupe V.

ESPOL

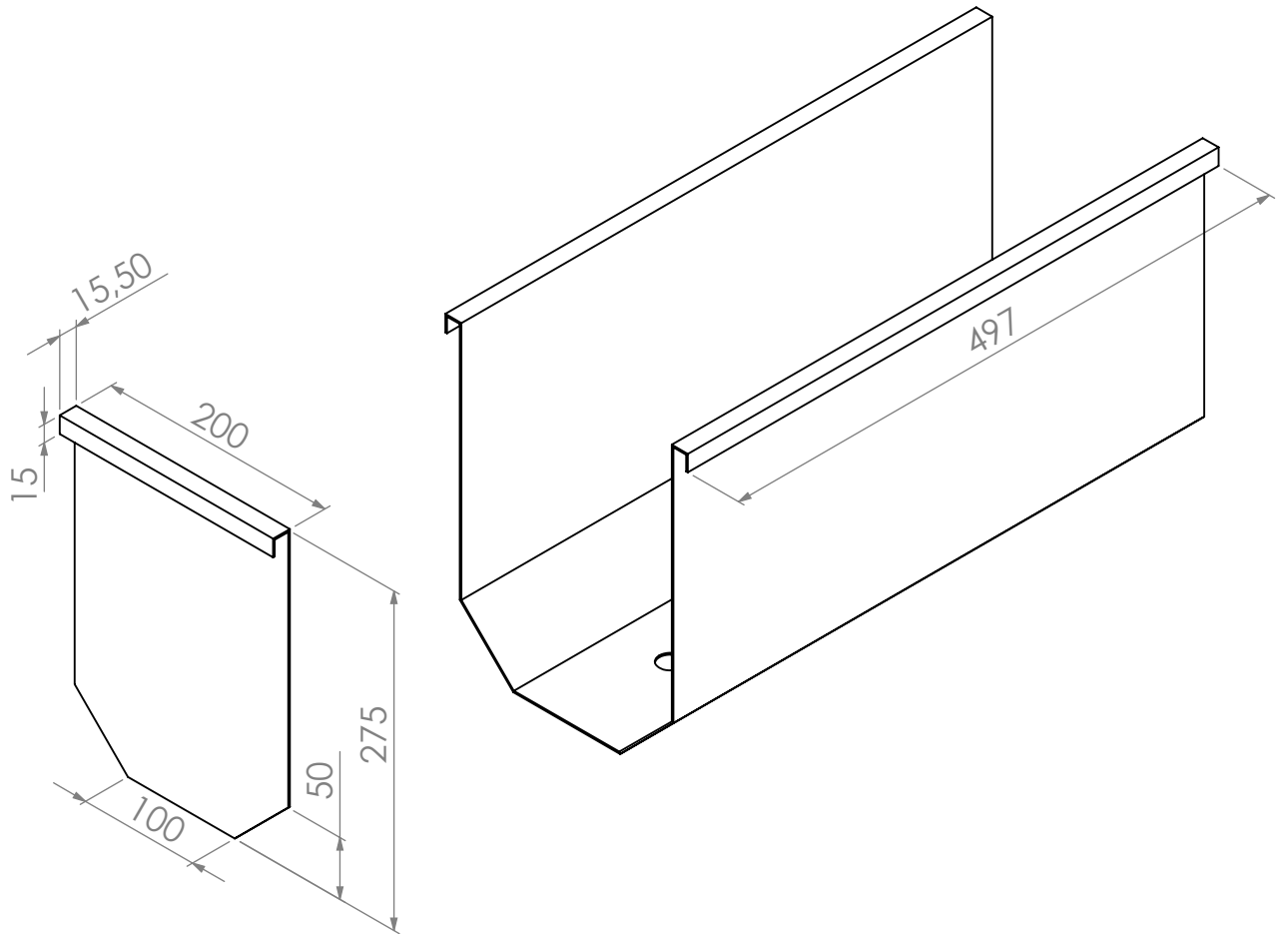
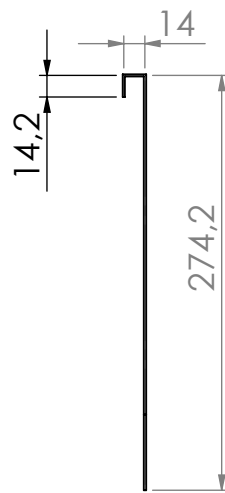
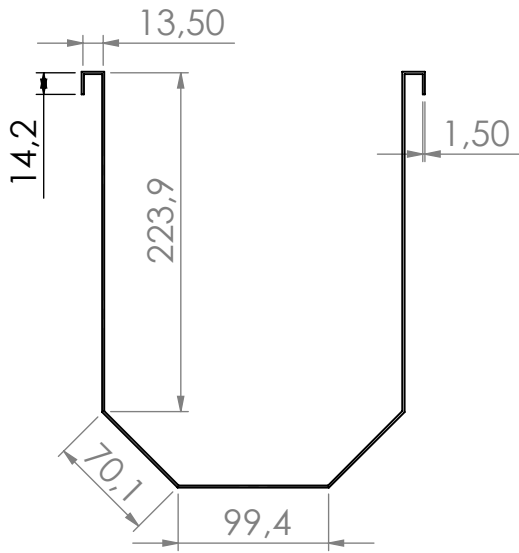
Escala: 1:2

Material:

AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **7**



Tema:	Tanque de prellenado	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

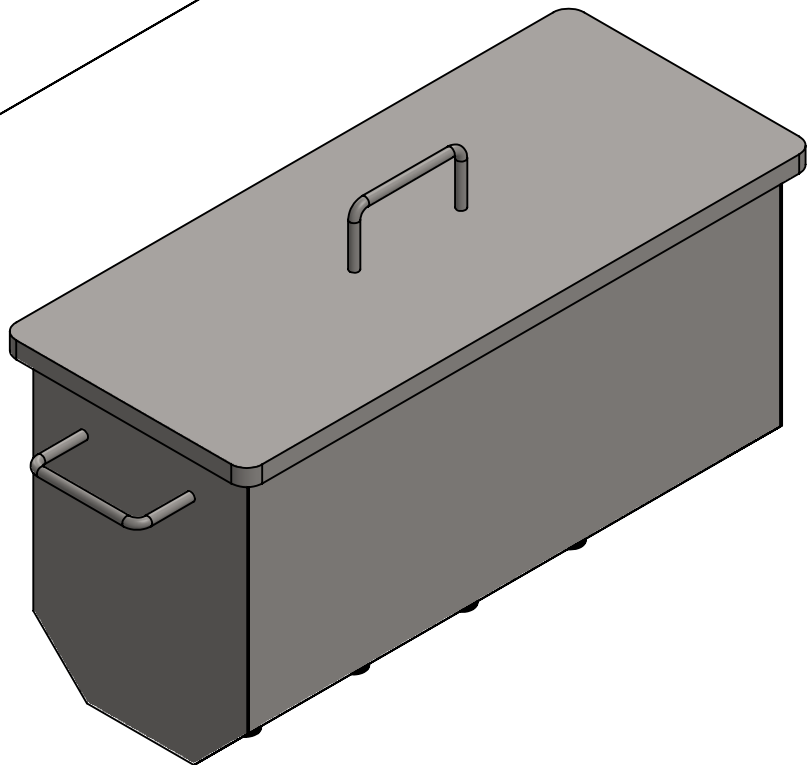
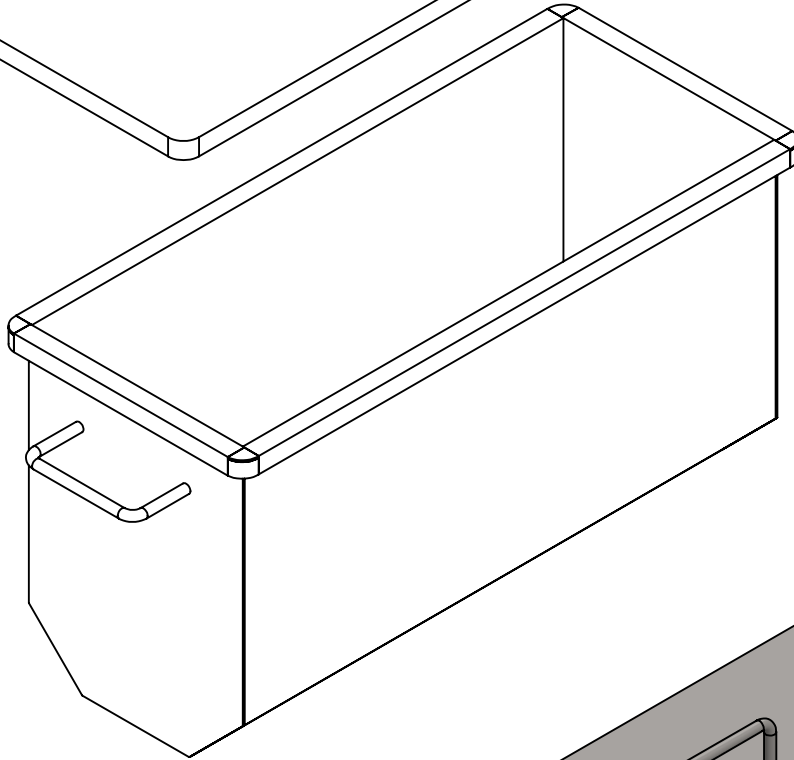
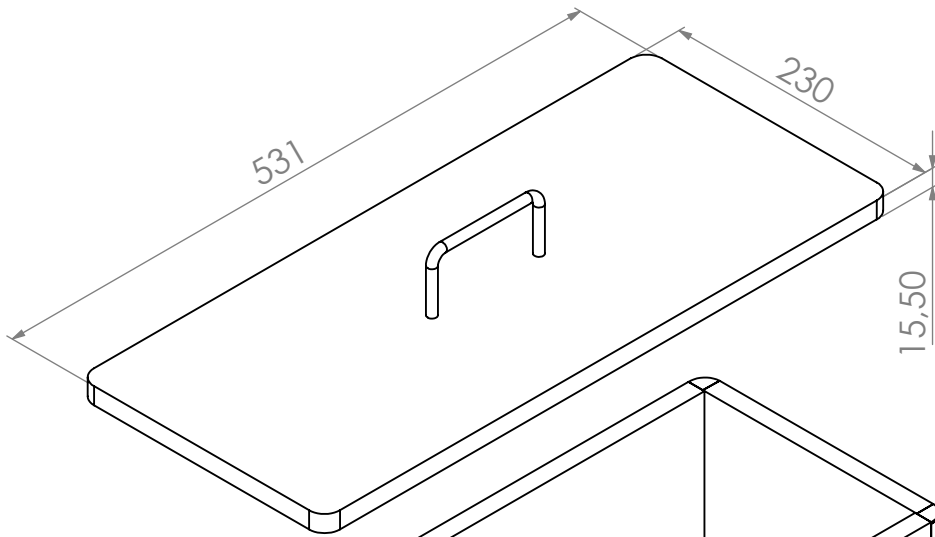
ESPOL

Escala: 1:5

Material:
Plancha
e= 2 mm
AISI 316

Envasadora de leche de soya

No. **8**



Tema:	Tanque de prellenado	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

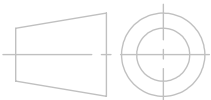
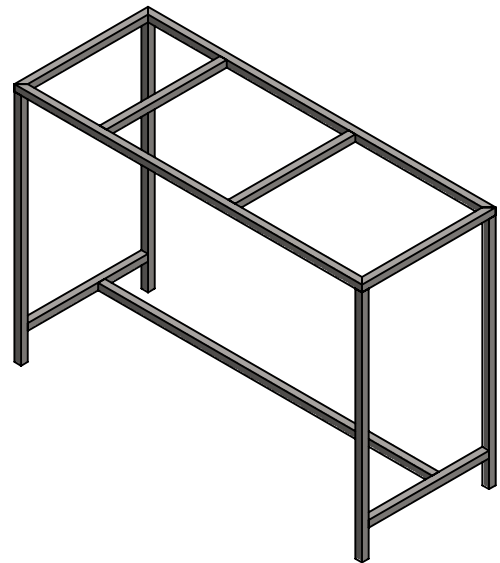
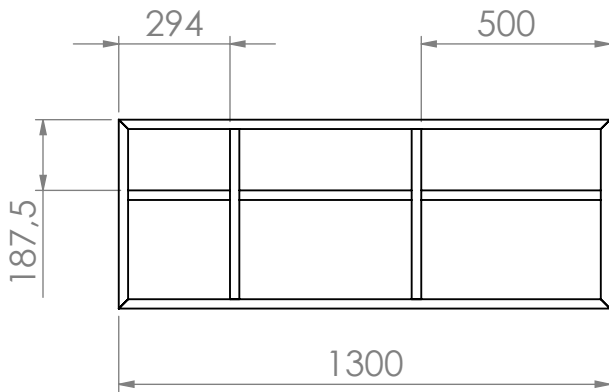
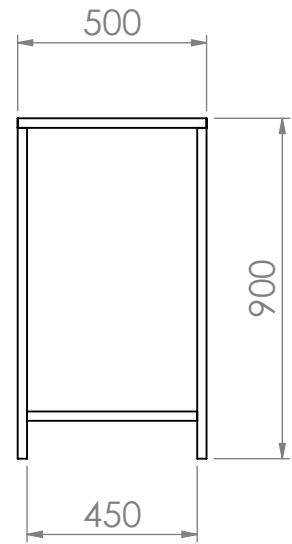
Escala: 1:5

Material:
Plancha
e= 2 mm
AISI 316

Invasadora de leche de soya

No.

