



**Diseño de máquina para envasado de alimentos líquidos en bolsas de tapa rosca, en la empresa DSMAQ S.A.S.**

Gustavo Adolfo López Chaverra

Informe de semestre de industria presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesores (a):

Carlos Andrés Trujillo

PhD, Ingeniero Mecánico

Julián Andrés Toro

Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Departamento de ingeniería mecánica

Medellín, Colombia

2023

- 
- |                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Referencia</b> | [1] G. López Chaverra, "Diseño de máquina para envasado de alimentos líquidos en bolsas de tapa rosca, en la empresa DSMAQ S.A.S.", Pregrado, Universidad de Antioquia, Medellín, 2023. |
|-------------------|---|

Estilo IEEE (2020)



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.



V. CONCLUSIONES .....	57
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	58

### Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Llenadora horizontal de doble pistón .....	13
Ilustración 2. Tiempos de funcionamiento de una llenadora horizontal.....	14
Ilustración 3. Llenadora vertical para botellas .....	15
Ilustración 4. Llenado vertical de bolsas, sellado por calor .....	16
Ilustración 5. Bolsa industrial capacidad 5 litros con tapa rosca.....	17
Ilustración 6. Bag in box .....	18
Ilustración 7. Caja de vino Monasterio presentación Bag in box.....	18
Ilustración 8. Llenadora vertical SYMPATY top 320 Technibag.....	19
Ilustración 9. Llenadora física.....	20
Ilustración 10. Llenadora desensamblada. ....	20
Ilustración 11. Estructura soportante, máquina llenadora. ....	21
Ilustración 12. Sistema de boquilla, máquina llenadora.....	21
Ilustración 13. Sistema de desplazamiento rotativo, máquina de llenado.....	22
Ilustración 14. Palanca de desplazamiento vertical, máquina de llenado.....	22
Ilustración 15. Mandril de sujeción para tapa rosca, máquina de llenado.....	23
Ilustración 16. PLC s7-1200.....	23
Ilustración 17. Ejemplo de red de Petri, con cuatro estados, dos marcas y cuatro transiciones .....	24
Ilustración 18. Red de Petri, máquina llenadora.....	25
Ilustración 19. Configuración para programación en ladder de RdeP.....	27
Ilustración 20. Estructura máquina de llenado .....	28
Ilustración 21. Estructura base para soporte vertical.....	29
Ilustración 22. Cargas que trabajan sobre estructura.....	29
Ilustración 23. Distribución de cargas en sistema estructural .....	30
Ilustración 24. Desplazamiento estructura vertical .....	31
Ilustración 25. Tensión normal máxima.....	31
Ilustración 26. Sistema reposa cajas.....	32
Ilustración 27. Partes sistema reposa cajas.....	33
Ilustración 28. Mesa soporte bolsas. ....	33
Ilustración 29. Acceso a bandeja de fluidos, montaje de rodillos. ....	34
Ilustración 30. Curvas características de las bombas flujo vs altura .....	36
Ilustración 31. Posicionamiento bomba .....	36
Ilustración 32. Férua racos espina de pescado 2" .....	37
Ilustración 33. Unión clamp .....	37
Ilustración 34. Manguera flexo metálica.....	38
Ilustración 35. Abrazadera inoxidable para manguera .....	38
Ilustración 36. Embalaje sensor electromagnético Picomag .....	39
Ilustración 37. Corte boquilla de llenado, partes.....	40
Ilustración 38. Despiece boquilla de llenado.....	41
Ilustración 39. Accionamiento sistema de boquilla.....	42
Ilustración 40. Módulo de desplazamiento horizontal .....	43
Ilustración 41. Módulo de desplazamiento vertical vista frontal .....	44
Ilustración 42. Módulo de desplazamiento vertical vista posterior.....	44

Ilustración 43. Diseño de mandril, llenadora en existencia.....	45
Ilustración 44. Sistema de mandril, sujeción tapa .....	46
Ilustración 45. Caso garras cerradas.....	47
Ilustración 46. Caso garras abiertas.....	47
Ilustración 47. Plano ensamble estructura vertical.....	48
Ilustración 48. Plano de ensamble guarda protectora pistones.....	48
Ilustración 49. Plano de ensamble boquilla de llenado .....	49
Ilustración 50. Plano de ensamble soporte para caja.....	49
Ilustración 51. Plano de ensamble sistema de mandril.....	50
Ilustración 52. Plano de ensamble bancada módulos de envasado y sellado .....	50
Ilustración 53. Plano de ensamble soporte para bolsas .....	51
Ilustración 54. Plano de ensamble montaje de bomba.....	51
Ilustración 55. Plano de ensamble porta tapas .....	52
Ilustración 56. Plano de ensamble módulo de desplazamiento horizontal .....	52
Ilustración 57. Diseño final máquina 1 .....	53
Ilustración 58. Diseño final máquina 2 .....	53
Ilustración 59. Diseño final máquina 3 .....	54
Ilustración 60. Máquina llenadora construida vista en ángulo .....	54
Ilustración 61. Máquina llenadora construida vista posterior .....	55
Ilustración 62. Máquina llenadora construida vista frontal .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. Asociación transiciones con entradas.....	27
Tabla 2. Asociación estados con salidas .....	27
Tabla 3. Magnitudes fuerzas .....	30

---

## RESUMEN

En el presente documento se presenta el proceso lógico y conceptual para el diseño, desarrollo y fabricación de una máquina de envasado de alimentos líquidos vertical, con la cual se busca brindar a la industria colombiana facilidad para la compra de maquinaria y aquellos servicios que conlleva la adquisición de esta como es el mantenimiento y el acceso a repuestos de bajo costo y en cortos periodos de tiempo. Para el desarrollo del proyecto se subdividió la máquina en unidades principales para su funcionamiento, permitiendo un abordaje mas amigable a diferentes conceptos y sistemas responsables en la manufactura del producto. Al final se realizó la fabricación a cabo de la empresa DSMAQ y se presentó al cliente, creando una ventana para la mejora y desarrollo de futuros envasadores de alimentos líquidos, y al desarrollo de más maquinaria colombiana permitiendo la independencia de la industria con respecto al mercado de importación de piezas y productos.

**Palabras clave** — Semestre de industria, Diseño, Máquina de llenado, desarrollo

## ABSTRACT

This document presents the logical and conceptual process for the design, development and manufacture of a vertical liquid food packaging machine, with which it seeks to provide the Colombian industry with ease for the purchase of machinery and those services that the production entails also acquisition of this as is the maintenance and access to spare parts at low cost and in short periods of time. For the development of the project, the machine was subdivided into main units for its operation, allowing a friendlier approach to different concepts and responsible systems in the manufacture of the product. In the end, the manufacturing was carried out by the company DSMAQ and it was presented to the client, creating a window for the improvement and development of future liquid food packers, and the development of more Colombian machinery allowing the independence of the industry with respect to the import market of parts and products.

**Keywords** — Industry semester, Design, Filling machine, development

## I. INTRODUCCIÓN

Entre las necesidades básicas del ser humano se encuentra la obtención de los alimentos para la supervivencia, esta necesidad se suplía gracias a la cacería o a la recolección, con el tiempo el ser humano sistematizó la obtención de muchos de estos alimentos, pero con esto se encontraron un nuevo problema. Ahora la obtención del alimento no representaba mayor dificultad, pero se encontró que el tiempo de caducidad y el método de distribución eran ahora su principal obstáculo.

Gracias a la unión de diferentes ramas de la ciencia como son la física, la química, la microbiología y la ingeniería se ha llegado a un proceso de tratamiento de alimentos que permite a la humanidad conservar los alimentos y empacarlos para así dar un mayor tiempo vida al alimento y permita que se transporte a través de largas distancias y se conserve mejor en entornos que quizá puedan ser hostiles y degraden sus propiedades alimenticias.

En el negocio de los alimentos industriales, se requieren de gran cantidad de maquinaria en cada uno de la manipulación y procesos que requieren los alimentos para su correcto trato y empaquetamiento, no es un gran secreto que parte de la maquinaria que se usa en dichos establecimientos es de origen extranjero, pero gran número de empresas metalmecánicas del territorio Colombiano han tomado este reto y ofrecen sus servicios para la creación de elaboradas máquinas que puedan suplir con dichas necesidades, para así crear un referente a nivel nacional y se tenga que recurrir menos a la ayuda extranjera debido a sus altos costos de importación y transporte.

DSMAQ S.A.S. (Diseño y suministro de maquinaria S.A.S.) es una empresa que se dedica a la fabricación de maquinaria de diferente índole, entre ellas se encuentra el campo de la industria alimenticia, es por esto que ha decidido tomar el reto de la creación de una máquina para llenado de bolsas con alimentos líquidos, esto con la intención de ofrecer una solución alterna a las opciones que existen actualmente las cuales son la importación, además de ofrecer un servicio mucho más amigable y cercano para ganarse la confiabilidad del mercado Colombiano.

## **II. OBJETIVOS.**

### **2.1. Objetivo General.**

Diseñar un equipo que permita el llenado bolsas de diferentes alimentos líquidos en bolsas de 5 galones.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

1. Identificar las variables que influyen en la manipulación de los alimentos líquidos para no influir en el proceso de degradación o contaminación de este.
2. Diseñar el equipo garantizando la integridad estructural de los componentes principales y secundarios de la máquina por medio de la realización de cálculos de resistencia de materiales en los elementos y zonas críticas.
3. Realizar planos a detalle de ensamble y fabricación del equipo.

## **III. MARCO TEÓRICO**

La industria alimenticia consta de múltiples normas para la correcta manipulación y conservación del estado de la comida, ya sean de índole sólida o líquida, existen unos estándares que deben seguirse para garantizar la salubridad del producto y evitar así un problema en salubridad, además de que permite a una entidad la evaluación de los procesos para identificar más fácilmente falencias, errores u omisiones a las normas. A continuación, se repasarán algunos de los aspectos más importantes en la manipulación de los alimentos.

### **3.1. Norma sanitaria de manipulación de alimentos.**

La norma de manipulación de alimentos tiene como objetivo establecer los requisitos sanitarios que se deben cumplir a cabalidad si se desea prestar un servicio en el sector alimenticio, para garantizar un producto que sea apto para el consumo humano, esto comprende el tiempo desde que se recibe el alimento en su forma de materia prima, el procesamiento, el almacenamiento, la distribución y la comercialización del producto [1].

### **3.2. Decreto 3075, ministerio de salud 1997.**

El decreto 3075 del ministerio de salud colombiano de 1997 establece las condiciones básicas de higiene para la fabricación de alimentos, citando el artículo 7 del decreto se tiene que: “Las actividades de fabricación, procesamiento, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos se ceñirán a los principios de las Buenas Prácticas de Manufactura estipuladas en el título II del presente decreto.” [2]

A su vez el Decreto 3075 se subdivide en XIV capítulos de los cuales en el diseño y la fabricación de la máquina llenadora de alimentos líquidos se resaltan los siguientes:

**Título II – Capítulo II (Equipos y utensilios) [2]:** Dentro de las condiciones generales de los equipos en el procesamiento, fabricación, preparación de alimentos se encontró que deben ser diseñados, construidos, instalados y mantenidos de manera que se evite la contaminación del producto, facilite y promueva la limpieza y desinfección de sus superficies para permitir un correcto desempeño y uso del que se vio previsto.

Las principales acotaciones para tener en cuenta en el plan de diseño, desarrollo y fabricación del equipo se estipulan en el Artículo 11 del capítulo II, donde se indican las condiciones específicas como son:

- a. Los equipos y utensilios empleados en el manejo de alimentos deben estar fabricados con materiales resistentes al uso y a la corrosión, así como a la utilización frecuente de los agentes de limpieza y desinfección.
- b. Todas las superficies de contacto con el alimento deben ser inertes bajo las condiciones de uso previstas, de manera que no exista interacción entre éstas o de estas con el alimento, a menos que este o los elementos contaminantes migren al producto, dentro de los límites permitidos en la respectiva legislación. De esta forma, no se permite el uso de materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro, u otros que resulten de riesgo para la salud.
- c. Todas las superficies de contacto directo con el alimento deben poseer un acabado liso, no poroso, no absorbente y estar libres de defectos, grietas, intersticios u otras irregularidades que puedan atrapar partículas de alimentos o microorganismos que afectan la calidad sanitaria del producto. Podrán emplearse otras superficies cuando exista una justificación tecnológica específica.
- d. Todas las superficies de contacto con el alimento deben ser fácilmente accesibles o desmontables para la limpieza e inspección.

**Título II – Capítulo IV (Requisitos higiénicos de fabricación) [2]:** Dentro de este capítulo se tienen algunas normativas dirigidas a garantizar la inocuidad y la salubridad del alimento dentro del proceso de fabricación, preparación, procesamiento y envasado de los alimentos, entre los artículos más importantes en este capítulo se tienen:

- **Artículo 18 (Envases) [2]:** Se resalta el uso del material para el envasado donde se cumplan los reglamentos del ministerio de salud, el uso único de los envases debido a que un uso previo o un reembolso puede generar contaminación cruzada corrompiendo la línea de envasado y finalmente el uso y la disposición de dichos elementos de contención en un lugar con condiciones de limpieza y sanidad.
- **Artículo 19 (Operaciones de fabricación) [2]:** Las normas más destacadas que se implican en el diseño de la maquina llenadora son: El control de los factores físicos que afectan la estructura del alimento como son tiempo, temperatura, humedad, actividad acuosa (Aw), pH, presión y velocidad de flujo además de vigilar

operaciones como la refrigeración, la congelación, la acidificación entre otros. Además de lo anterior, las operaciones de fabricación y envasado deben generarse de manera secuencial y continua, con el fin de evitar retrasos u exposición de los alimentos con el entorno, ya que esto puede contribuir a la germinación de agentes microbiológicos, otros tipos de deterioro o contaminación del alimento. También es importante acotar las medidas de protección del alimento ante agentes externos nunca permitiendo el uso de vidrio o cristal, debido a su gran fragilidad y al riesgo de ruptura generando contaminación en el alimento.

- **Artículo 20 y 21 (Prevención de la contaminación cruzada y operaciones de envasado) [2]:** Entre las principales prevenciones que deben existir en el envasado, se debe tener como prioridad un ambiente donde se excluyan agentes contaminantes tanto para el equipo como para la materia prima, ya sea por contacto directo o indirecto de las materias primas como de los recipientes.

**Título II – Capítulo VI (Saneamiento) [2]:** Como todo equipo que procese alimentos, se debe de tener de un plan de saneamiento, para de esta manera evitar la contaminación cruzada, esto se consigue creando un programa donde se estipule los tiempos, las partes involucradas de presencia crítica y el manejo de los desechos o residuos sólidos que se puedan generar, además de esto se debe contar con un sistema de control de plagas, como artrópodos o roedores y que a su vez estos no puedan interferir o involucrarse en la cadena de producción.

### 3.3. Ingeniería inversa

La necesidad de crear una maquina llenadora de alimentos líquidos llega a DSMAQ S.A.S. gracias a la necesidad que sufría una empresa radicada en Medellín cuyo negocio era el envasado de diferentes alimentos como son: yogurt, vino, leche, sangría, jugos, té entre otros, para luego distribuir en diferentes formatos entre los cuales se encuentran las bolsas de 5 galones con sellado hermético vía tapa con rosca. En su momento la empresa cliente compraban sus equipos en España, ya que en el antiguo continente existía un proveedor que les generaba confiabilidad y tenía una trayectoria como fabricante de máquinas llenadoras, pero debido a los altos costos de importación, el tiempo de entrega, el tiempo de inactividad de los equipos debido a fallas técnicas y a la lejanía de central de distribución, la reparación y puesta en marcha de las maquinas podía tomar un tiempo exagerado, que se representaban como pérdidas económicas en la empresa por falta de producción.

Es por todo lo anterior que el cliente al pactar la compra, diseño y fabricación de la maquina llenadora decidió apoyar a la empresa DSMAQ S.A.S. con el suministro de una máquina llenadora que tenían en posesión, para generar 2 cosas:

- 1. Tomar el punto de partida, enseñar a DSMAQ los funcionamientos de los componentes, destacar partes críticas del sistema de envasado y representar el modo de uso del equipo y el método de trabajo del operario.

- 2. Indicar a DSMAQ falencias en el diseño antiguo, además de nuevas características deseadas.

#### **IV. Metodología.**

Para cumplir los objetivos propuestos en este proyecto fueron especificadas 3 etapas, etapa 1 identificación del funcionamiento del equipo, etapa 2 de diseño conceptual, y finalmente la etapa 3 de diseño a detalle de los componentes críticos del equipo.

##### **4.1. Etapa 1. Identificación de funcionamiento del equipo**

Para la realización del diseño conceptual del equipo se partió del equipo suministrado por el cliente como inspiración, ya que se sentía cómodo con el funcionamiento y las características de manipulación que tenía, además de la comparación de máquinas similares en la industria alimenticia para la identificación de los equipos que operan en este campo.

##### **4.1.1. Tipos de llenadoras de alimentos líquidos**

Un equipo para el llenado de alimentos líquidos consiste básicamente en un dispositivo que a través de un actuador eléctrico impulsa el líquido hacia el envase en un tiempo y un volumen deseado, esto impidiendo la interacción del alimento con el ambiente exterior, para impedir la contaminación y la proliferación de microorganismos, el proceso se lleva de manera continua hasta que al cumplir con los valores solicitados, luego se procede a sellar el recipiente, este sellado también debe ser provisto por la maquina llenadora y tiene que darse inmediatamente luego de acabar con el llenado, finalmente la maquina llenadora debe liberar un recipiente completamente hermético con la cantidad correcta de producto en el tiempo estipulado, para que este siga su camino en la línea de almacenamiento, transporte y comercialización.

Actualmente en el mercado de las llenadoras de elementos líquidos se pueden subdividir estructuralmente en dos grupos:

##### **4.1.1.1. Llenadoras horizontales**

También llamadas llenadoras de pistón son aquellas donde su método de impulsión al líquido se lleva a cabo gracias a un pistón hidráulico que se encuentra apoyado sobre la superficie horizontal, por lo general estas llenadoras ya tienen definido el volumen de líquido requerido para el trabajo, lo que implica que son muy precisas a la hora de dosificar las porciones, pero a su vez implica una rigidez en cuanto al cambio de los parámetros en caso tal de que se desee cambiar de envase, otra de sus ventajas son la gran variedad de productos que puede manejar, ya que se puede entregar de manera muy suave y ligera, y a que puede manejar una amplia gama de productos con diferentes composiciones y viscosidades. Un ejemplo de este tipo de llenadoras se puede apreciar en la Ilustración 1. Llenadora horizontal de doble pistón.

El método de funcionamiento de una maquina llenadora de pistón es el siguiente [3]: Existe una tolva que se encarga de conservar todo el producto y del cual con cada envasado será el encargado de suministrar el material base para el aporte, luego se tiene una válvula de rotación que permite o impide el vaciado de la tolva, esta válvula es activada mediante un

solenoides. Finalmente se tiene que el impulsor del material en este caso es el pistón que se encuentra sobre la superficie horizontal, este se encargará de almacenar el volumen que corresponda a para los envasados y luego procederá a suministrarlo al recipiente, para esto la secuencia lógica de funcionamiento sería la siguiente:

1. El solenoide se activa, girando a su vez la válvula rotacional permitiendo la comunicación del fluido entre la tolva y el pistón.
2. El pistón se retrae, permitiendo con esto dos cosas: generar una cavidad donde el líquido puede reposar y a su vez succionar el líquido de la tolva.
3. El solenoide se desactiva, impidiendo la comunicación entre la tolva y el pistón, pero a su vez permite ahora que el pistón tenga comunicación con la boquilla de suministro.
4. El pistón se comprime generando un impulso del líquido hacia la boquilla de depósito y finalmente llegando al envase.

Todo este proceso se puede apreciar en la Ilustración 2. Tiempos de funcionamiento de una llenadora horizontal [4]



*Ilustración 1. Llenadora horizontal de doble pistón.*

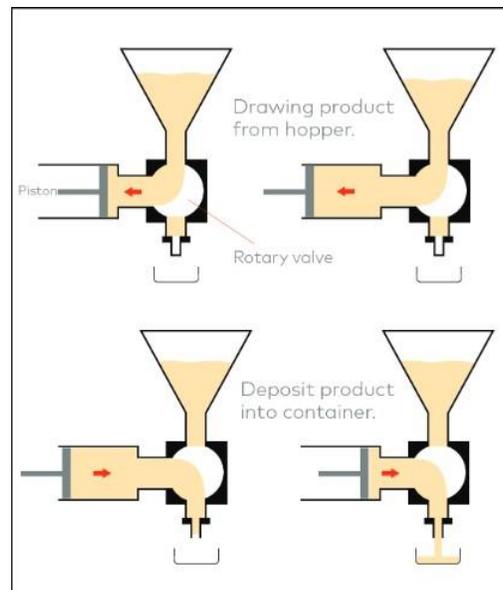


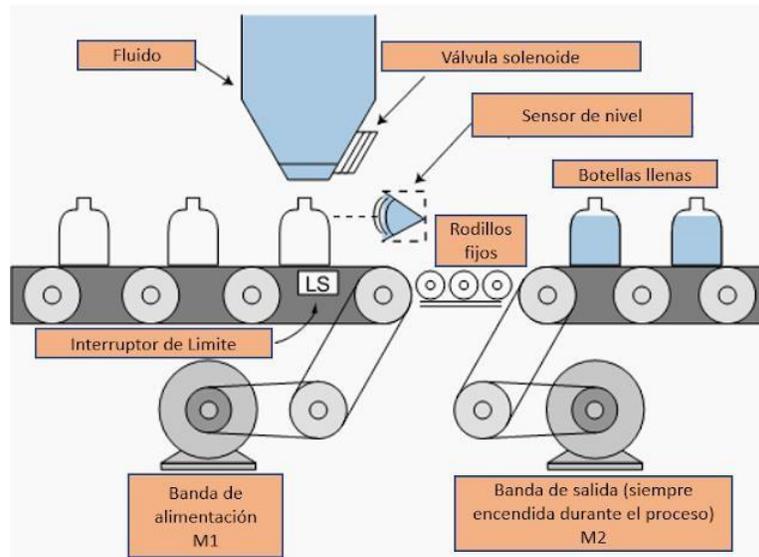
Ilustración 2. Tiempos de funcionamiento de una llenadora horizontal

#### 4.1.1.2. Llenadoras verticales

Las máquinas de llenado vertical son llamadas así debido a que el trabajo se realiza en este eje, tanto el envasado como el sellado del producto. Estas máquinas de llenado son por lo general impulsadas por bombas, que se encargan de llevar grandes y continuos volúmenes de producto hacia los envases, a comparación de los pistones, una bomba puede llevar el volumen de producto que se desee al contrario del pistón que ya tiene su máximo volumen definido por la camisa interior del mismo, es por esto que para el control del volumen que suministra la bomba se requiere de un elemento de control, que contabilice la cantidad de producto suministrado.

Dependiendo del recipiente que se desee llenar se tienen diferentes combinaciones, entre los recipientes más comunes se tienen: Las botellas, las bolsas y las bolsas con cierre de tapa giratoria.

**Botellas:** Las maquinas llenadoras de botellas por lo general consta de una configuración de bomba y sensor de flujo para dictaminar el volumen de llenado, además de un módulo adicional para el cierre de la botella, que por lo general se da con un actuador eléctrico, o un conjunto de tolva de suministro, solenoide para el paso del líquido y un sensor de nivel para detener el suministro del producto, como se aprecia en la Ilustración 3. Llenadora vertical para botellas. [5] Además de esto, el método de suministro de botellas puede ser manual como automático, dependiendo del volumen de unidades que se deseen producir.



*Ilustración 3. Llenadora vertical para botellas.*

**Bolsas:** Las máquinas llenadoras de bolsas son bastante diferentes en comparación con las de botellas, esto debido a que tomar bolsa por bolsa para llenarla al ser un elemento tan fino y de difícil manipulación puede resultar ser en extremo complejo, el corte y separación de cada bolsa puede resultar en costos adicionales, es por esto que estas máquinas parten de un rollo de film el cual será el envoltorio del líquido, este a su vez es monitoreado por un encoder de posición que permite suministrar las porciones correctas de material para crear cada una de las bolsas, el rollo de film es tensionado y es alado a través de un embudo el cual es el encargado de unir los dos extremos para generar así un cilindro de film, este cilindro que se genera luego es terminado gracias a una unión de calor en la junta de los dos extremos del film, finalmente existe un sello horizontal de film que se encuentra para cerrar los dos extremos del cilindro de film generando así una bolsa perfectamente sellada de producto listo para su comercialización y consumo. Este tipo de esquema y configuración se puede apreciar en la Ilustración 4. Llenado vertical de bolsas, sellado por calor. [6]

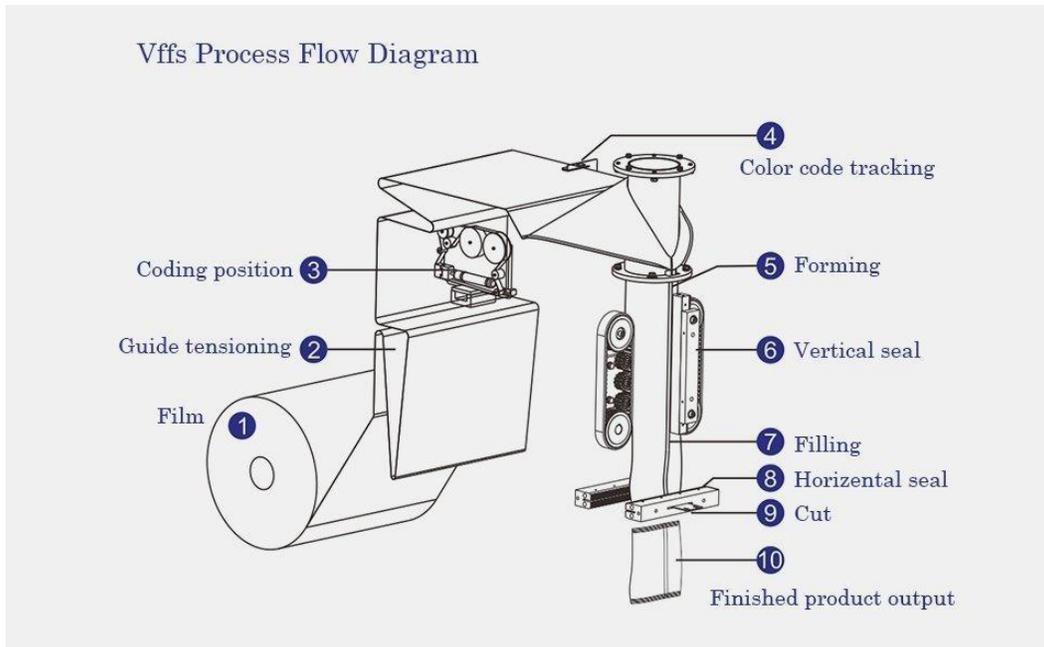


Ilustración 4. Llenado vertical de bolsas, sellado por calor.

**Bolsas con cierre de tapa giratoria:** Las bolsas con cierre de tapa giratoria o tapa roscas son las bolsas que se usan a nivel industrial para el almacenamiento o transporte de producto alimenticio, estas bolsas se conforman de dos piezas, estas serían la bolsa con el socket para la tapa rosca y la misma tapa rosca, el socket que viene en la bolsa tiene un ángulo de inclinación que permite un acople perfecto con boquillas diseñadas con esa misma inclinación, esto permite crear una hermeticidad entre el ambiente y el interior de la bolsa impidiendo la entrada de agentes contaminantes, por su parte la tapa rosca posee un cambio de sección y un ángulo de entrada en la base que permite entrar de manera suave en el socket y anclarse gracias a su cambio de sección, permitiendo así un sello inamovible además de que al poseer tapa se puede acceder al líquido y volver a cerrarlo, un ejemplo de este tipo de bolsas se aprecia en Ilustración 5. Bolsa industrial capacidad 5 litros con tapa rosca [7]



*Ilustración 5. Bolsa industrial capacidad 5 litros con tapa rosca*

Este tipo de llenadoras presenta una configuración donde una bomba es la encargada de la impulsión del líquido hasta las boquillas de llenado, mientras un sensor de flujo es el encargado de suministrar la señal de que el volumen de llenado se ha cumplido para detener el accionar de la bomba, además de este módulo de llenado se debe contar con el módulo de sellado, que es el encargado de tomar las tapas e introducirlas a presión en el socket.

#### **4.1.2. Funcionamiento máquina llenadora suministrada**

Después de identificar los tipos de llenadoras para elementos líquidos, se puede precisar que la máquina suministrada es una llenadora vertical, que se especializa en el llenado de bolsas con tapa giratoria, esto con el fin de vender un producto conocido como Bag in box, que consiste en vender estos alimentos líquidos empaquetados en bolsas con fácil acceso gracias a sus tapas en cajas de cartón para que estas últimas aporten firmeza estructural y se pueda sostener en pie como se aprecia en la Ilustración 6. Bag in box, [8] generando la sensación de un barril en el consumidor como se ve en la Ilustración 7. Caja de vino Monasterio presentación Bag in box. [9]



Ilustración 6. Bag in box



Ilustración 7. Caja de vino Monasterio presentación Bag in box.

La máquina que suministro el cliente a manera de referencia fue una llenadora vertical semi-manual SYMPATY top 320 de la marca Technibag como se ve en la Ilustración 8. El cliente permitió el desmontaje y despiece de la máquina llenadora para comprender mejor el funcionamiento.

**Funcionamiento:** Por medio de una conexión tipo férula y clamp se conecta la bomba de succión al tanque o recipiente sellado que conserva el producto a embolsar, a través de esta manguera la bomba genera la diferencia de presión para impulsar el fluido a través de los conductos, el material a su vez es monitoreado por un sensor de flujo másico que contabiliza la cantidad de materia que va pasando, después de eso el flujo de líquido llega hasta la boquilla de llenado que contiene un sistema de sellos que impide la fuga de líquido y que a su vez esta accionada por un pistón neumático para permitir o impedir el paso, este pistón esta accionado por un sensor inductivo que genera una señal cuando la boquilla se encuentre sobre el socket de la bolsa.

Además del sistema de llenado, la llenadora cuenta con un mandril encargado de retirar la tapa de la bolsa cuando llega y a su vez la sostiene mientras se ejecuta el proceso de embolsado, este mandril es accionado también a su vez por un pistón neumático que también da la señal de abrir o cerrar las garras por medio de un sensor inductivo.