9



Título:	Mesa
Dibujado por:	Vanegas F. Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.

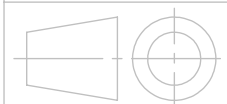
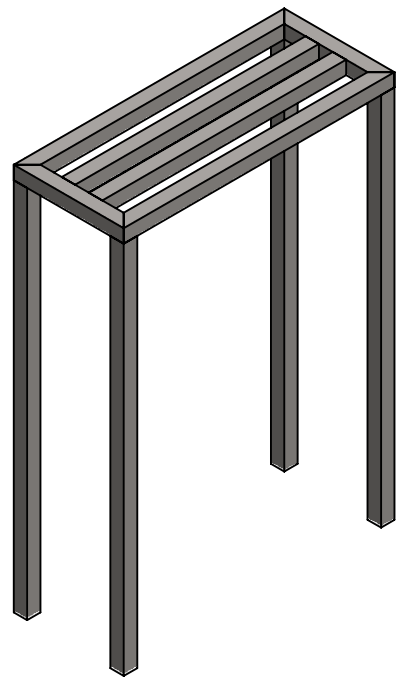
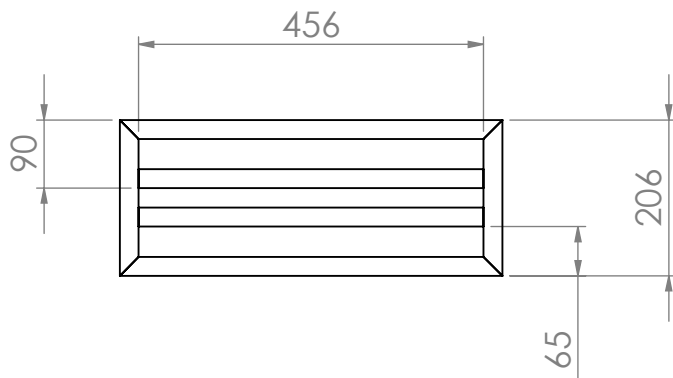
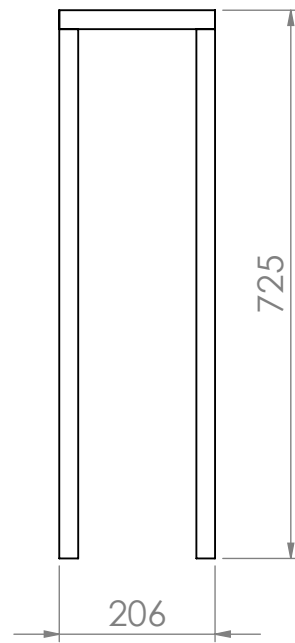
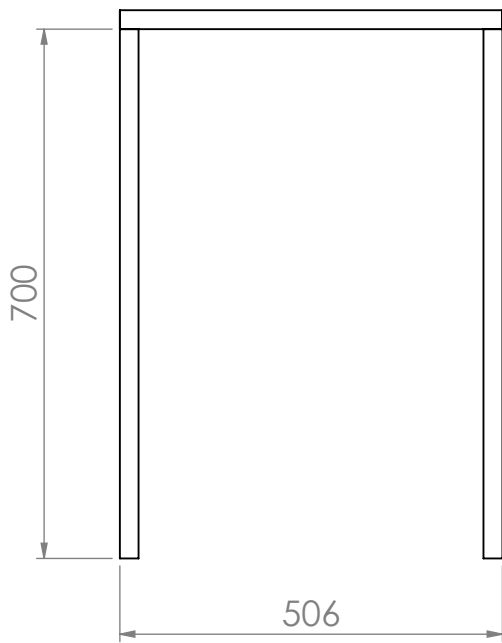
ESPOL

Escala: 1:20

Material:
Tubo cuadrado
25x25/ e=1.1
AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **10**



Material:
Tubo cuadrado
25x25/ e=1.1
AISI 304

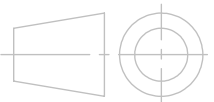
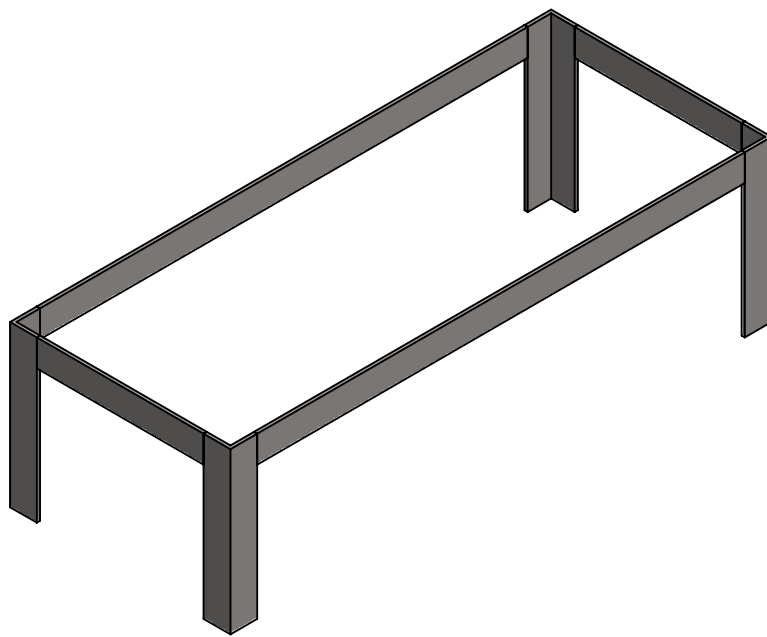
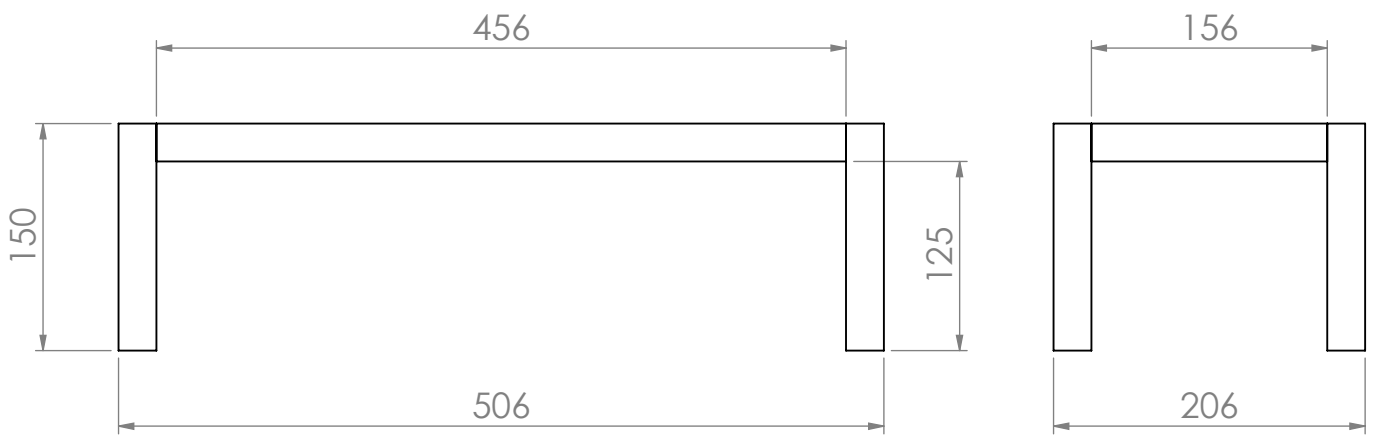
Título:	Soporte de tanque de prellenado	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

Escala: 1:10

Envasadora de leche de soya

No. **11**



Material:
Platina e=3
Tubo 25x25 e=1.1
AISI 304

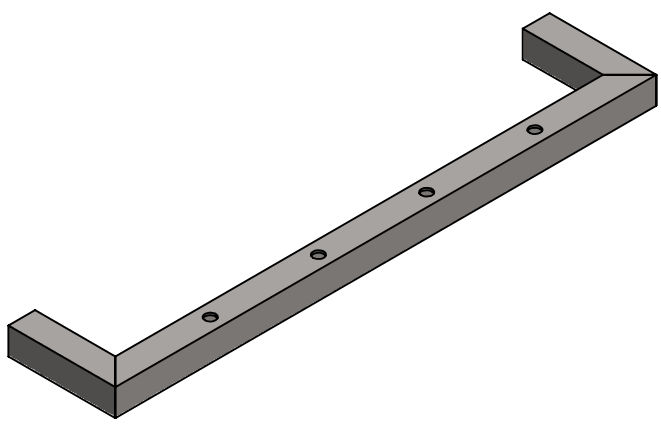
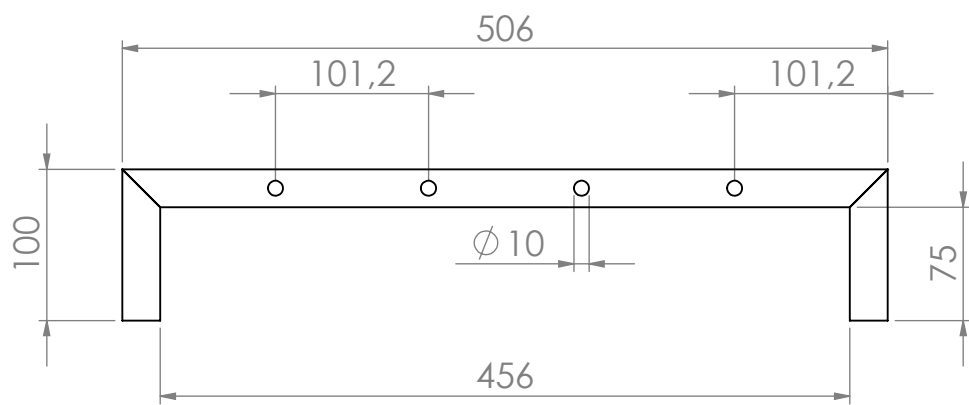
Título:	Guías tanque de prellenado	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