El proceso de llenado se da de la siguiente manera: El operario toma una bolsa de tapa rosca, esta debe tener la tapa ligeramente superpuesta sobre el socket sin ser apretada, el operario la sitúa en posición para el llenado, el módulo de tapado desciende y con el mandril toma la tapa de la bolsa, gira el sistema por medio de la palanca de descenso y sitúa la boquilla sobre el socket de la bolsa, al descender el sensor inductivo da con el tope previamente calibrado para la bolsa y le da la señal al pistón para que de paso al fluido en la boquilla y a la bomba para que genere un flujo, mientras todo esto ocurre el sensor de flujo contabiliza la cantidad de material depositado, al llegar a la cantidad designada la unidad de control detiene el llenado de la bomba y cierra la boquilla de llenado retrayendo el pistón, finalmente el operador gira de nuevo con la palanca y sitúa el módulo del mandril sobre el socket, de este modo al bajar la palanca manualmente se deposita la tapa dentro del socket creando el selle de la bolsa y finalmente deslizándola por la rampa hasta la caja que espera por ella.



*Ilustración 8. Llenadora vertical SYMPATY top 320 Technibag*

#### **4.2. Etapa 2. Diseño conceptual.**

Gracias al equipo con el que se disponía Ilustración 9, y después de desensamblarlo e identificar sus componentes como se ve en la Ilustración 10.



*Ilustración 9. Llenadora física.*



*Ilustración 10. Llenadora desensamblada.*

Se decidió subdividir la llenadora en 5 subconjuntos los cuales son:

**Unidad de control:** Se conforma por un PLC el cual es el encargado de recibir y enviar las señales digitales tanto de los sensores inductivos, solenoides de electroválvulas como la de arranque y stop de la bomba.

**Unidad estructural:** Se conforma por la estructura en tubería que sostiene a los demás componentes como en la Ilustración 11 y que ofrece estabilidad para la manipulación de la bolsa antes, durante y después del llenado, además del soporte para el empaquetado de la bolsa en las cajas de presentación.



*Ilustración 11. Estructura soportante, máquina llenadora.*

**Unidad de llenado:** Se conforma del conjunto de bombas, manguera y sensorica encargados de suministrar y contabilizar el caudal de producto que se deposita, además del conjunto de boquilla junto con su sistema de empaquetadura como se ve en la Ilustración 12.



*Ilustración 12. Sistema de boquilla, máquina llenadora*

**Unidad de desplazamiento:** Se conforma del sistema móvil que permite el cambio entre el sistema de llenado o el sistema de sellado de manera rotativa como se ve en la Ilustración 13, o verticalmente en caso de estar en fase de llenado o retirado y presionado de la tapa rosca como se ve en la Ilustración 14.



*Ilustración 13. Sistema de desplazamiento rotativo, máquina de llenado*



*Ilustración 14. Palanca de desplazamiento vertical, máquina de llenado*

**Unidad de sellado:** Se conforma del sistema mandril accionado por pistón encargado de retirar o presionar la tapa rosca en la bolsa como se ve en la Ilustración 15.



*Ilustración 15. Mandril de sujeción para tapa rosca, máquina de llenado.*

### **4.3. Etapa 3. Diseño a detalle.**

#### **4.3.1. Unidad o módulo de control.**

Se decidió que, para la unidad de control, manejo y operación del equipo, debido a su bajo requerimiento energético y entradas y salidas digitales, un PLC S7-1200 (Ilustración 16) [10] debería ser lo suficientemente robusto, además de que se ha contado previamente con el manejo de este en proyectos anteriores lo cual genera cierta confianza en la respuesta del controlador como en la confianza para manipularlo. Además de que permite la adición de un módulo de entradas analógicas en caso de ser necesario.



*Ilustración 16. PLC s7-1200*

### 4.3.1.1. Programación

Debido a que el proceso de llenado y sellado de bolsas con tapa rosca es un proceso recurrente se decide que el método de programación que mejor se ajusta debido a su flexibilidad a los cambios, la fiabilidad en operación, su validación contra bloqueos e inestabilidad es el método de Redes de Petri (RdeP). Gracias al sistema de marcas y transiciones de la RdeP es muy sencillo su programación por medio del lenguaje Ladder, para ello se hizo uso del programa TIA portal v14 para la programación y subida del programa al PLC s7-1200 a través de una conexión ethernet.

#### 4.3.1.1.1. RdeP

Para la creación de redes de Petri, primero se han de definir los estados que se representaran en el software como Marcas o Memoria, los estados son aquellas posiciones o lugares del proceso donde se encuentran los equipos durante la ejecución de su trabajo y también se han de definir las transiciones que son las que permiten el disparo entre estado, son aquellas características o requisitos que se tienen que cumplir para que el equipo pueda pasar al siguiente estado, un ejemplo sencillo de su visualización sería la Ilustración 17. [11]

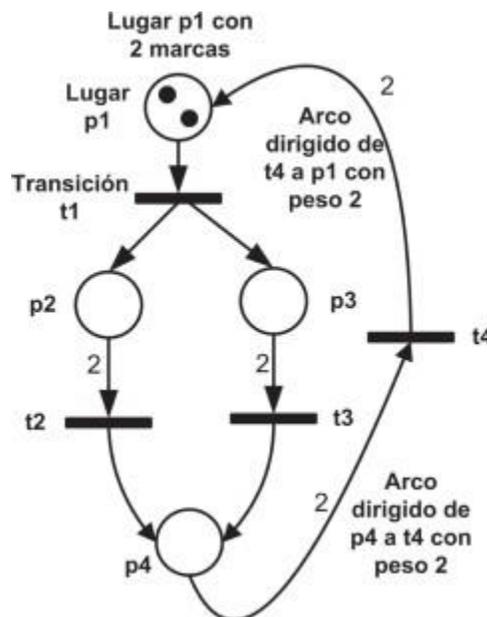


Ilustración 17. Ejemplo de red de Petri, con cuatro estados, dos marcas y cuatro transiciones

#### 4.3.1.1.2. Definición de estados redes de Petri

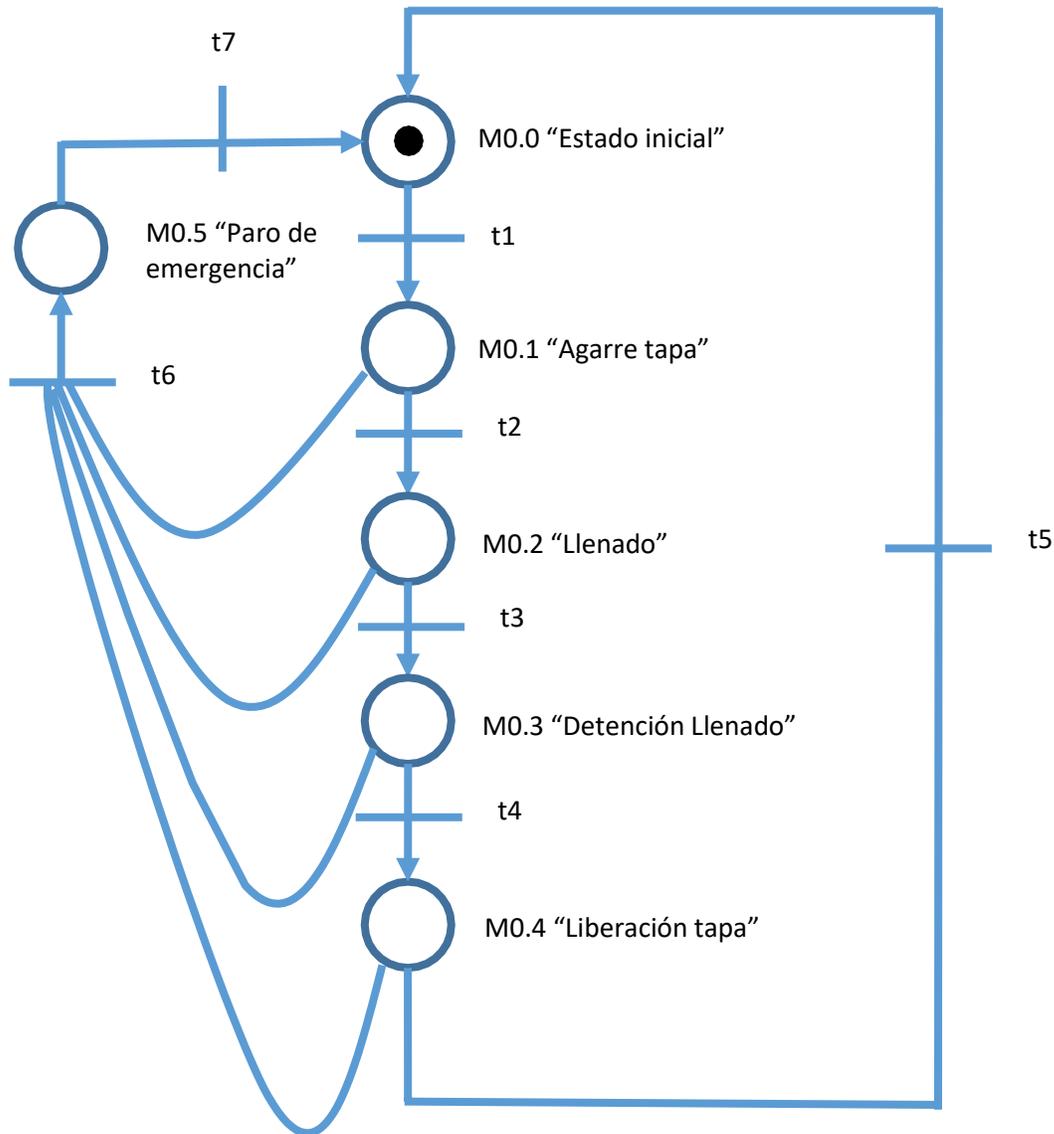


Ilustración 18. Red de Petri, máquina llenadora

La Ilustración 18 presenta el diagrama de la red de Petri para el control de la máquina llenadora, este solo se pudo crear conociendo el funcionamiento de dicho equipo, el diagrama consta de 6 estados, 7 transiciones y una marca de seguimiento. Ahora se procederá a describir cada uno de los estados y las transiciones que disparan su funcionamiento:

**M0.0 “Estado inicial”:** En este estado el equipo permanece en reposo no existe funcionamiento de ningún componente.

**T1:** La transición 1 está asociada al sensor inductivo que corresponde al módulo de sellado, que indica cuando el mandril está en posición para la toma de la tapa.

**M0.1 “Agarre tapa”:** Con el disparo de la t1 las salidas que se activan son el solenoide que opera el pistón neumático del mandril, y sosteniendo esta señal durante el resto del estado.

**T2:** La transición 2 está asociada al sensor inductivo que corresponde al módulo de llenado, que indica el momento en el cual la boquilla se encuentra sobre el socket de la bolsa.

**M0.2 “Llenado”:** En el estado de llenado la bomba y el solenoide asociado a la boquilla de depósito deben de accionarse para permitir el paso del fluido hacia el recipiente, el mandril debe de seguir sosteniendo la tapa en todo momento, por lo cual su solenoide debe seguir energizada en este punto.

**T3:** La transición 3 está asociada al sensor de flujo y a que se cumplió con el volumen programado para el llenado.

**M0.3 “Detención Llenado”:** En el estado detención tanto la bomba como el solenoide de la boquilla deben dejar de ejercer su función y detener el flujo de producto, debido a que se cumplió con el requerimiento volumétrico deseado, el mandril que sostiene la tapa debe todavía tener su solenoide energizada.

**T4:** La transición 4 está asociada al sensor inductivo que corresponde al módulo de sellado, esto indica que el operario ya tiene en posición la tapa sobre el socket y está a punto de incrustarla.

**M0.4 “Liberación tapa”:** En este estado se deja de energizar la bobina solenoide que accionaba el pistón que sostenía la tapa rosca, permitiendo que el operario al descender el sistema pueda incrustar la tapa en el socket.

**T5:** La transición 5 está asociada al flanco de bajada del sensor inductivo del módulo de sellado, lo que indica que la tapa se puso en la bolsa y se puede volver a iniciar con el ciclo concurrente.

**T6:** La transición 6 está asociada al botón de paro de emergencia, cuando este brinde la señal deberá indicar el estado “paro de emergencia” sin importar en qué estado se encuentre diferente del estado inicial.

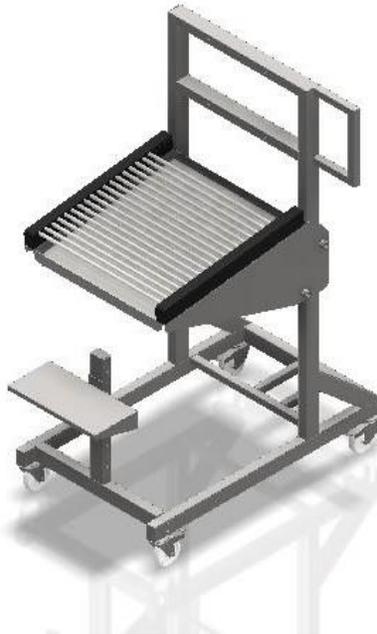
**M0.5 “Paro de emergencia”:** En este estado ningún elemento del equipo debe estar accionado, pero a diferencia del estado inicial este se asocia a un Led para indicar a otros operarios que la maquina se encuentra detenida.

**T7:** La transición 7 está asociada a la ausencia de señal del paro de emergencia y permite al sistema volver a su ciclo de funcionamiento en el estado inicial.



### 4.3.2. Unidad o módulo estructural.

Como diseño estructural se planteó el modelo de la Ilustración 20 donde su principal función es la de sostener los demás componentes, además de brindar firmeza para la manipulación de las bolsas, toda la estructura se llevó a cabo en el acero inoxidable austenítico 304 [12] gracias a su resistencia a la corrosión y buena resistencia química, solamente siendo susceptible a altas concentraciones de iones de cloruros, lo que impide la corrosión de sus superficies excepto en ambientes salinos, también permite una fácil limpieza e higiene en caso de salpicadura [13].



*Ilustración 20. Estructura máquina de llenado*

El análisis de la estructura se llevo a cabo separando la estructura en los siguientes subconjuntos:

#### 4.3.2.1. Estructura vertical

Se llamará estructura vertical a la Ilustración 21 que será la encargada en su mayoría de sostener los demás componentes, debido a que su estructura es solamente conformada por tubería, se realizara un análisis por VIGA mediante la simulación de cargas en el software INVENTOR 2023 para conocer su deformación y esfuerzos máximos, para las cargas se ha supuesto el peso de cada componente, actualmente en la empresa solo se dispone de tubería rectangular 40x60 mm Cal. 14 (Espesor 2mm) inoxidable 304 y tubería cuadrada 30x30 mm Cal. 14 (Espesor 2mm) es por esto que el objetivo del estudio es saber si cumple o no con los esfuerzos y desplazamientos.



Ilustración 21. Estructura base para soporte vertical.

Para las cargas se tiene la Ilustración 22:

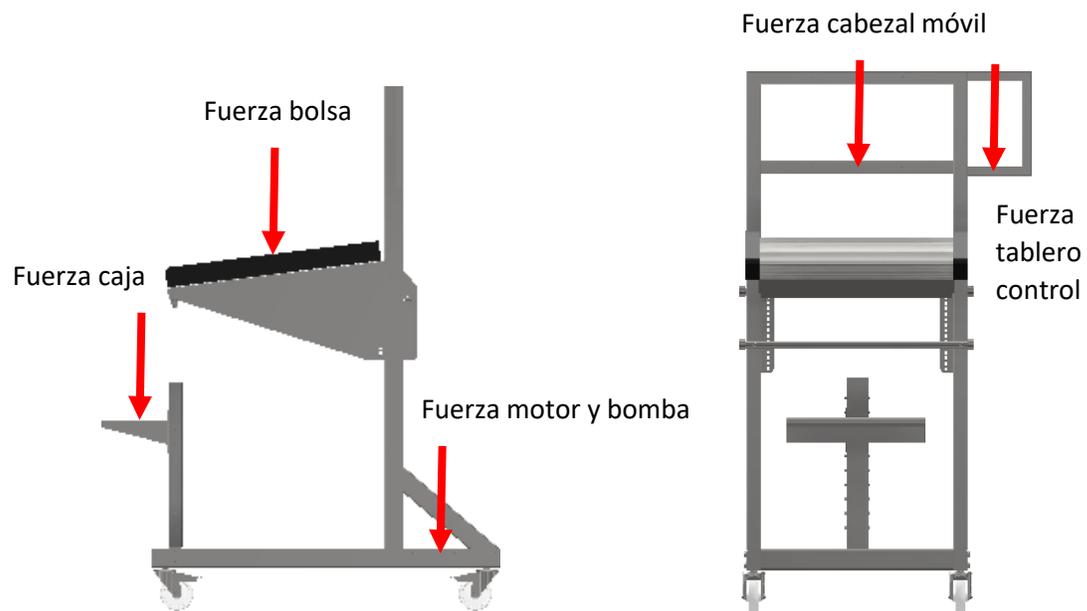


Ilustración 22. Cargas que trabajan sobre estructura

Tabla 3. Magnitudes fuerzas

Fuerzas	Magnitud (N)
Fuerza bolsa	250
Fuerza caja	60
Fuerza motor	500
Fuerza tablero	150
Fuerza cabeza móvil	350

Después de obtener las fuerzas Tabla 3 que actúan sobre la estructura vertical, se procede a realizar la simulación en el Inventor 2023 para ellos se establecen los 4 puntos donde irían las ruedas como apoyos fijos y se procede a cargar cada una de las fuerzas a centro de cada tubería ya que las cargas al estar distribuidas se toma la concentración de las fuerzas en el medio como caso crítico. Con respecto a la fuerza de la bolsa donde se tuvo en cuenta también el peso de la estructura que sostiene las bolsas se agrega al análisis en forma de momento flector y cuya magnitud esta dada por:

$$T = F \times d$$

$$T = 250 \text{ N} \times 0.45 \text{ m} = 112.5 \text{ Nm}$$

Como se aprecia en la Ilustración 23 así quedo la distribución de cargas en la simulación con los valores de la Tabla 3.

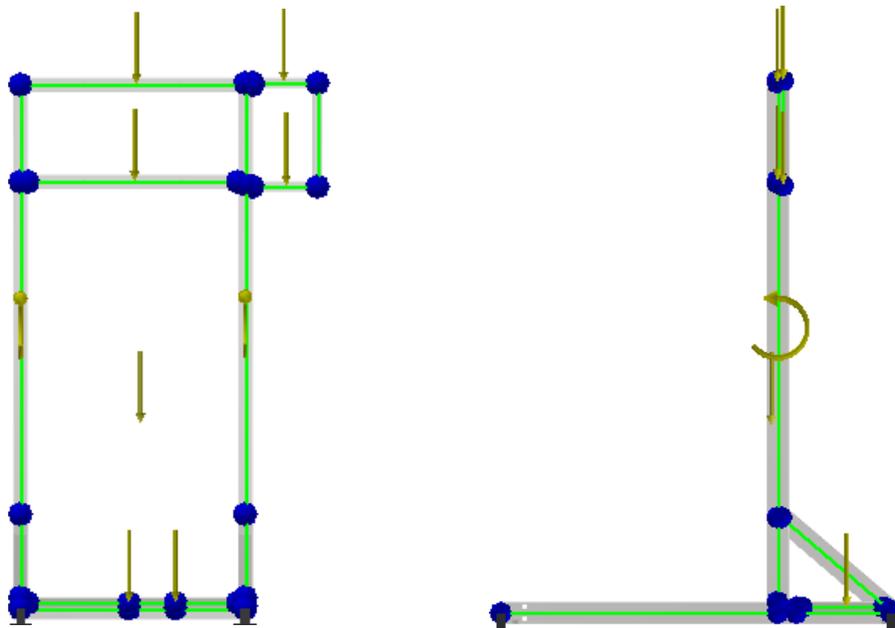
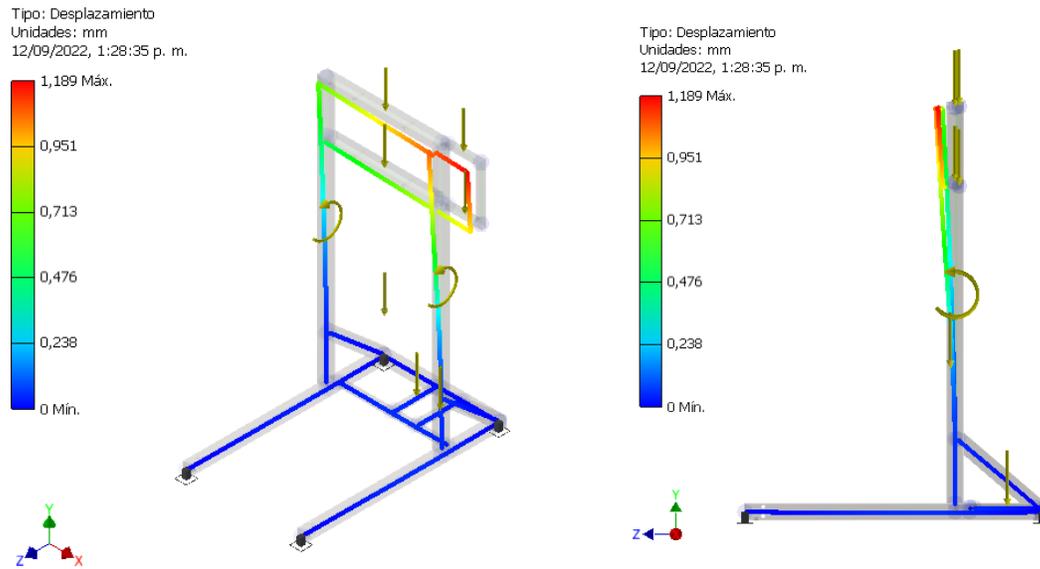
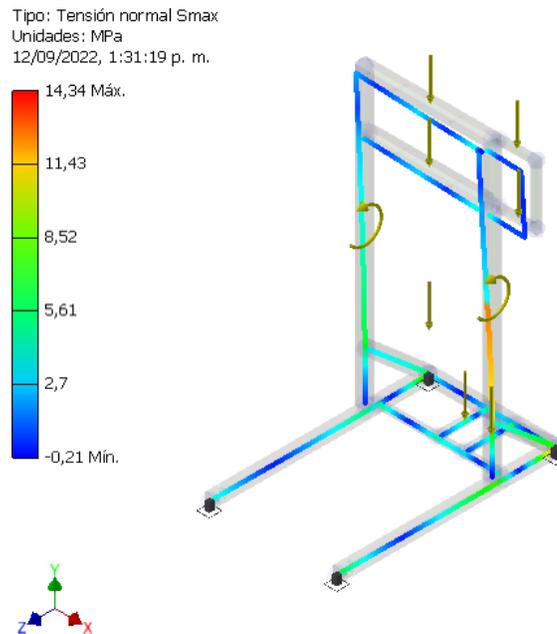


Ilustración 23. Distribución de cargas en sistema estructural.

Después de la simulación se obtuvieron los siguientes resultados:



*Ilustración 24. Desplazamiento estructura vertical.*



*Ilustración 25. Tensión normal máxima*

Los resultados que se obtuvieron fueron completamente los esperados, en cuanto al desplazamiento como se aprecia en la Ilustración 24 el punto más alejado fue el que se deformó más, esto debido al momento flector que ejerce la base que sostiene la bolsa y a las cargas superiores como son el cabezal móvil y el tablero de control, otro resultado esperado fueron los bajos esfuerzos a los que se somete la estructura y esto se debe en dos medidas:

- 1. Las fuerzas que actúan sobre la estructura son bajas, era claro desde un inicio que las cargas generadas por implementos eran casi despreciables, esto debido a el limitado número de componentes que van sobre la estructura, esto se intuyó debido a que en el proceso de despiece no se requirió de mayor esfuerzo para bajar las partes.
- 2. La tubería de la que se disponía era bastante robusta para las cargas, aunque la tubería tenga un factor de seguridad de 15 y este sobredimensionada para su función, el peso que aporta al ensamble genera en el operario la sensación de solidez y estabilidad.

#### 4.3.2.2. Estructura reposa cajas y estructura soporta bolsas

Estas piezas, aunque son importantes para el sistema de llenado, las cargas que actúan sobre ellas son despreciables, ya que en ambos casos se puede estimar que el peso que soportan es el de una bolsa de 5 litros (Que se asumirá su peso es de 5 kg) lo que no debería repercutir en cuanto a deformación y esfuerzos. Por otra parte, en este apartado se tomará en cuenta necesidades del diseño que se tuvo.

**Estructura reposa cajas:** El requerimiento que se tenía para la estructura reposa cajas Ilustración 26 fueron los siguientes:

- Fácilmente desmontable
- Variabilidad en la altura, esto debido a que no todas las cajas son iguales

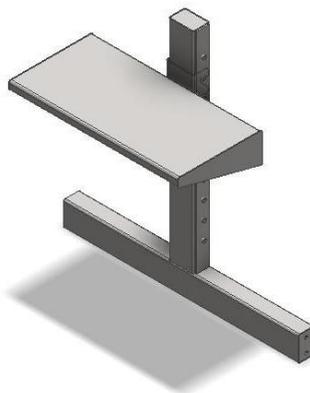


Ilustración 26. Sistema reposa cajas

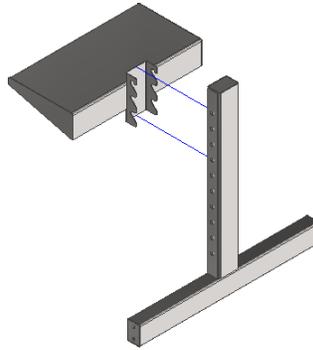


Ilustración 27. Partes sistema reposa cajas

Se abordaron el problema de variabilidad en la altura mediante un grupo de pines espaciados 42 mm como se ven en la Ilustración 27 entre ellos permitiendo así un delta en el tamaño de la caja de 37 cm, además de que se agregó la fijación a la estructura por medio de dos tuercas remaches ubicadas en los extremos inferiores.

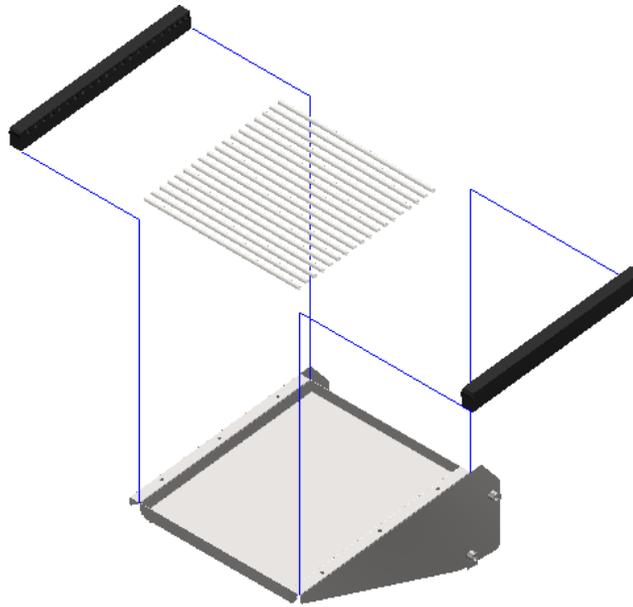
**Estructura soporta bolsas:** Los requerimientos necesarios para la estructura Ilustración 28 fueron los siguientes:

- Los ejes deben ser móviles y permitir el desplazamiento de la bolsa hacia la caja
- Se debe tener acceso a la bandeja recolectora de líquidos, y a su vez esta debe de tener un deshago o salida para evitar acumulación de fluido en esta.



Ilustración 28. Mesa soporte bolsas.

De manera que los ejes fueran móviles se usaron dos matrices de UHMW con perforaciones para embujar los cilindros, y permitir de esta manera que fueran libres de girar Ilustración 29, se seleccionó el material UHMW [16] debido a su muy baja absorción con los líquidos, alta resistencia a la temperatura y al estar aprobado para el contacto con alimentos según la FDA. Las matrices del UHMW se fijan a la bandeja de fluidos gracias a dos tornillos que se encuentran en la parte inferior y que solo son accesibles por una llave para evitar la manipulación accidental.



*Ilustración 29. Acceso a bandeja de fluidos, montaje de rodillos.*

#### **4.3.3. Módulo o unidad de llenado.**

La unidad o módulo de llenado es una de las más críticas dentro del sistema de envasado, ya que esta se encuentra en todo momento en contacto con el alimento, esto implica que una mala selección de elementos podría generar contaminación en el producto, es por esto que se decidió que la compra de estos elementos sería con proveedores que garanticen el grado alimenticio y en el caso de la fabricación implicaría el uso de aceros inoxidables con acabado sin porosidades.

##### **4.3.3.1. Selección de la bomba**

Para la selección de la bomba se encontró que existen diferentes referencias para seleccionar, entre las más comunes se encuentra la bomba de membrana, la bomba peristáltica de tubo y la bomba de rodete flexible. Cada una de estas ofrece ventajas y desventajas.

**Bomba de membrana:** Son bombas de desplazamiento positivo, generalmente alternantes, el método por el cual impulsa el fluido es a través de la compresión y descompresión de un diafragma en su interior, comprimiendo el líquido e impulsándolo, la membrana puede tener una función de aspiración de líquido o impulsión, su accionamiento puede ser eléctrico o mecánico, presenta dificultad a la hora del cambio de la membrana por ruptura. [15]

**Bombas peristálticas:** Son bombas de baja presión que desplazan el líquido a través de un tubo por medio de la compresión por rodillos sobre este, debido a su método de funcionamiento tienen muy bajo rango de maniobrabilidad en cuanto a presión y caudal.

**Bomba de rodete flexible:** También llamada como bomba de impulsor de caucho, es una bomba con cavidad excéntrica y un impulsor de caucho flexible, al girar dentro de la cavidad

al no ser simétrica los fluidos que se albergan entre diente y diente se van comprimiendo a medida que gira, y finalmente impulsándolo.

Entre estos tres modelos de bomba se eligió la bomba de rodete flexible, esto debido a su sistema sencillo, su alto espectro de selección de flujo y presión, y a su diseño sencillo que permite rápidamente el intercambio de partes como la identificación de problemas, además de que permite impulsar fluidos de altas y bajas viscosidades o líquidos con partículas disueltas.