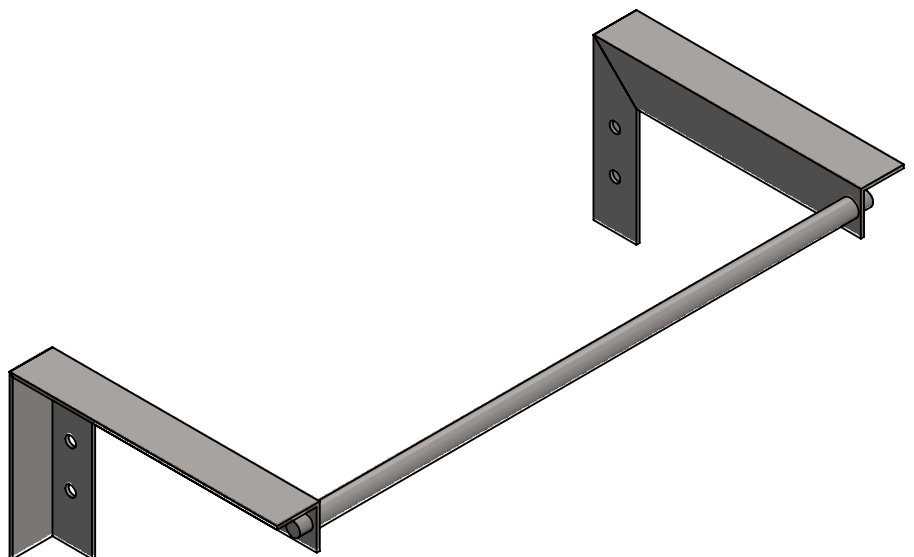
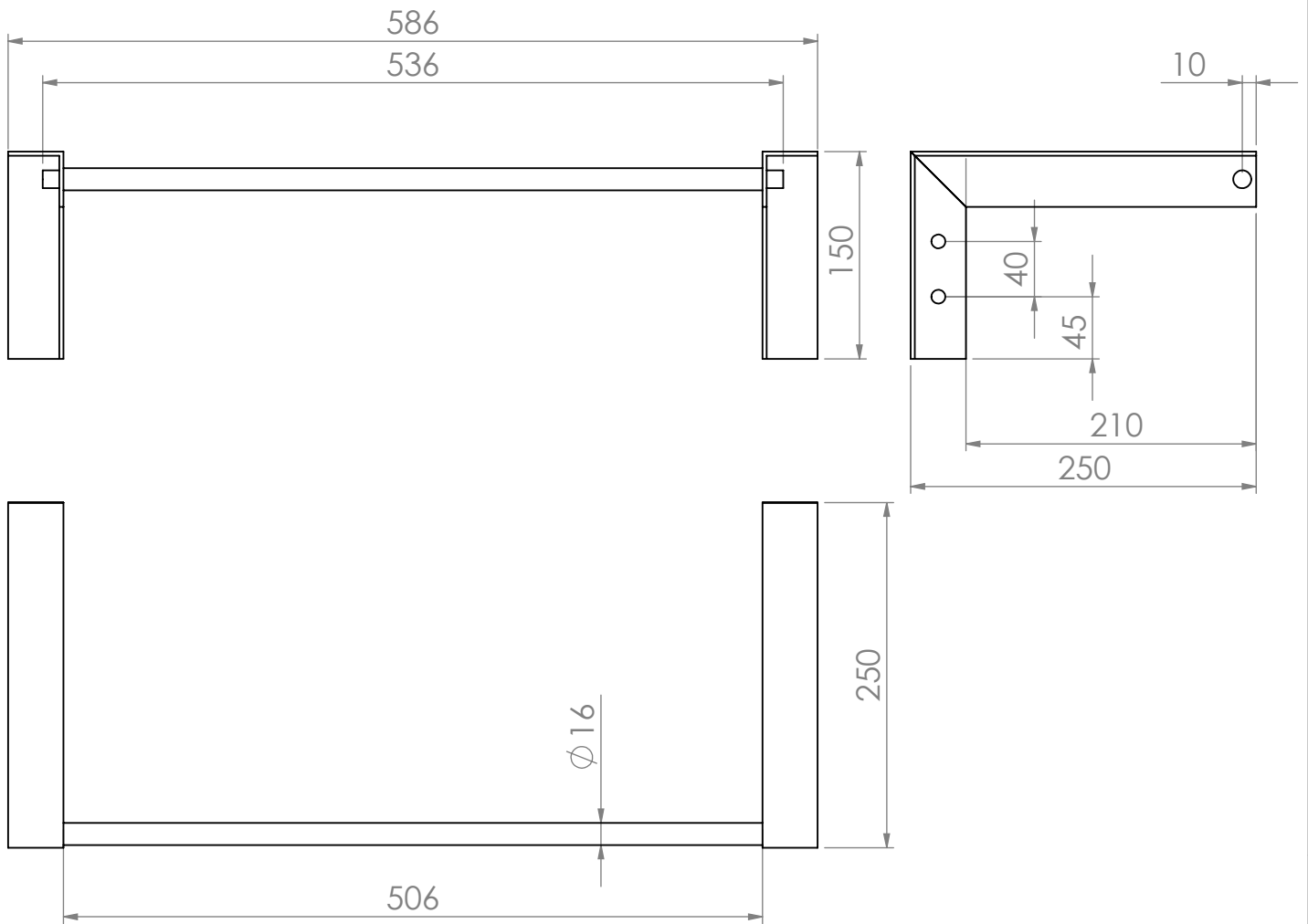
Escala: 1:5

Envasadora de leche de soya

No. **12**



	Título:	Soporte de válvulas superior		ESPOL	
	Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.		
Material: Tubo cuadrado 25x25/ e=1.1 AISI 304	Aprobado por:	Guadalupe V.		Escala:	1:5
Envasadora de leche de soya					No. 13



Material:
 Ángulo
 25x25/ e=3
 AISI 304

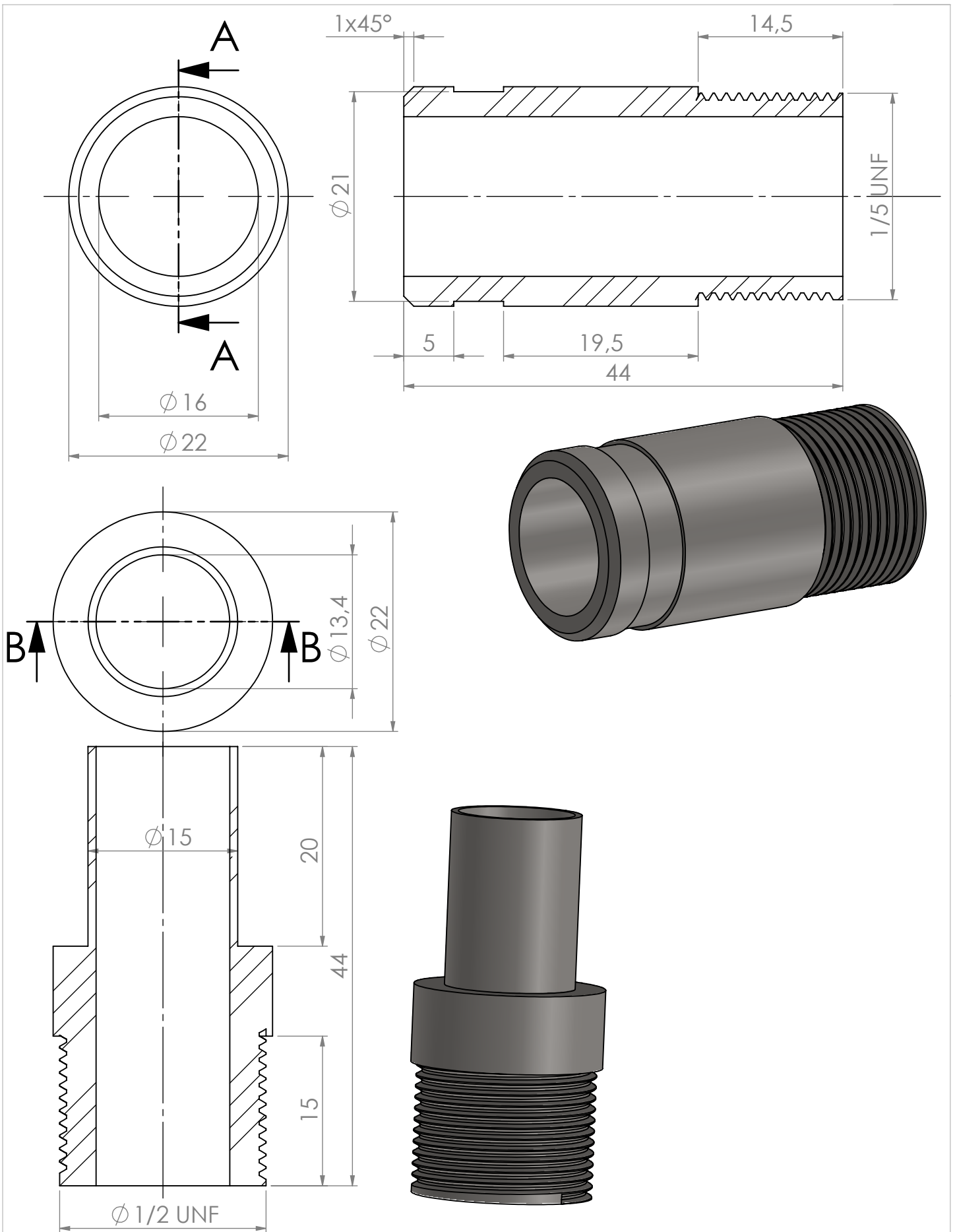
Título:	Soporte de válvulas inferior	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