Para la selección de la bomba se tienen las siguientes condiciones:

- Debe tener la capacidad de llenar una bolsa de 5 litros en 8 segundos
- Debe ser de un material que no afecte las propiedades químicas de los alimentos.
- Debe tener completo aislamiento del exterior
- Debe ser de fácil mantenimiento, accesible cada uno de sus componentes y ser hermético contra los elementos externos.
- Debe incluir el motor.

Para llenar una bolsa de 5 litros en 8 segundos tenemos que su caudal es de:

$$Q = v/t$$

$$Q = \frac{5 \text{ l}}{8 \text{ s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ gal}}{4.54 \text{ l}}$$

$$Q = 8.3 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \text{ o } 8.3 \text{ US GPM}$$

Con este valor de flujo y la tabla característica de la bomba Ilustración 30 se tiene que la bomba que mejor puede funcionar y se acopla mejor es una bomba de referencia RF 05/25 [11] que puede entregar 8 GPM hasta una presión de cabeza de 30 metros de altura, lo cual para el ejercicio de la llenadora esta sobredimensionado ya que la máxima elevación a la que hay que llevar el líquido es de 2 metros, pero esto nos implica que existe margen para la selección de caudal y presión en caso de necesitar variaciones.

Algunas de las características que posee esta bomba son:

- Todas las piezas en contacto con el producto son de acero inoxidable 316L de grado 1.4404
- El resto de las piezas metálicas se encuentra fabricadas en acero inoxidable 304 de grado 1.4301
- El rodete o embolo es de Neopreno, de fácil extracción
- Acabado pulido brillante con acabado superficial de 0,8  $\mu\text{m}$
- Entrada y salida de fluido por unión clamp DIN 11851

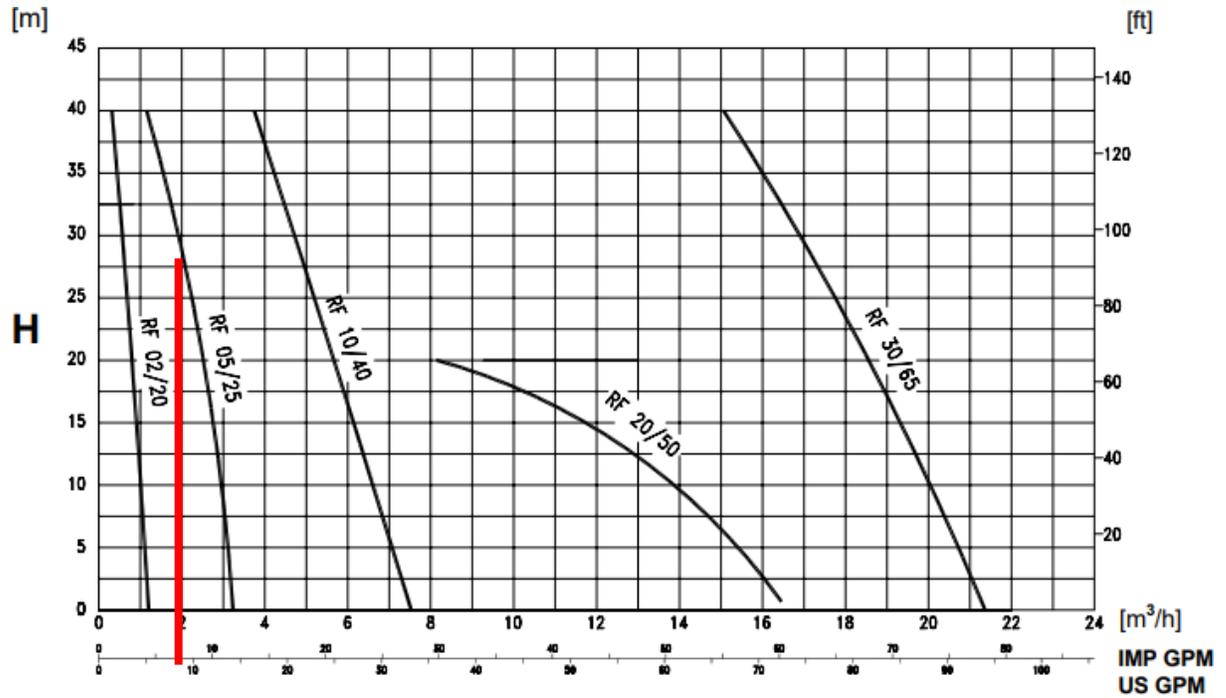


Ilustración 30. Curvas características de las bombas flujo vs altura

Debido a que la bomba no tiene NPSH todo el líquido debe siempre de almacenarse por un nivel superior al que se situó la bomba, es por esto por lo que se toma la decisión de instalar la bomba en la parte más inferior de la estructura como se ve en la Ilustración 31

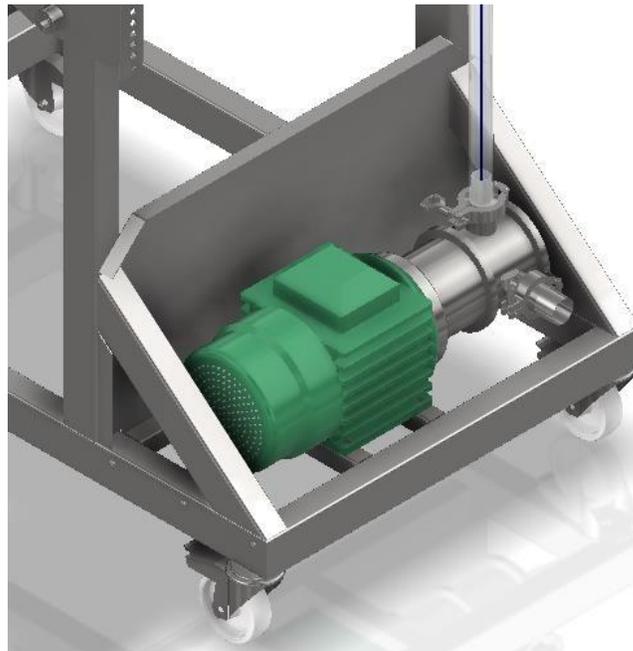
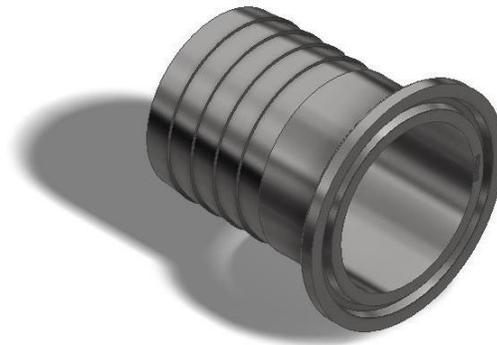


Ilustración 31. Posicionamiento bomba

#### 4.3.3.2. Uniones y mangueras

Las uniones y conexiones se llevaron a cabo a través de 4 elementos que permiten la hermeticidad entre las uniones sólidas y los elementos flexibles como son las mangueras y fuelles.

- **Férula racor espina de pescado 2”**: Estos elementos son los primeros que se encuentran luego de que el fluido abandone la bomba, permiten crear hermeticidad entre la bomba y la manguera, esto lo consigue por medio de dos cosas, su empaque en forma de anillo en la sección ferulada y su sección escalonada también llamada espina de pescado que entra a presión en la manguera, estos cambios de sección escalonada impide que el fluido en la manguera escape al generar diferentes anillos de aire aislante un ejemplo de ella se ve en la Ilustración 32.



*Ilustración 32. Férula racor espina de pescado 2"*

- **Unión clamp**: La unión clamp no es mas que una abrazadera que se encarga de generar carga axial entre la férula del motor y la férula espina de pescado para que se compacte el empaque en forma de anillo e impida las fugas un ejemplo de unión clamp se ve en Ilustración 33.



*Ilustración 33. Unión clamp*

- **Manguera flexo metálica:** La manguera flexo metálica es una manguera de grado alimenticio aprobada por la FDA (Food and Drug Administration) que permite el transporte de los líquidos sin alteración de sus propiedades, esta manguera tiene un refuerzo metálico en acero inoxidable para brindarle una mejor vida útil y resistencia al desgaste por movimiento, un ejemplo de ella se ve en la Ilustración 34. [17]



*Ilustración 34. Manguera flexo metálica*

- **Abrazadera para manguera:** La abrazadera para manguera es de acero inoxidable, su función es presionar la manguera contra los escalones del racor espina de pescado, para de esta manera aumentar más la dificultad para que el líquido escape, un ejemplo de esta se ve en la



*Ilustración 35. Abrazadera inoxidable para manguera*

#### 4.3.3.3. Sensor de flujo

Para el sensor de flujo debido a la precisión que se requería se optó por escoger un sensor inteligente de fluido Ilustración 36, esto con el fin de evitar errores en la medición, y a su fácil conectividad con otros dispositivos, además de enviar una señal analógica para un cálculo más preciso a la hora de la selección de volumen. El sensor al ser de índole electromagnético tiene un error en la lectura de  $\pm 0.8\%$  y  $\pm 0.2\%$  d.f.e. también permite detectar cuando existe una regresión en el producto impidiendo errores en el cálculo volumétrico final en el envase. Sus materiales son acero inoxidable 316L de grado 1.4404 y tiene un rango de trabajo de hasta 750 l/min a una presión de 15 bar. [18]

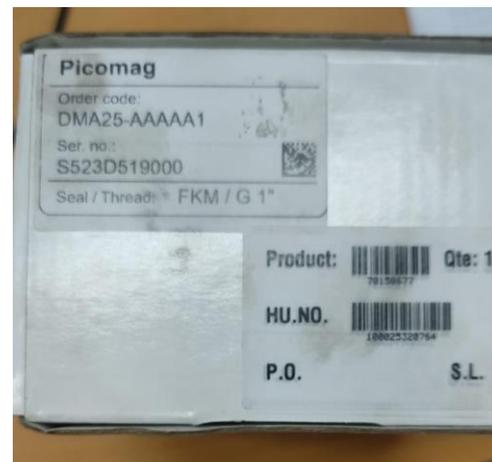
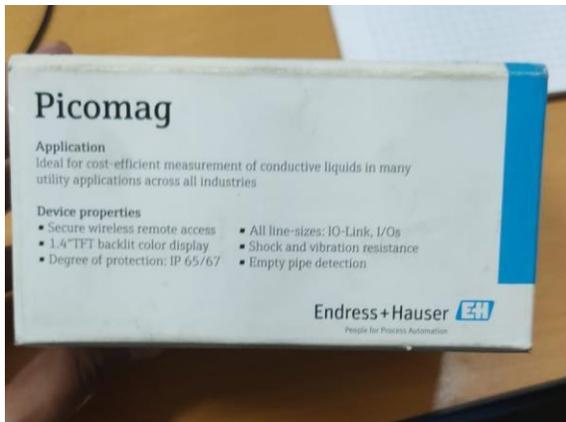


Ilustración 36. Embalaje sensor electromagnético Picomag

#### 4.3.3.4. Boquilla de llenado

El sistema de boquilla junto con el sistema de mandril son los más complejos de realizar su diseño, ya que implica de un sistema de compuertas para la comunicación de los fluidos, además de un sistema de empaques para que no exista fugas ni goteos. El diseño que se planteó fue el siguiente Ilustración 37 e Ilustración 38:

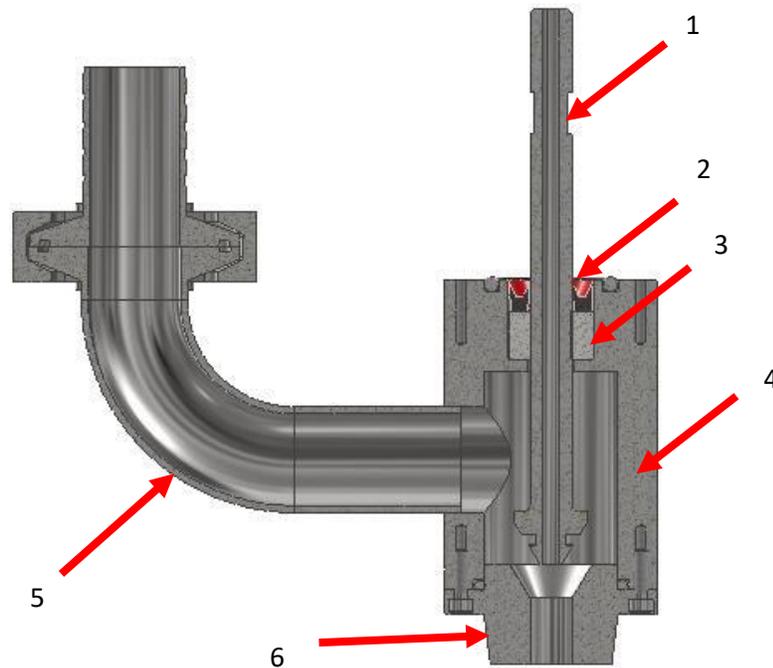


Ilustración 37. Corte boquilla de llenado, partes

**1-Eje de sellado:** El eje de sellado al descender y tocar la pieza 6 crea un sello gracias a el contacto entre las superficies y al empaque que se instala en la ranura de su sección cónica, a su vez el eje es hueco para en el momento de cerrar el paso de fluido, inyectar una ráfaga de nitrógeno que protegerá el producto del exterior unos breves minutos mientras el operario instala la tapa rosca.

**2-Empaque tipo k:** El trabajo del empaque tipo K es presionar la superficie cilíndrica de la pieza 1 impidiendo que entren agentes contaminantes, como de que salga material alimenticio.

**3-Buje nylon:** El buje de nylon es la primera barrera que existe con tra la contaminación exterior, es el que limpia la mayoría de la superficie cilíndrica de la pieza 1, para que de esta manera el empaque tipo K retenga lo que se escapa, además es la guía que alinea la pieza 1 con el sistema.

**4-Cuerpo cabezal de llenado:** Es el encargado de contener el líquido mientras no se genera una acción de llenado.

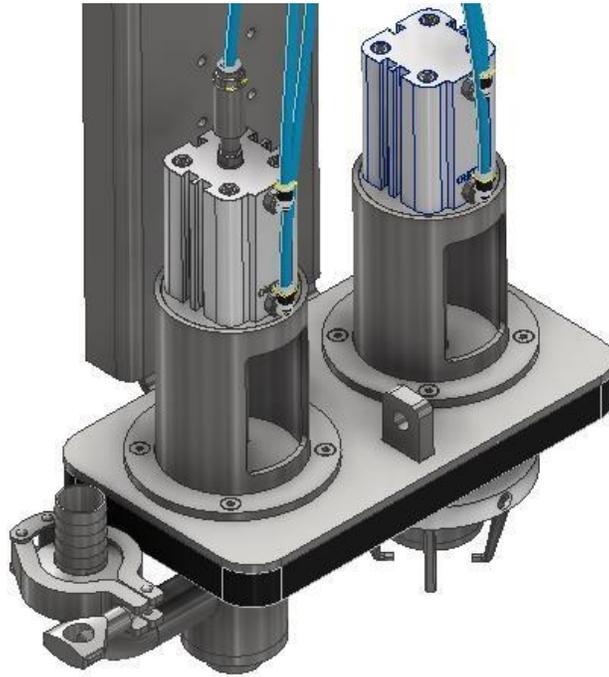
**5-Ducto de entrada:** Por esta tubería sería el lugar donde entra el alimento líquido, es el otro extremo al que se une la manguera después del sensor de flujo electromagnético.