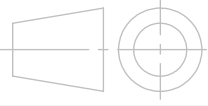
ESPOL

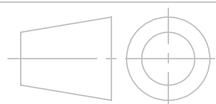
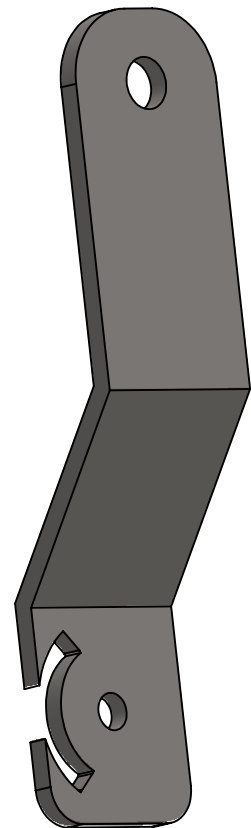
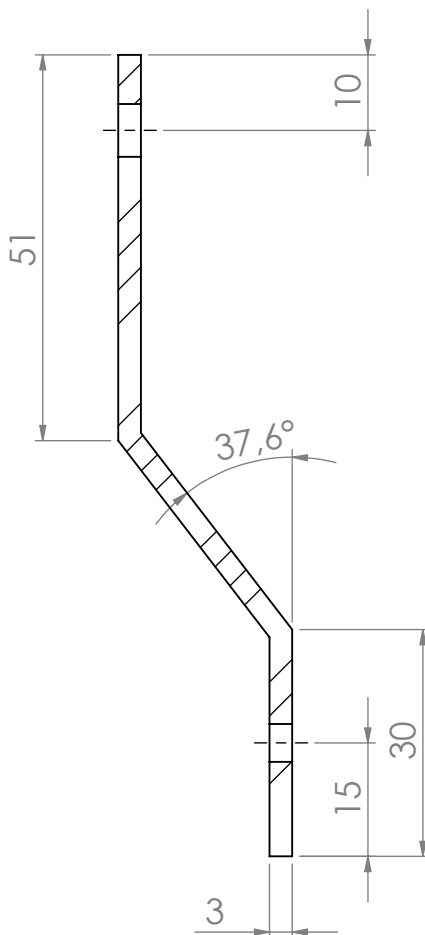
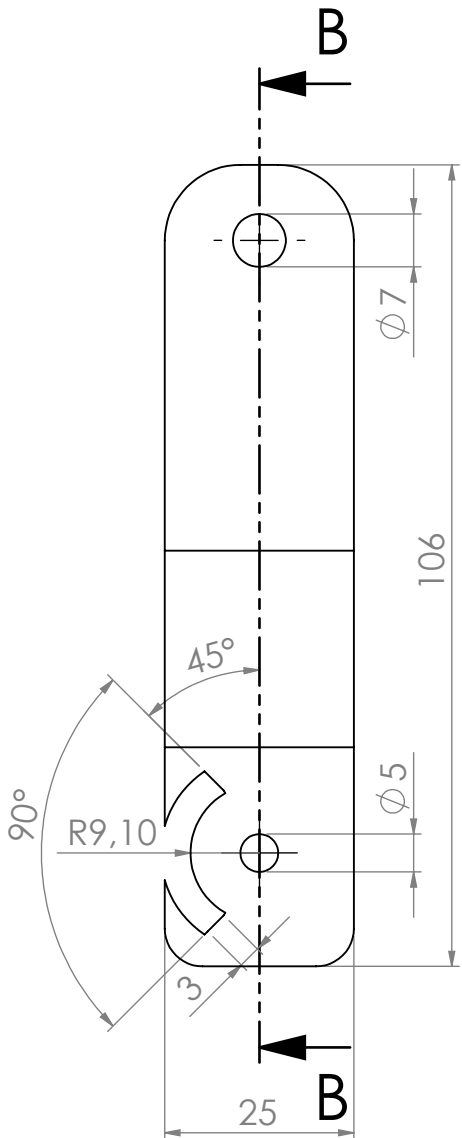
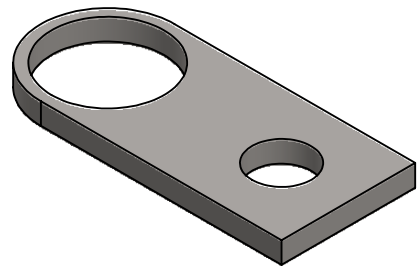
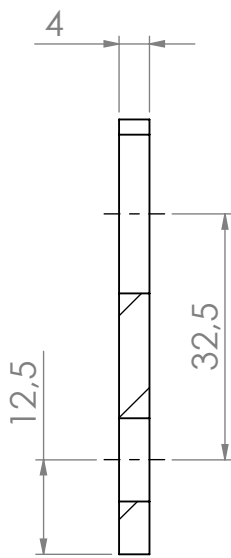
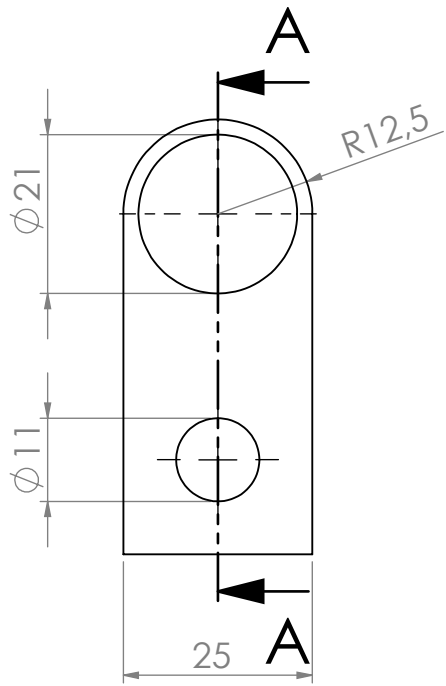
Escala: 1:5

Envasadora de leche de soya

No. **14**



	Título:	Boquillas de llave de paso total		ESPOL	
	Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.		
Material:	Aprobado por:	Guadalupe V.	Escala:	2:1	
AISI 304	Envasadora de leche de soya				No. 15



Título:	Accesorios válvulas de paso total	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

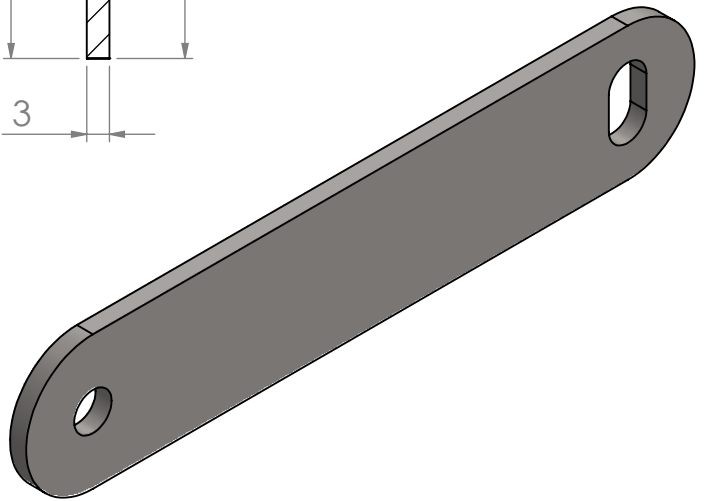
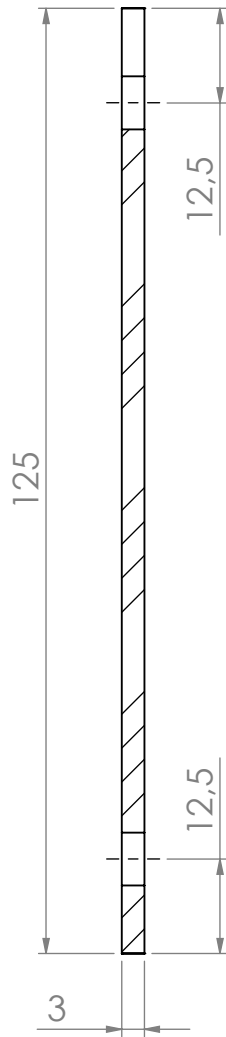
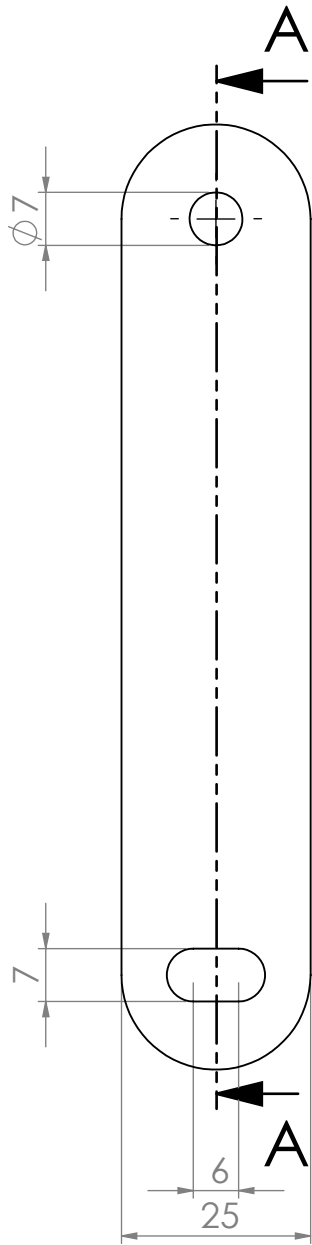
ESPOL

Escala: 1:1

Material:
AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **16**



Título:	Eslabón conector de válvulas	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

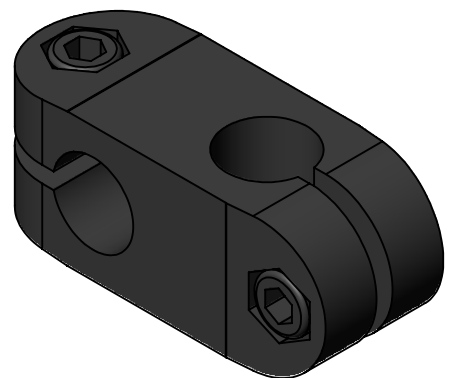
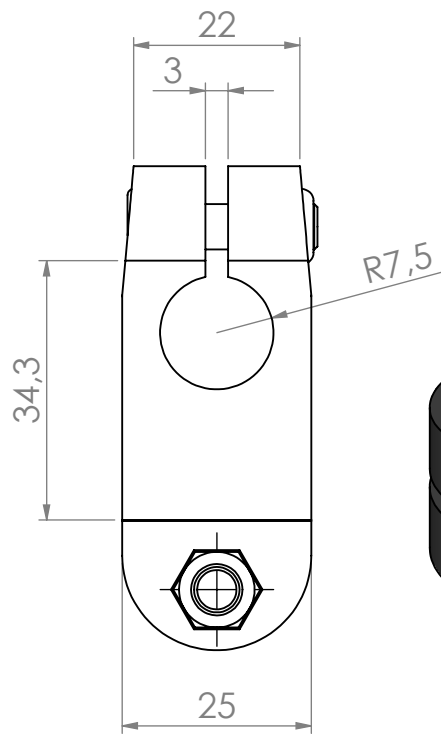
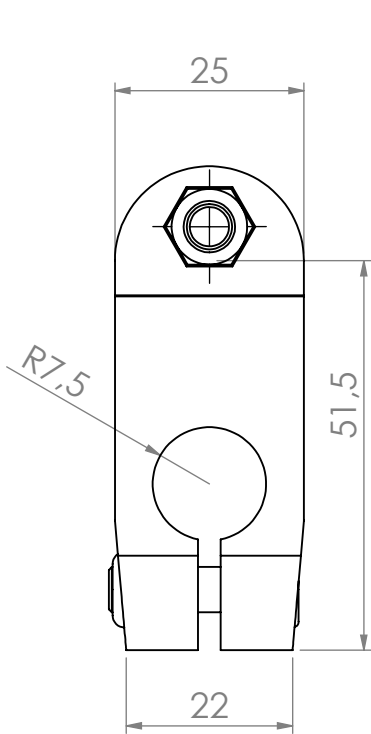
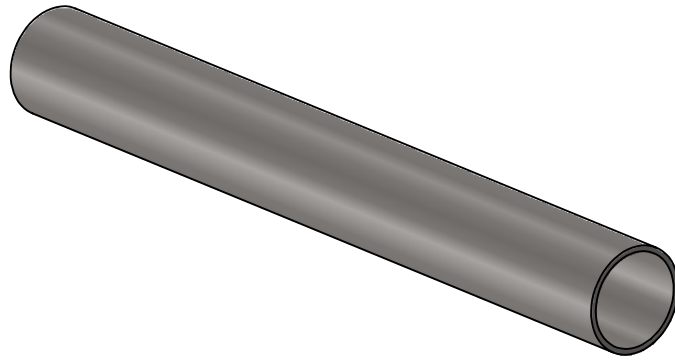
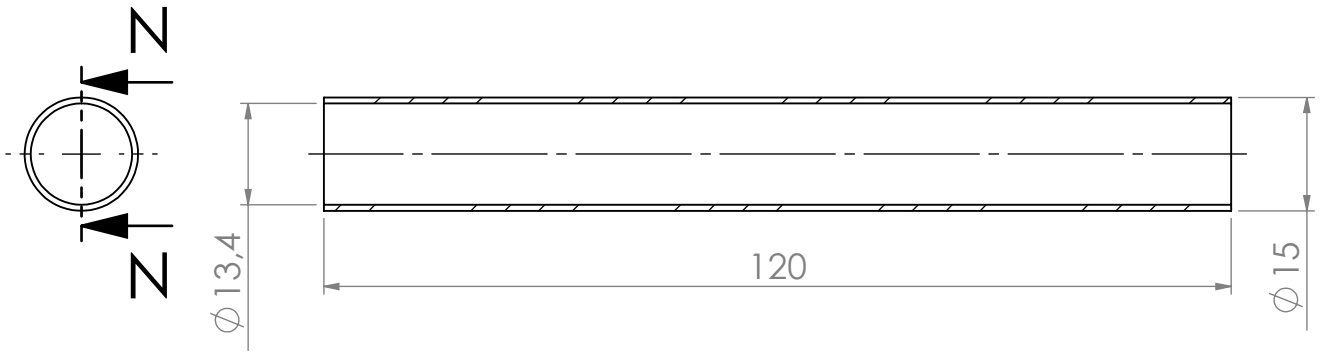
ESPOL

Escala: 1:1

Material:
Platina
25/ e=1.1
AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **17**



Título: Accesorios de válvulas de llenado
 Dibujado por: Vanegas F. Mite J.
 Aprobado por: Guadalupe V.