**6-Boquilla de llenado:** Esta boquilla es desmontable, lo que permite la introducción de la pieza 1 dentro de la recámara de la pieza 4, esta se une a la pieza 4 a través de uniones pernadas.



*Ilustración 38. Despiece boquilla de llenado*

El método de accionamiento del sistema de boquilla se da gracias a un solenoide y a un pistón neumático de doble efecto con vástago pasante, esta fue la selección de pistón debido a que al perforar su vástago y roscar sus dos lados se puede generar una vía ininterrumpida de nitrógeno hasta el socket de la bolsa, mientras se cumple con la función de desplegar o retraer el eje de paso de fluido, los elementos cilíndricos sobre los que se instalan los pistones fueron diseñados para poder acceder rápidamente a la unión niple entre el vástago del pistón y el vástago de la boquilla como se ve en la Ilustración 39.



*Ilustración 39. Accionamiento sistema de boquilla.*

#### **4.3.4. Módulo o unidad de desplazamiento**

La unidad de desplazamiento es la que permite el cambio entre los módulos de llenado y sellado, anteriormente en la versión del equipo físico del que se disponía este desplazamiento se llevaba a cabo a través de un movimiento rotacional, lo que según el cliente dificultaba su trabajo y en algunas ocasiones se salía del área, creando interferencia con otras máquinas o elementos, es por esto que se decide cambiar a un método de desplazamiento más convencional, como es el cartesiano donde hay un movimiento horizontal y uno vertical.

Estos movimientos se van a llevar a cabo gracias a rodamientos lineales, estos rodamientos se conforman de dos partes, el riel por el cual se lleva a cabo la traslación y el cuerpo que contiene los elementos rotatorios el cual es el que viaja por la guía.

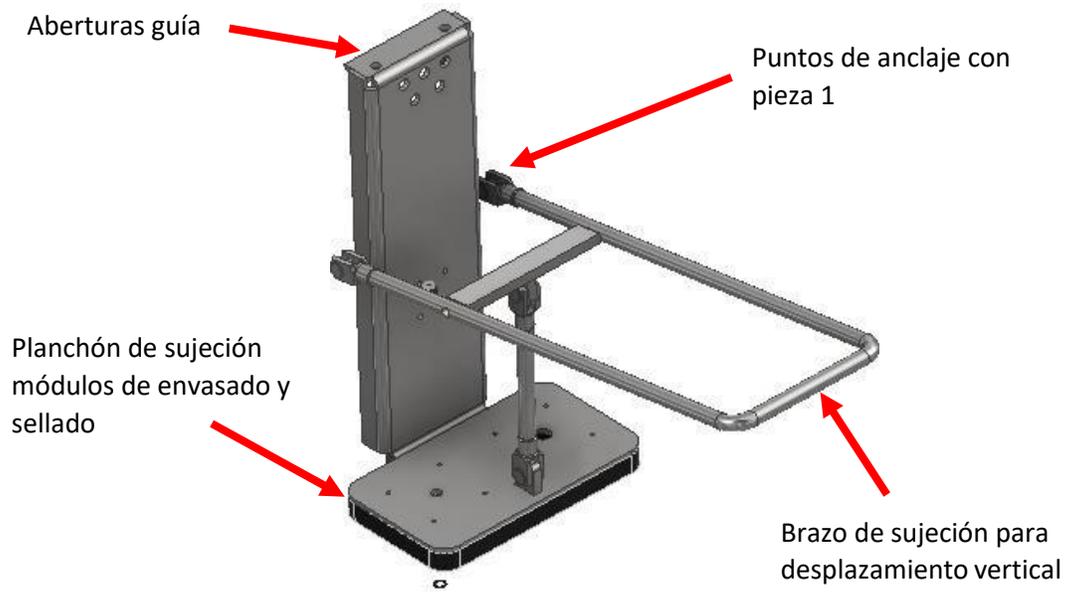
Para generar este movimiento horizontal que permita el cambio entre módulos se toman dos rodamientos lineales, y se anclan por medio de pernos a la estructura vertical, esto permitirá un desplazamiento de 300 milímetros que es más que suficiente para el cambio, adicional a

esto es necesario una placa que una ambos elementos rodantes para tener una alineación vertical y que tanto el depósito de material como el sellado sea correcto impidiendo derrames. Adicional a esto, se instaló un rodamiento lineal de manera vertical junto con un grupo guías por donde se desplazará la pieza número 2.



*Ilustración 40. Módulo de desplazamiento horizontal*

La pieza número 2 encargada del desplazamiento vertical se ancla por medio de pernos al elemento rodante vertical en la Ilustración 40, pero para más claridad en la se dejara el elemento rodante para que se entienda la conexión Ilustración 42, además de esto en la parte superior el elemento número 2 tiene un par de agujeros que funcionan como guías y que coinciden con las guías cilíndricas soldadas en la pieza número 1, con estos 3 ejes se logra una alineación de la pieza 1 con la 2 y funcionan como riel guía que le impide generar alguna inclinación, además de esto en la pieza número 2 se encuentra el sistema de palanca por el cual el operario sube o baja los cabezales de llenado y sellado como se aprecia en la Ilustración 41.



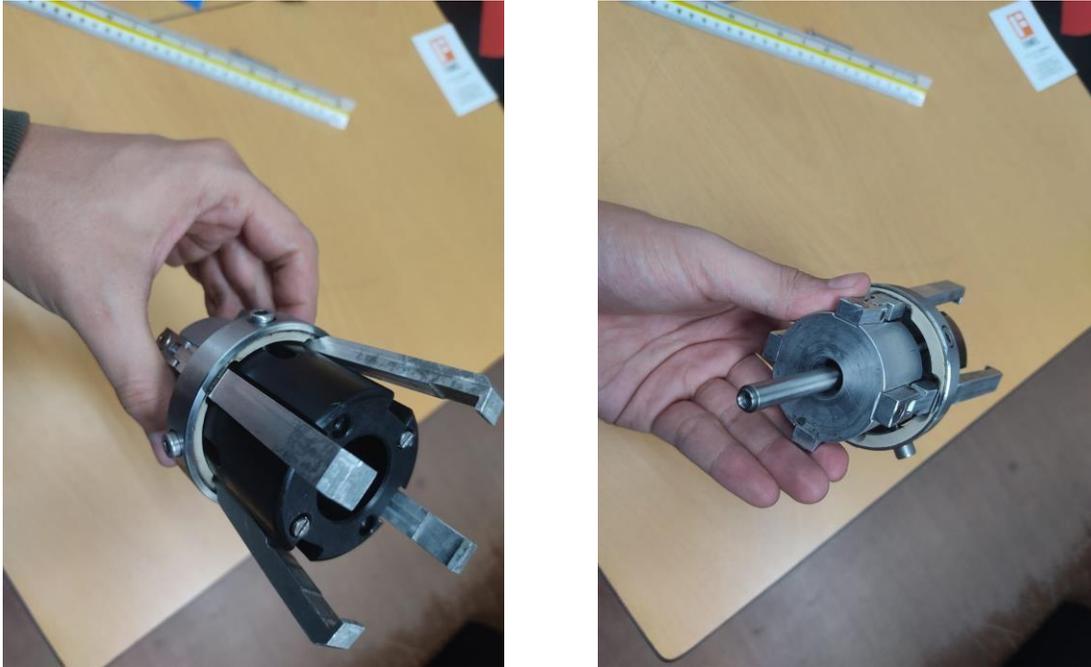
*Ilustración 41. Módulo de desplazamiento vertical vista frontal*



*Ilustración 42. Módulo de desplazamiento vertical vista posterior*

#### 4.3.5. Módulo o unidad de sellado.

El módulo de sellado es un sistema mecánico accionado por un pistón neumático que al alongarse o contraerse, abren o cierran las garras encargadas de la sujeción de las tapas. Es un sistema bastante complejo del cual no se pudo obtener más información al desmantelar el equipo en existencia, se decidió tomar papel en el diseño y dejar atrás la sugerencia de la Ilustración 43.



*Ilustración 43. Diseño de mandril, llenadora en existencia.*

El diseño que se planteó y ejecuto, tiene un sistema de apertura mecánico, que al alongarse el pistón fuerza el sistema a abrir el juego de pinzas, mientras que si se contrae obliga a las pinzas a cerrarse sosteniendo lo que se encuentre dentro de ellas. Todo esto se consigue gracias al diseño de garra que tiene y a la geometría que se le dio durante el diseño ver Ilustración 44.

Entre las piezas que conforman el sistema de mandril se tiene:

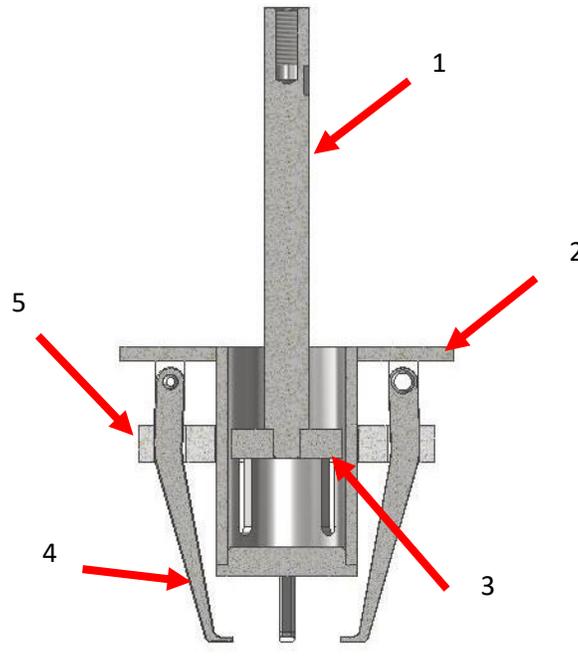
**1-Eje vertical:** La pieza 1 es la encargada de transmitir el movimiento del cilindro neumático a la pieza número 5.

**2-Brida sistema de sujeción:** Esta brida es la encargada de funcionar de tope para la tapa prensada junto con la pieza 4, además de aportar canales para el correcto desplazamiento de la pieza 5 y se produzca un correcto cierre.

**3-Disco de sujeción:** Debido a que la pieza 5 se une a través de perno al centro se requiere de este disco de sujeción para aumentar la profundidad en la cual puedan entrar los tornillos. De la misma manera este se une por medio de su rosca centra el eje vertical.

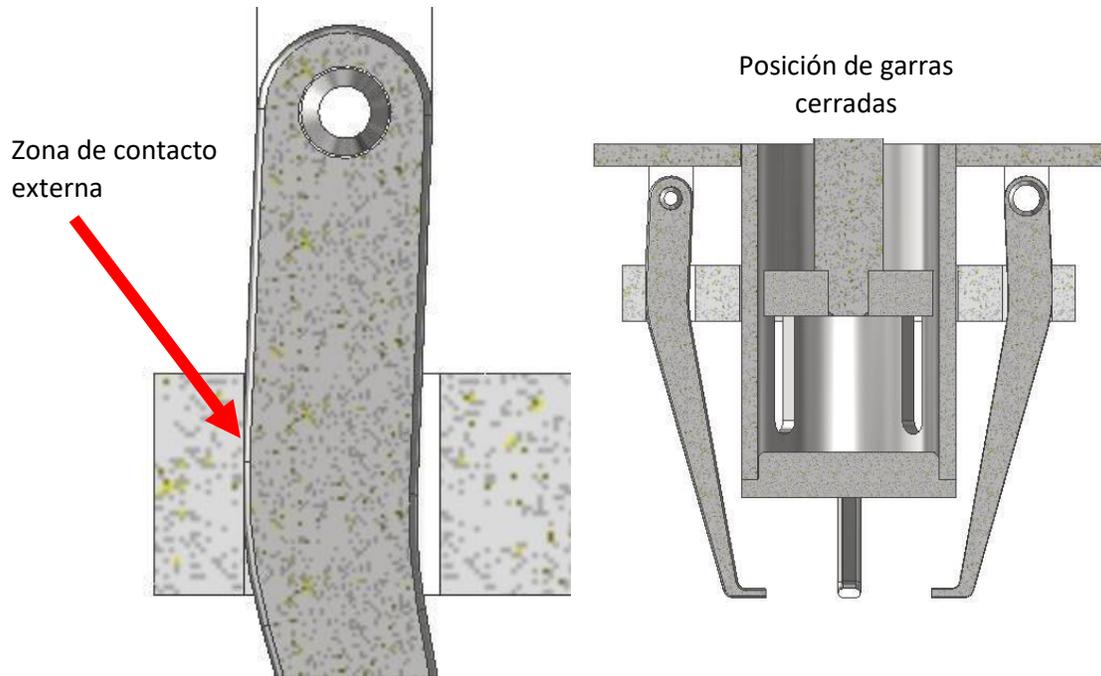
**4-Garras:** Son las encargadas de sujetar o liberar la tapa cuando la pieza 5 se los permita.

**5-Disco de empuje:** El disco de empuje es la pieza mas importante del sistema junto con las garras, este es el que presiona o libera las garras gracias a su geometría. Este hecho en UHMW esto debido a que existe un rozamiento constante entre las garras y este, y de ser ambos en acero inoxidable puede llegar a darse un desgaste homogéneo en todas las piezas, mientras que si el disco de empuje es de UHMW el elemento mas blando es el que se consume, ósea el disco, además de que existe un menor coeficiente de fricción entre estos dos materiales a comparación del roce entre dos metales.

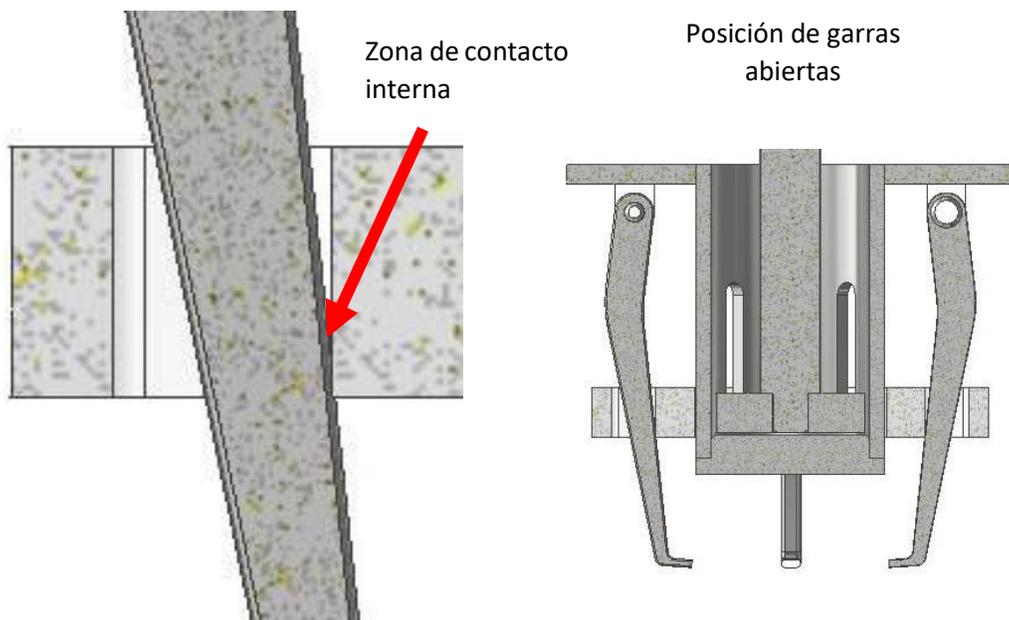


*Ilustración 44. Sistema de mandril, sujeción tapa*

**Como ocurre el movimiento de las garras:** Este movimiento se debe a que, al desplazarse el disco de empuje, la superficie que entra en contacto con la garra es diferente, en el caso de las garras cerradas, el contacto se genera en el lado exterior, lo que implica que la fuerza resultante está empujando las garras hacia adentro, y por ende presionando la tapa como se ve en la Ilustración 45. Por otro al bajar el pistón, ahora el contacto se produce en el lado interno entre las garras y el disco de empuje, lo que implica que la fuerza resultante del contacto expulsa las garras hacia afuera liberando los objetos que tiene bajo aprensión como se ve en la



*Ilustración 45. Caso garras cerradas*



*Ilustración 46. Caso garras abiertas*

### 4.4. Etapa 4. Elaboración de documentación de ensamblaje y evaluación de costos.

En esta sección se encontrarán los planos para el ensamble de la maquina llenadora vertical para alimentos líquidos que van de la Ilustración 47 a la Ilustración 56.