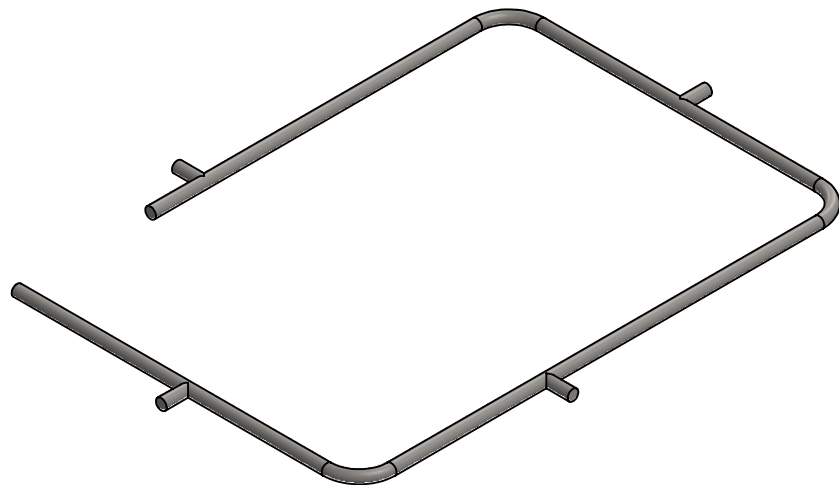
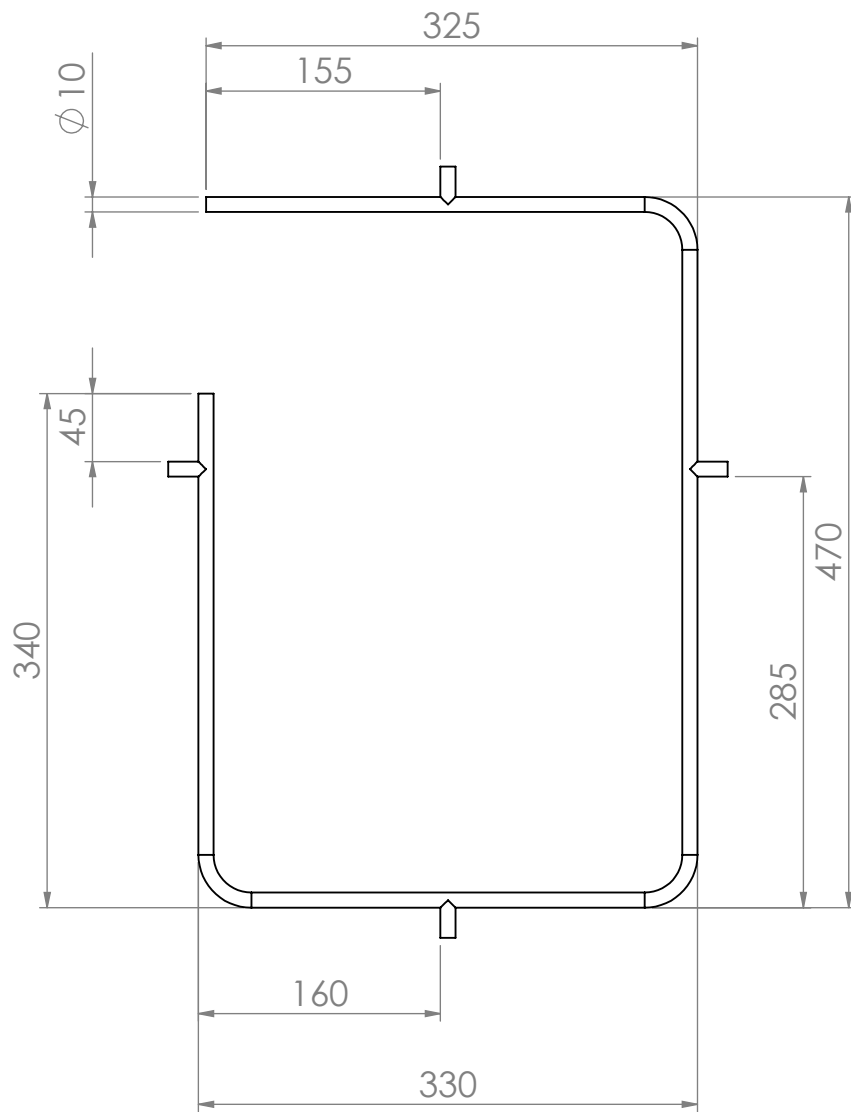
ESPOL

Escala: 1:1

Material:
 Tubo
 AISI 316

Envasadora de leche de soya

No. **18**



Material:
Eje Diámetro
10 mm
AISI 304

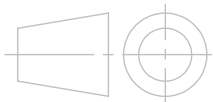
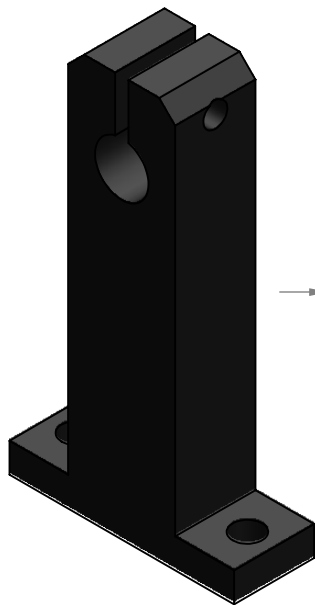
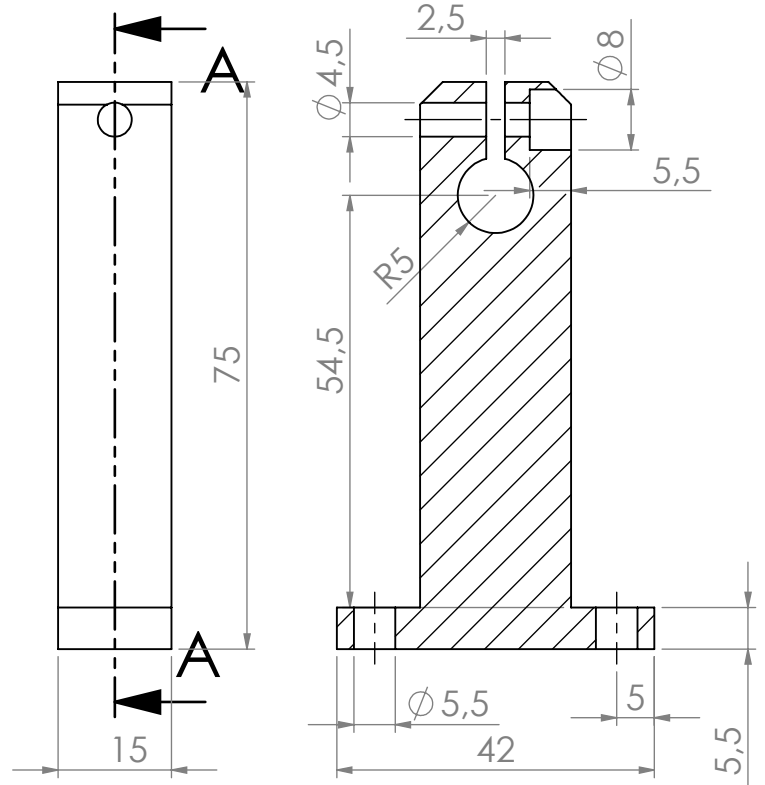
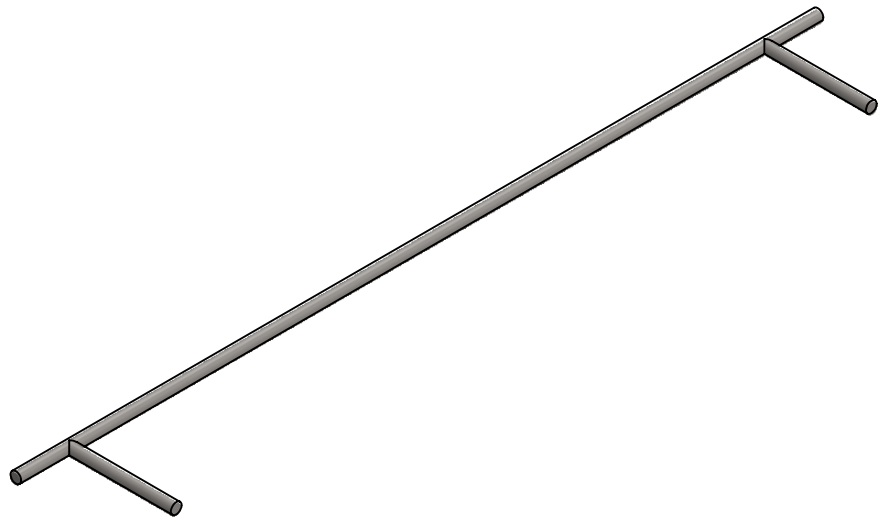
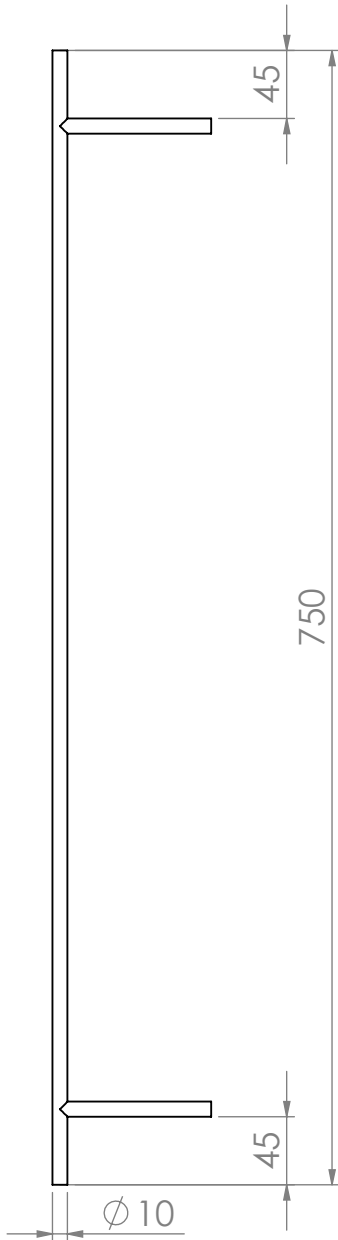
Título:	Guía circular	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

Escala: 1:5

Envasadora de leche de soya

No. **19**



Material:
Eje diámetro
10 mm
AISI 304

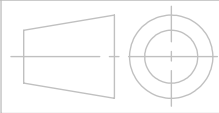
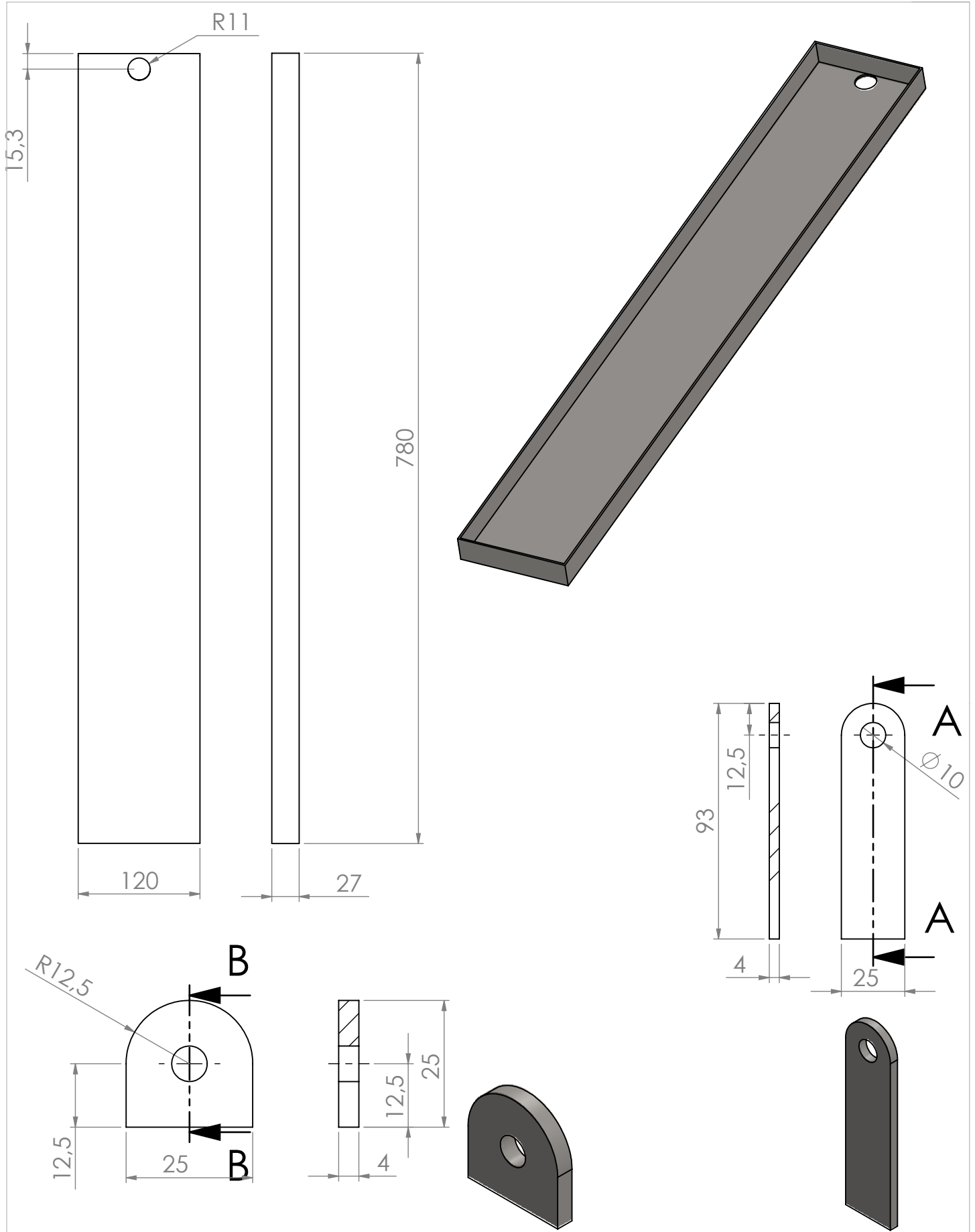
Título: Guía lineal - Soporte de guías
Dibujado por: Vanegas F. Mite J.
Aprobado por: Guadalupe V.

ESPOL

Escala: NA

Envasadora de leche de soya

No. 20



Título:	Bandeja recolectora	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

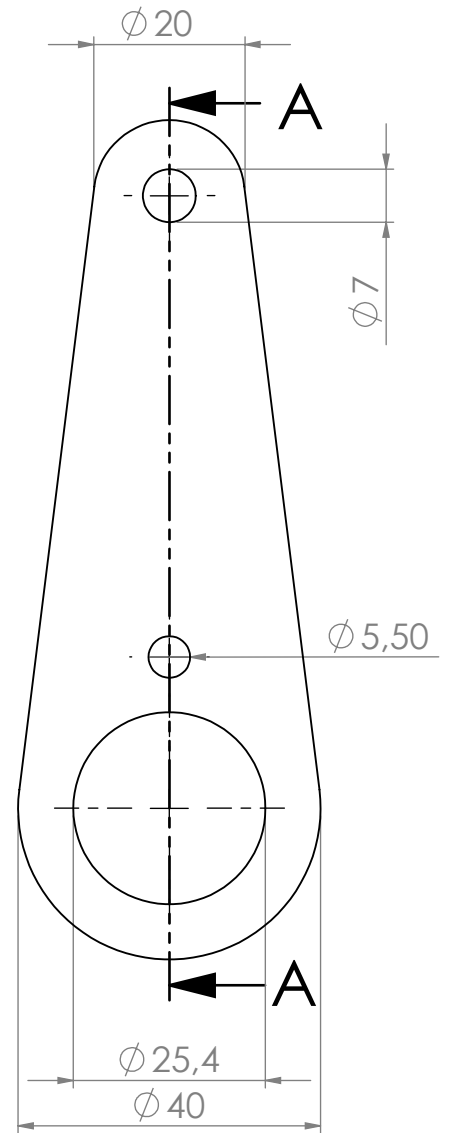
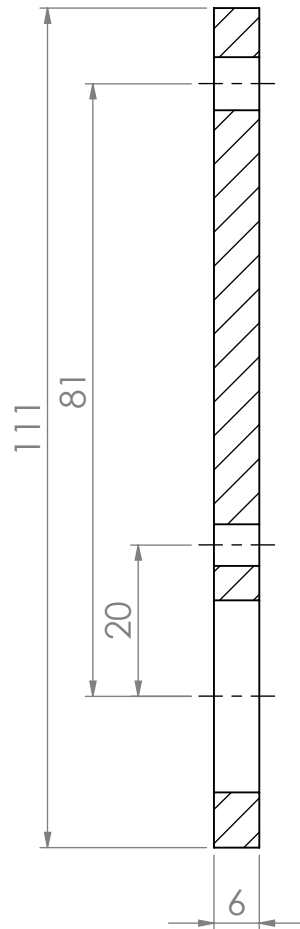
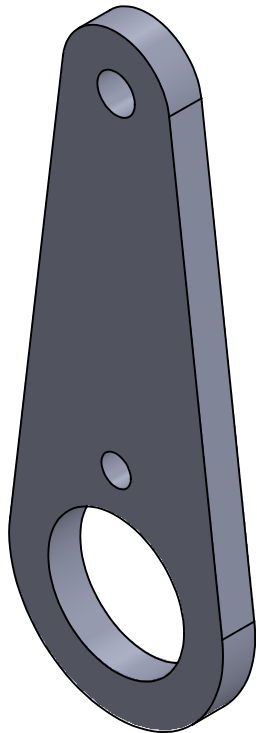
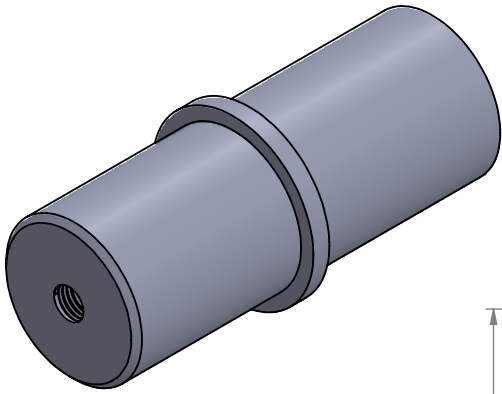
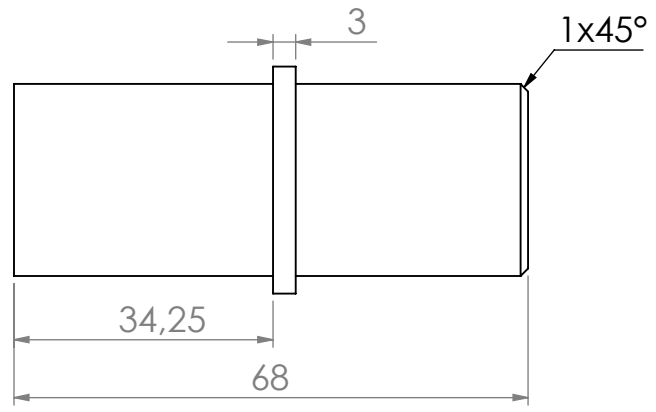
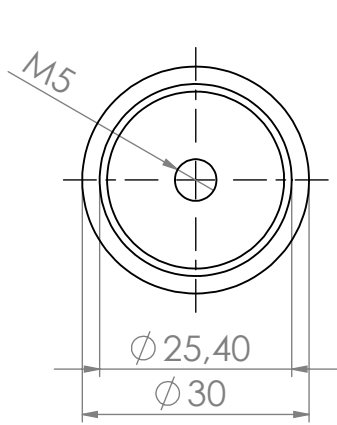
ESPOL

Escala: NA

Material:
Plancha
e= 2 mm
AISI 316

Envasadora de leche de soya

No. **21**



Título: Eje piñón - Manivela
 Dibujado por: Vanegas F. Mite J.
 Aprobado por: Guadalupe V.

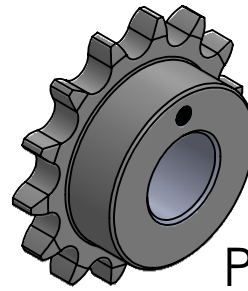
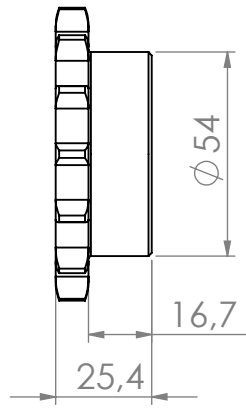
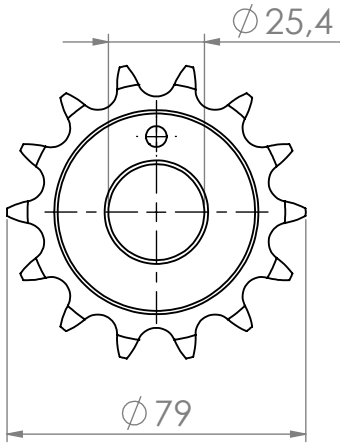
ESPOL