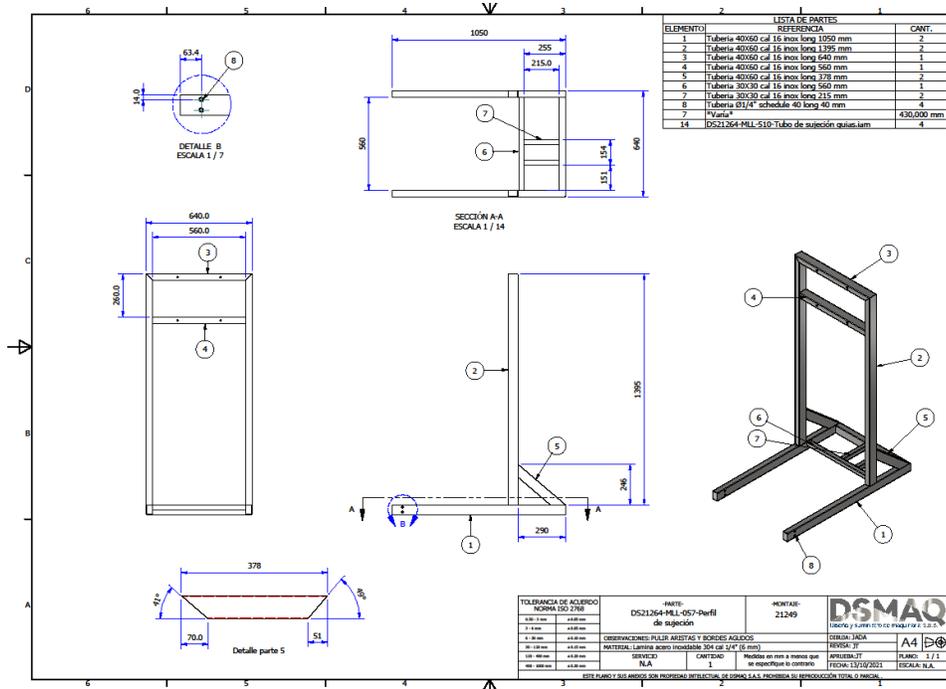


Ilustración 47. Plano ensamble estructura vertical.