Escala: 1:1

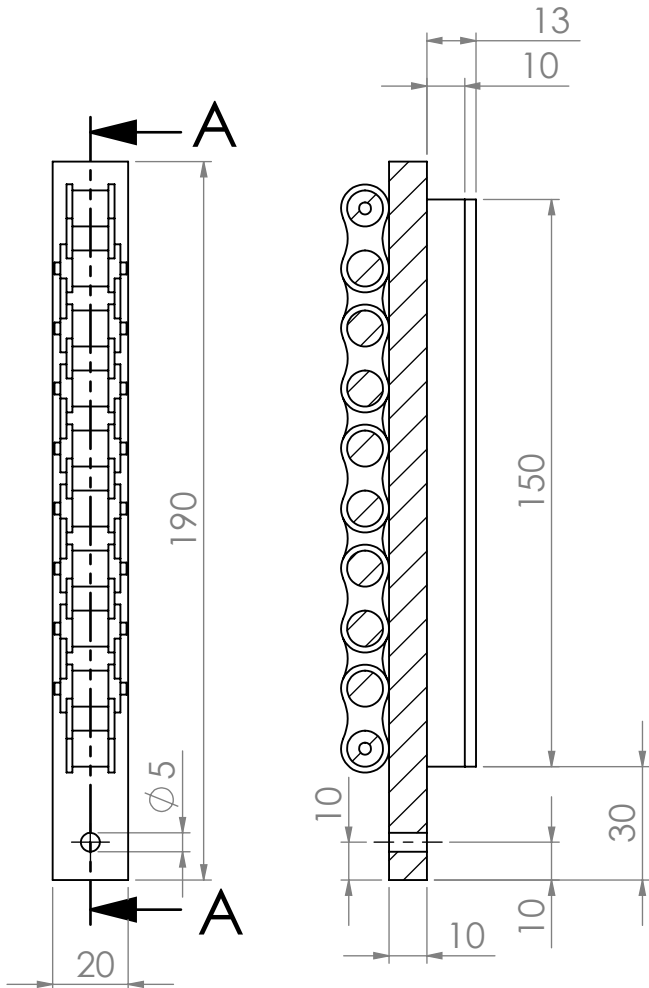
Material:
 AISI 304

Envasadora de leche de soya

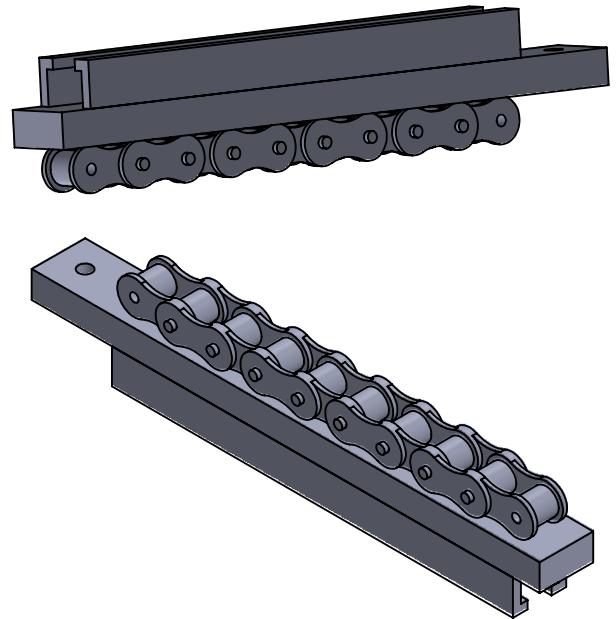
No. **22**



Piñón: 50B14
 Paso:50
 #Dientes:14



Cadena:
 Paso: 0.625 in



Material:
 AISI 304

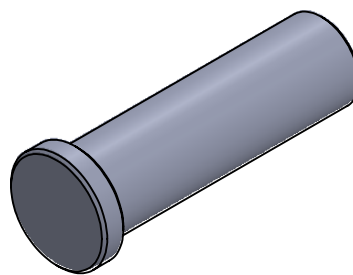
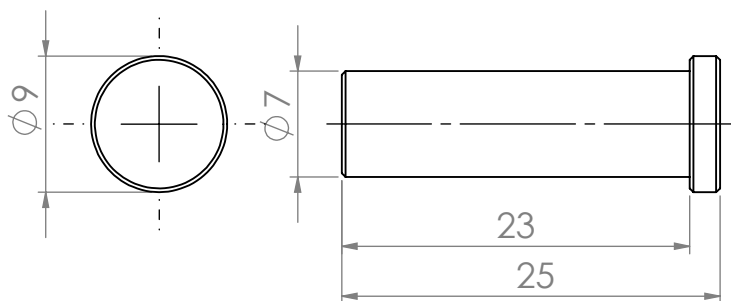
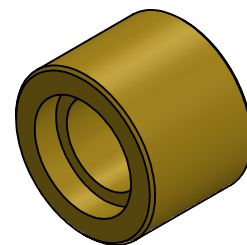
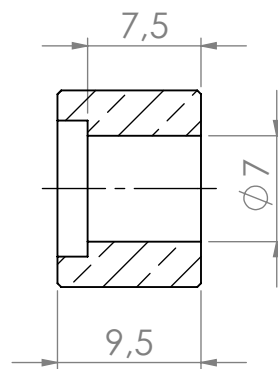
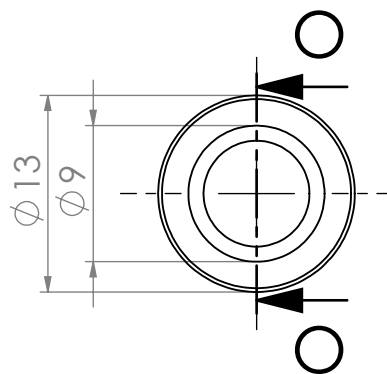
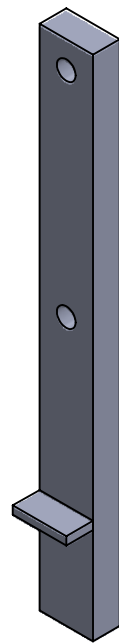
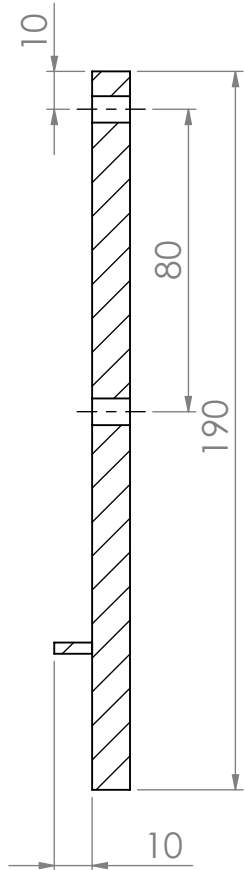
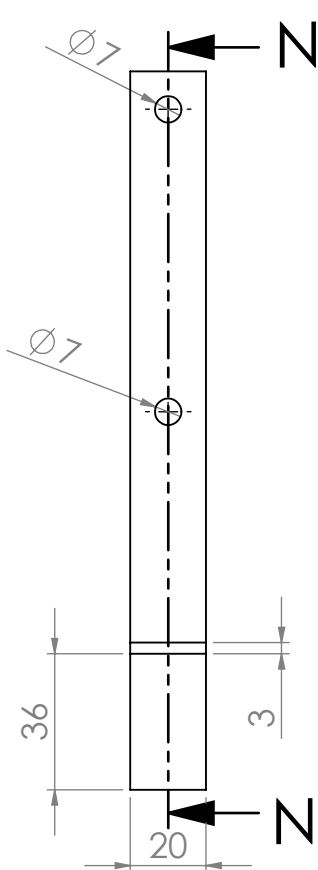
Título: Piñón - Cremallera
 Dibujado por: Vanegas F. Mite J.
 Aprobado por: Guadalupe V.

ESPOL

Escala: 1:2

Envasadora de leche de soya

No. 23



Título:	Placa soporte bocín - Bocín - Eje	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

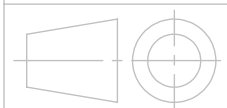
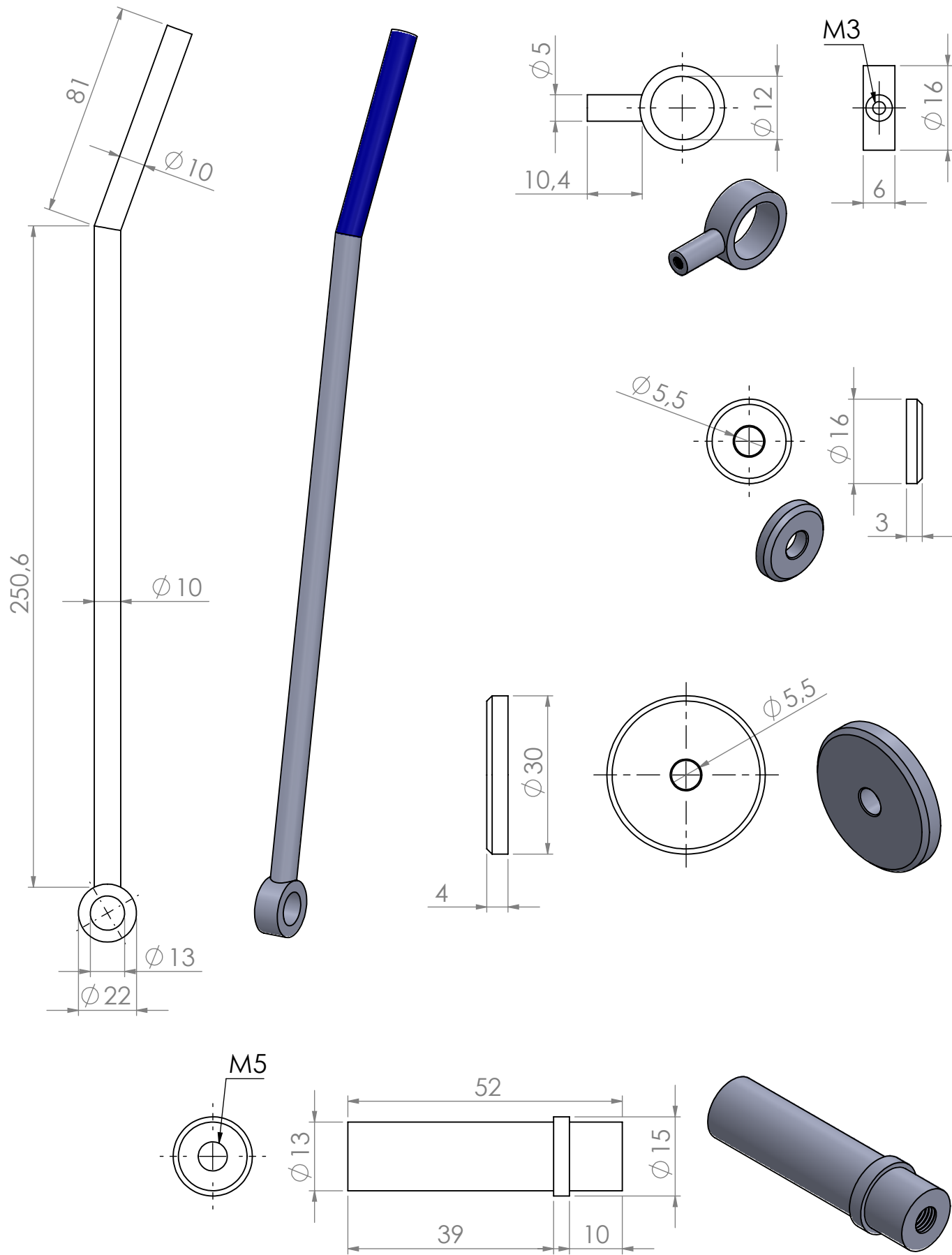
ESPOL

Escala: N/A

Material:
AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **24**



Título:	Palanca - Eje palanca - tapas	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

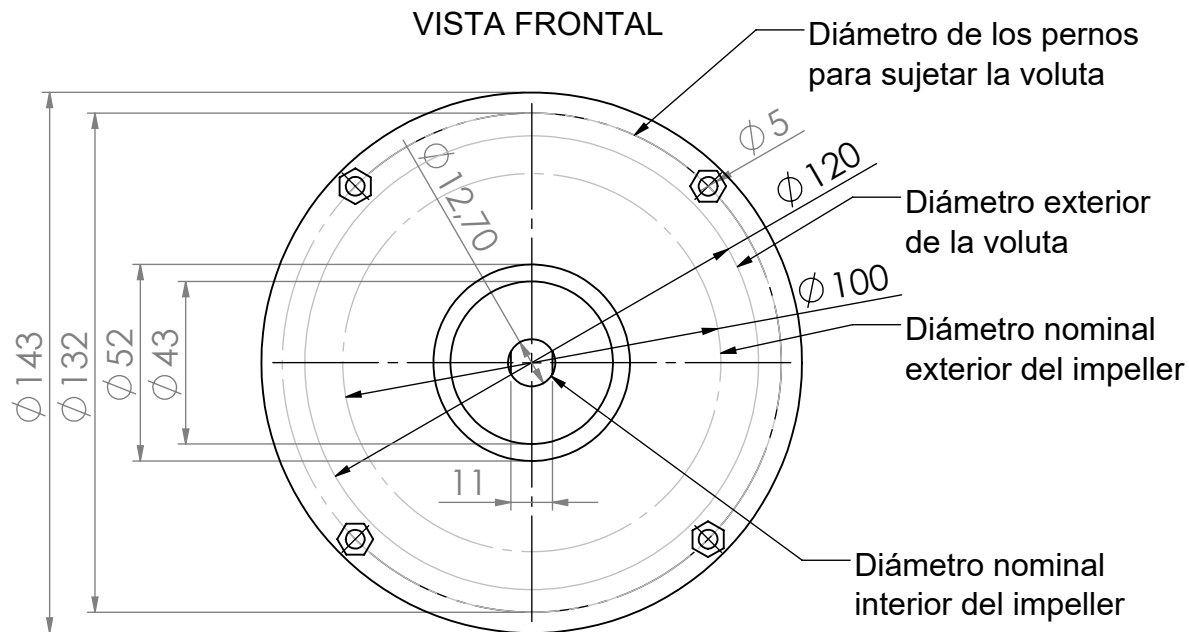
ESPOL

Escala: 1:10

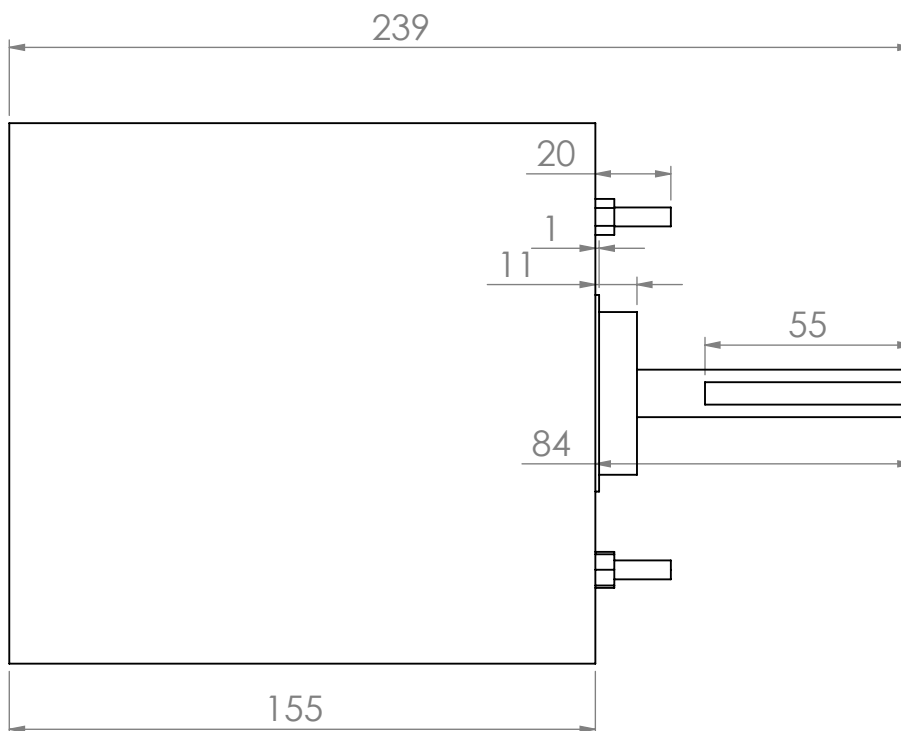
Material:
AISI 304

Envasadora de leche de soya

No. **25**



VISTA LATERAL



Título:	Motor de la bomba	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

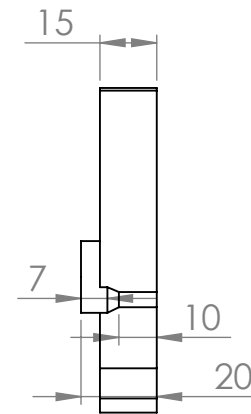
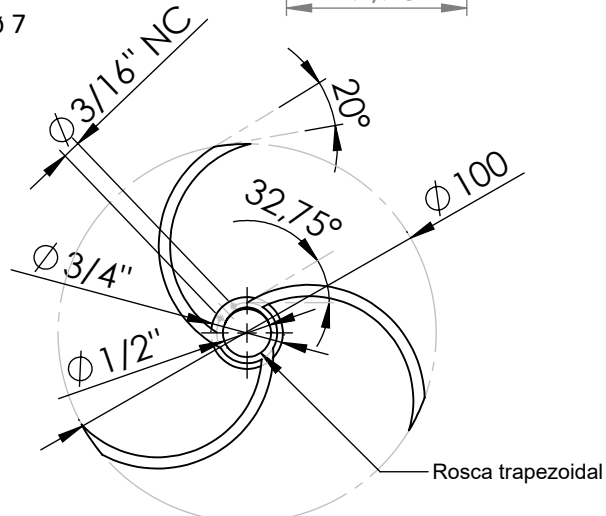
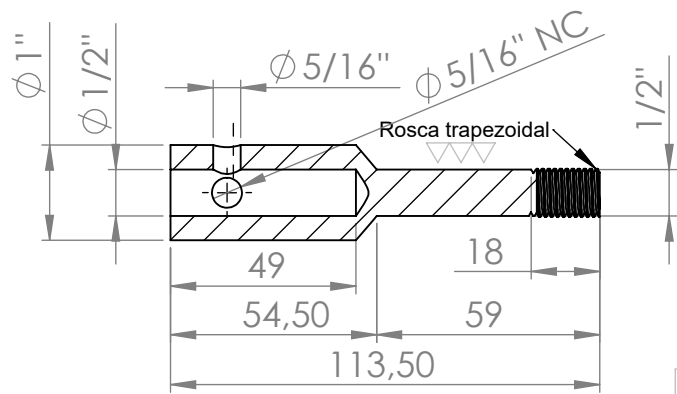
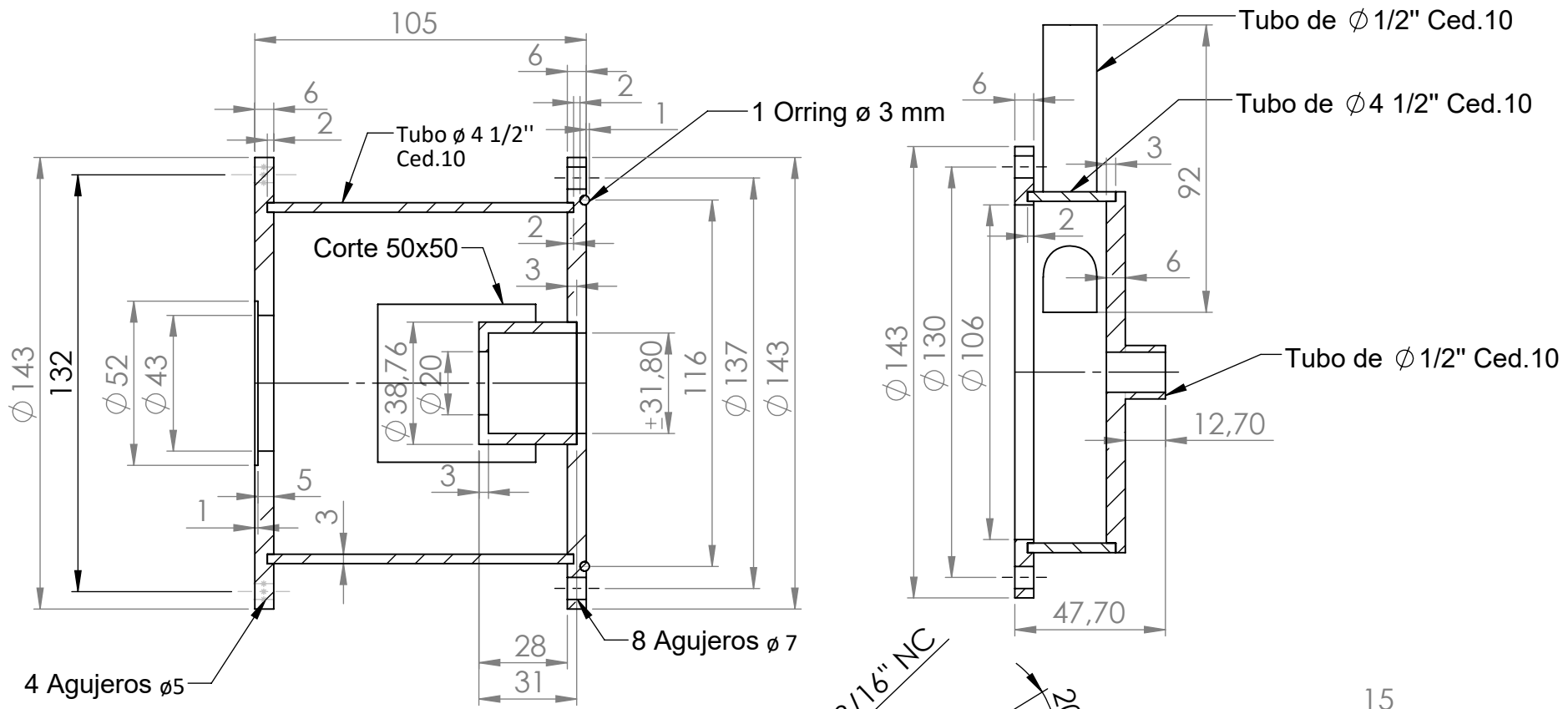
ESPOL

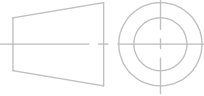
Escala: 1:2

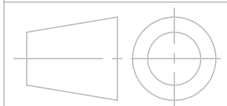
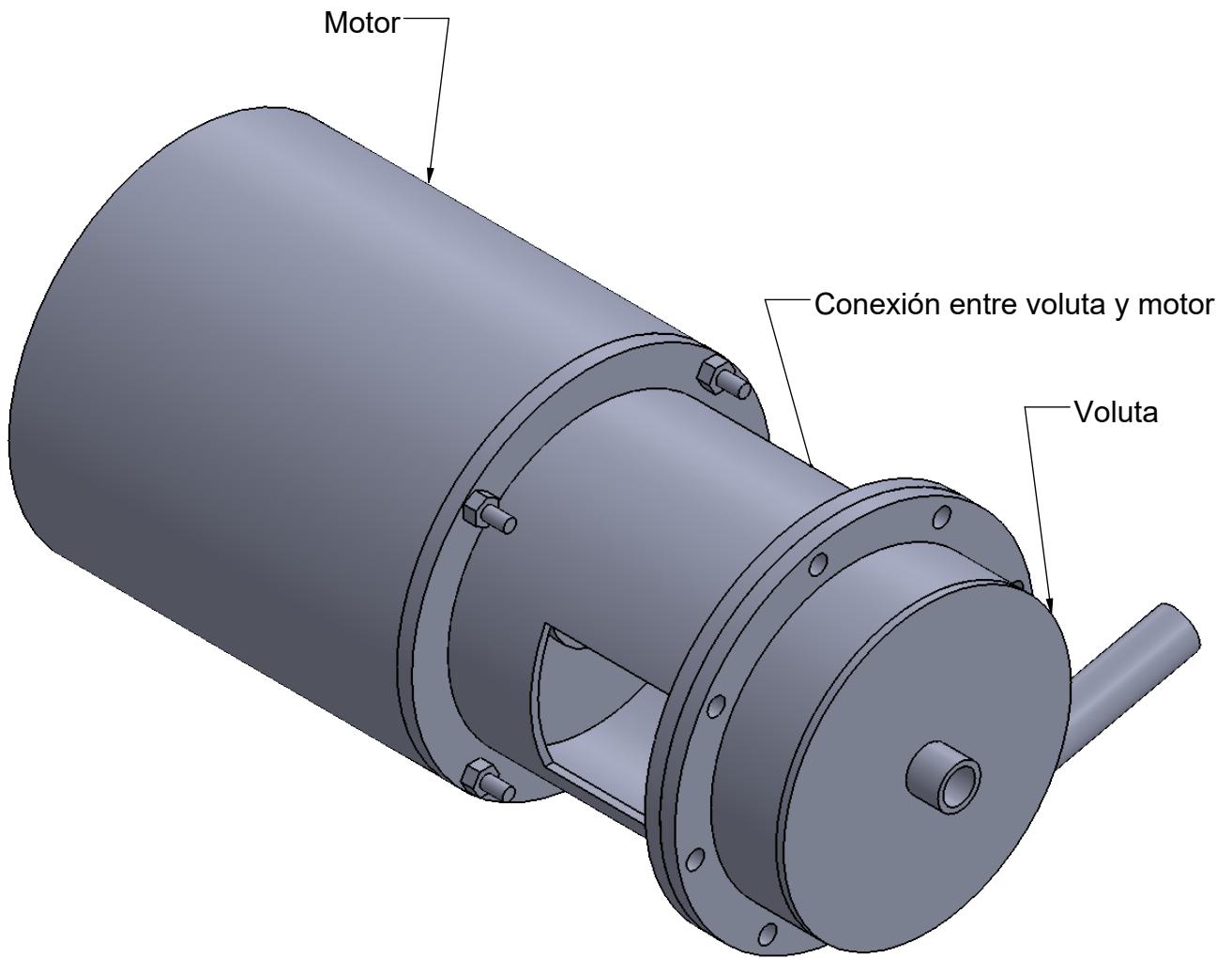
Material:

Envasadora de leche de soya

No. **26**



	Título		Voluta e impeller de la bomba		ESPOL	
	Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.			
	Aprobado por:	Guadalupe V.			Escala:	NA
Material:	AISI 316				Envasadora de leche de soya	
					No.	27



Título:	Bomba	
Dibujado por:	Vanegas F.	Mite J.
Aprobado por:	Guadalupe V.	

ESPOL

Escala: 1:2

Material:

Envasadora de leche de soya

No. **28**