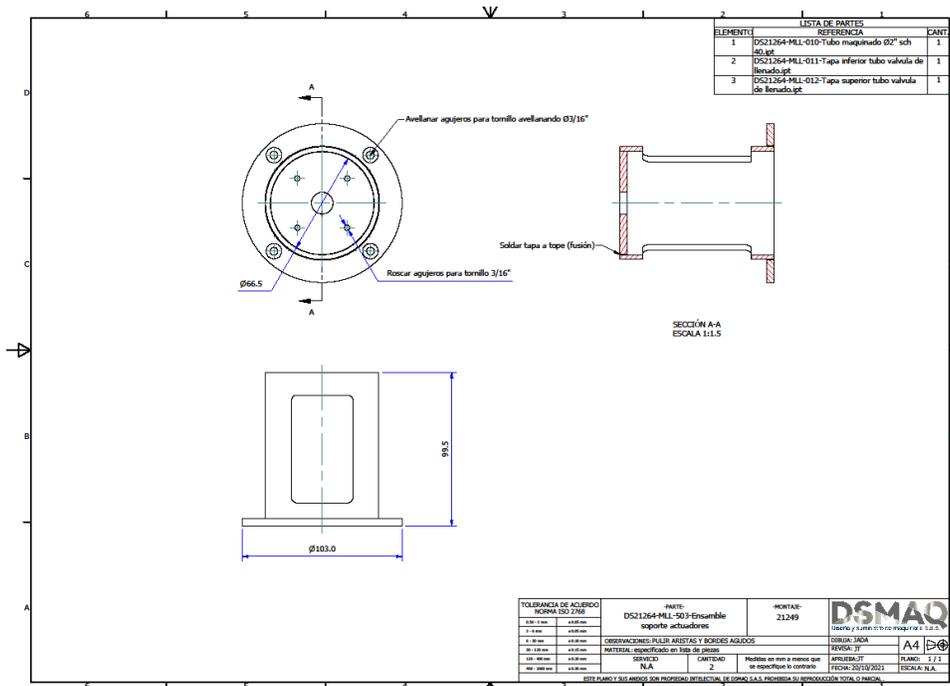


Ilustración 48. Plano de ensamble guarda protectora pistones

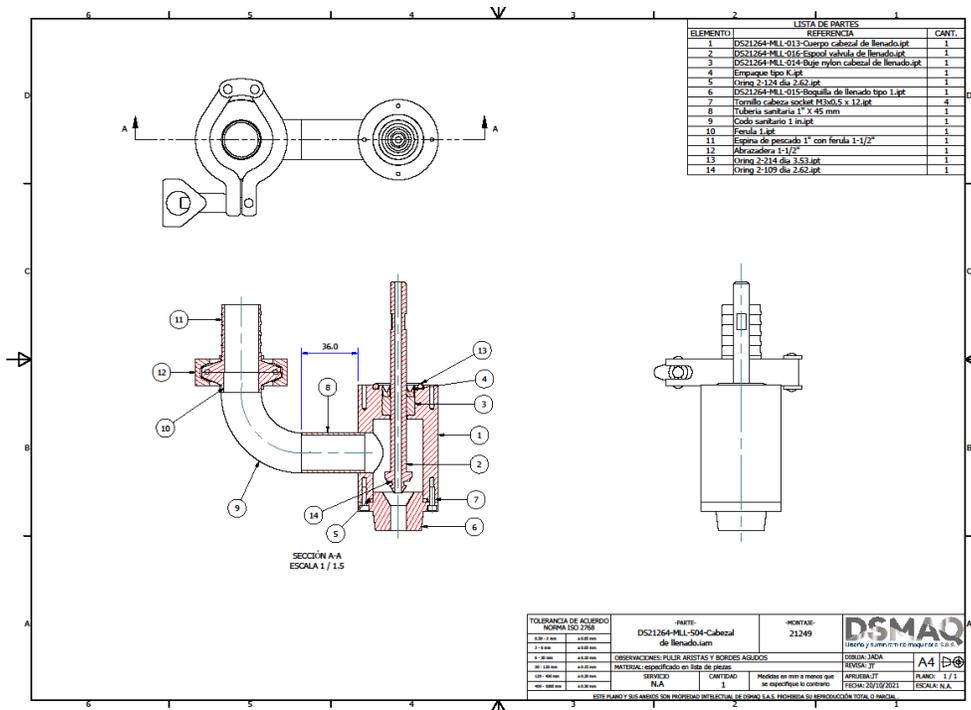


Ilustración 49. Plano de ensamble boquilla de llenado

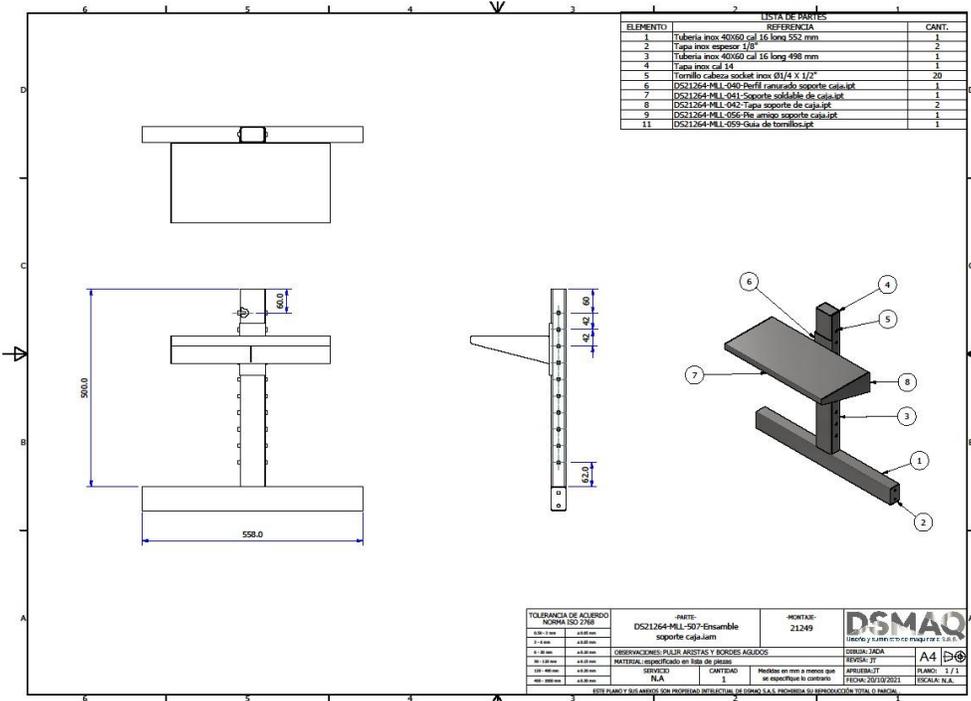


Ilustración 50. Plano de ensamble soporte para caja

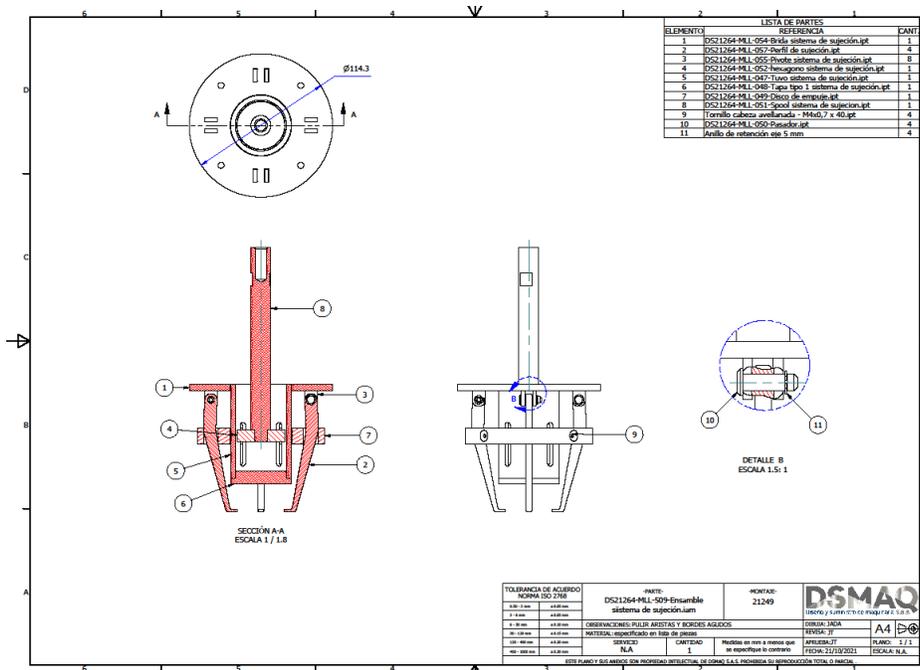


Ilustración 51. Plano de ensamble sistema de mandril

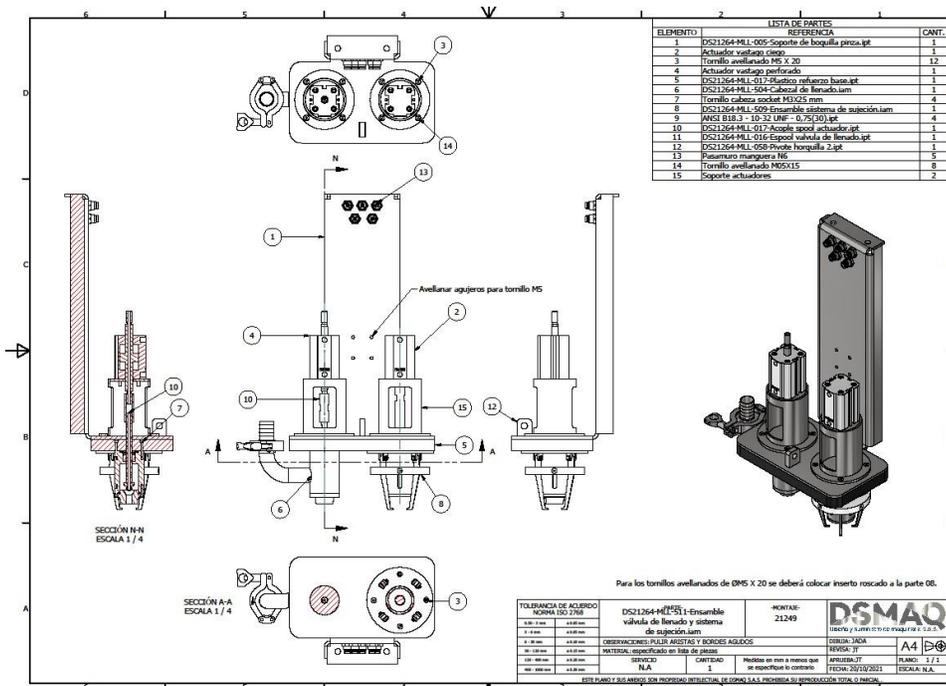


Ilustración 52. Plano de ensamble bancada módulos de envasado y sellado

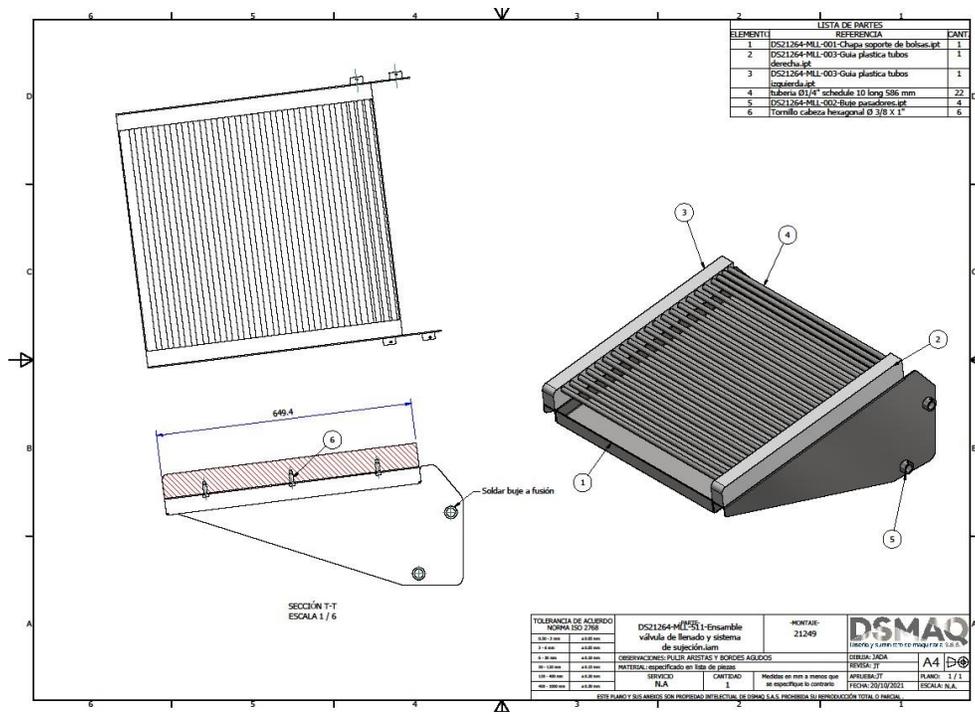


Ilustración 53. Plano de ensamble soporte para bolsas

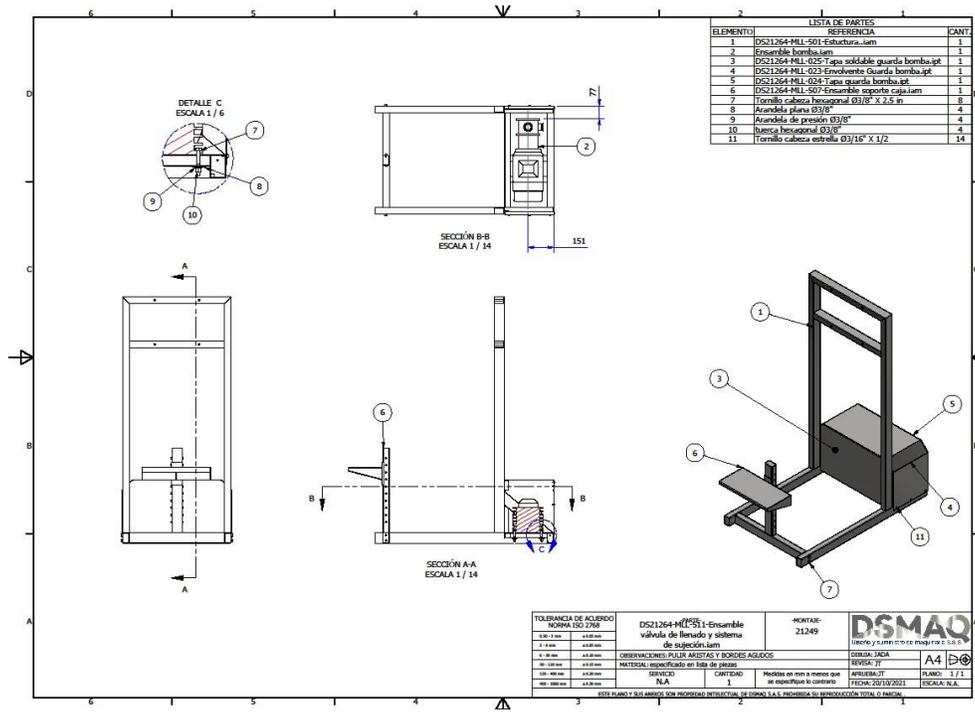


Ilustración 54. Plano de ensamble montaje de bomba

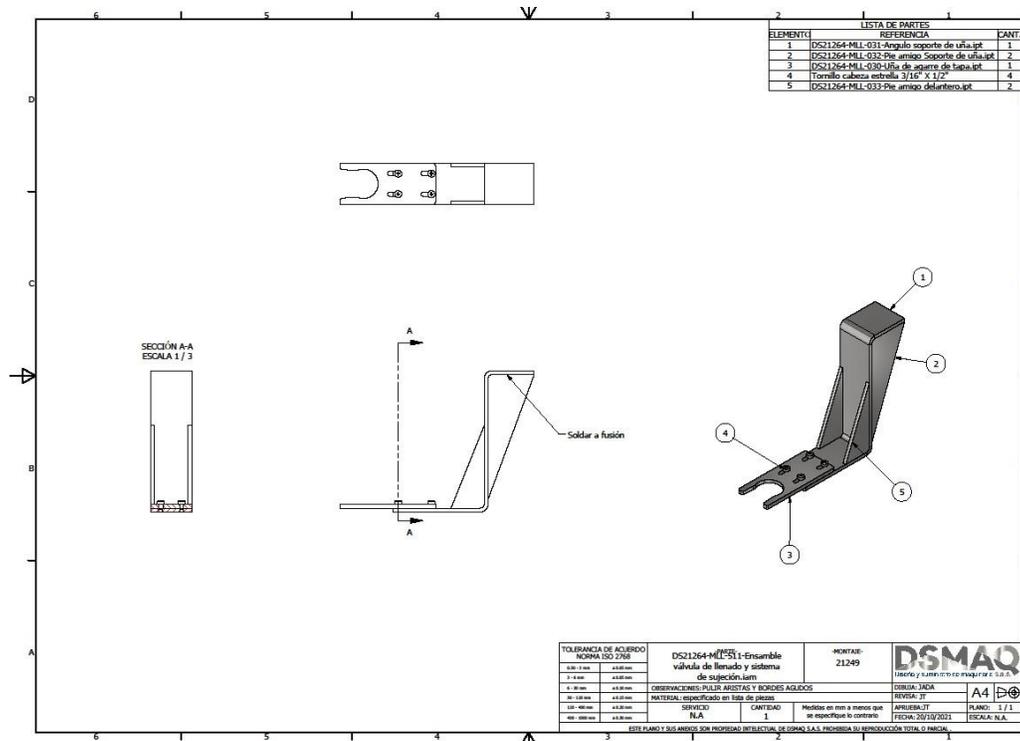


Ilustración 55. Plano de ensamble porta tapas

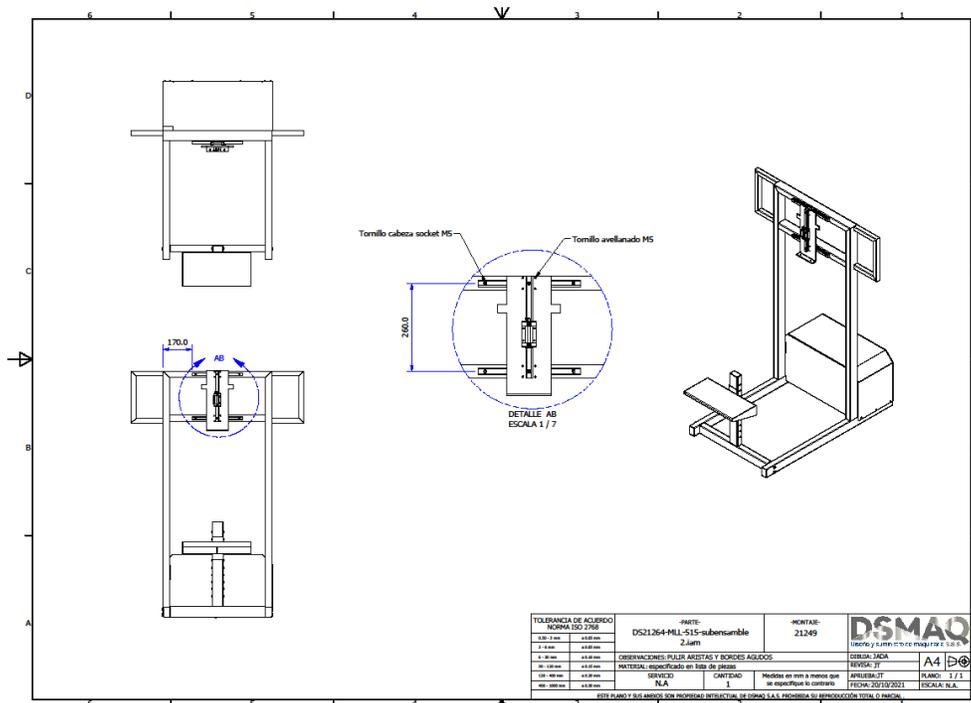
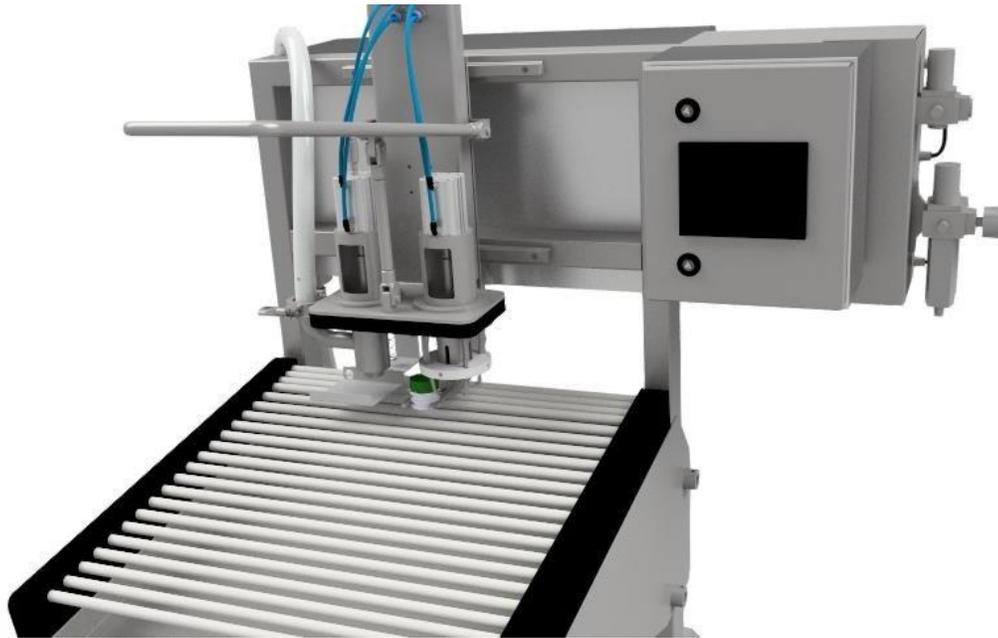


Ilustración 56. Plano de ensamble módulo de desplazamiento horizontal

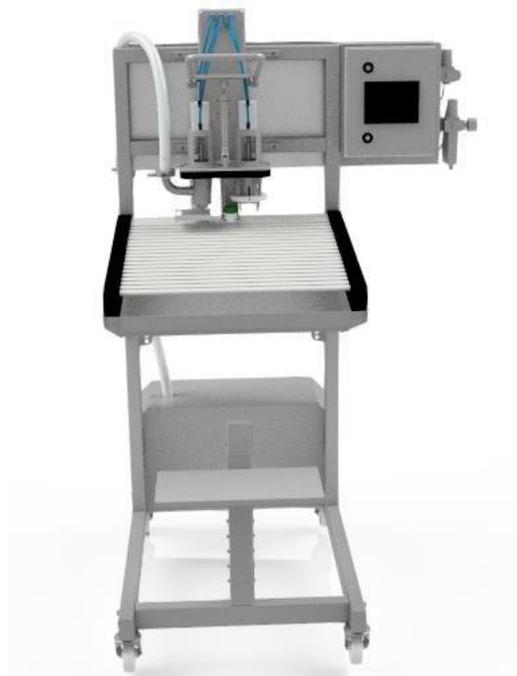
Finalmente se comparará el ensamblaje realizado en Inventor 2023 vs la máquina ya fabricada:



*Ilustración 57. Diseño final máquina 1*



*Ilustración 58. Diseño final máquina 2*



*Ilustración 59. Diseño final máquina 3*



*Ilustración 60. Máquina llenadora construida vista en ángulo*



*Ilustración 61. Máquina llenadora construida vista posterior*



*Ilustración 62. Máquina llenadora construida vista frontal*

El costo final de la máquina llenadora fue de un total de 30 millones de pesos, donde los componentes más relevantes fueron:

- Sistema de bomba con impulsor de caucho= 4.650.000 pesos
- Sensor electromagnético picomag = 5.760.000 pesos
- Valor de mecanizado de piezas = 1.700.000 pesos
- Valor de corte laser y dobléz = 980.000 pesos

## V. CONCLUSIONES.

- Tener un punto de partida físico ofrece una gran ventaja en comparación con el diseño conceptual desde cero, ya que permite encontrar falencias o carencias que solo se pueden encontrar en la puesta a punto.
- Debido al equipo suministrado por el cliente, el comprender el funcionamiento de un equipo es este caso un equipo de llenado resulta mucho más intuitivo cuando ves directamente el funcionamiento.
- Dentro de la experiencia obtenida durante el semestre de industria de debe entender que no en todas las empresas se cuenta con material nuevo y a su disposición, en muchas ocasiones es necesario el uso del material existente y acumulado, aunque esto conlleva algo de sobre costo.
- Aunque se hizo el diseño completamente en el software de modelado Inventor 2023, la máquina resultante difiere en ciertos componentes o ubicación de estos, esto se debe a que durante los tiempos de montaje se encontraron actos complejos de realizar, lo que implica una improvisación sobre el camino.
- Después de fabricada la nueva máquina llenadora, encontramos detalles a mejorar o incluso cambios en el diseño de componentes, un diseño nunca está finalizado, y se puede decir que esta llenadora es la versión 1.0 de muchas otras posibles, es por esto que los departamentos de ingeniería nunca descansan y se encuentran un busca de un modelo mucho mas completo, pero nunca perfecto.
- El mayor tiempo que se consume dentro del diseño y construcción de un equipo, no es ni la investigación, ni la modelación, ni la fabricación, es la puesta a punto, aunque en el software las cosas coincidan y casen, hay que recordar que el ser humano y los procesos de manufactura no son perfectos y dentro de cada sistema existen unas tolerancias y márgenes, entonces lo más probable es que al final se encuentra con problemas de alineación, o una mala conexión de componentes que impide el funcionamiento.
- Los cronogramas se encuentran muy alejados de la realidad, siempre existen inconvenientes, mal entendidos, atrasos y otros miles de indisposiciones que impiden obtener a tiempo las cosas que se requieren.

## VI. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Asenix, (29 de agosto de 2020), Norma sanitaria de manipulación de alimentos, Asenix, <https://www.asenix.com.co/post/norma-sanitaria-de-manipulaci%C3%B3n-de-alimentos>
- [2] Forero, María Teresa, (1997), Decreto 3035 de 1997, Ministerio de salud, [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf)
- [3] Npack, (2010), ¿Sabes cómo funciona la máquina de llenado de piston?, npackmachine.com, <https://es.npackmachine.com/do-you-know-how-the-piston-filling-machine-work.html>
- [4] Tecnoembalaje (19 de Enero de 2021), Dosificador de pistón doble para líquidos viscosos 1000 cc, tecnoembalaje.com, <https://tecnoembalaje.com/producto/dosificador-doble-de-piston-para-liquidos-de-alta-viscosidad-modelo-e-fp-1000d2/>
- [5] Electroclub, (14 de abril de 2020), Diagrama Ladder de la aplicación de botellas PLC marca delta, Electroclub.com, <http://www.electroclub.com.mx/2020/04/diagrama-ladder-de-la-aplicacion-de.html>
- [6] Kenwigh, (2015), Sistema de pesaje y empaquetado vertical, kenweigh.com, [https://es.kenweigh.com/vertical-weighing-and-packaging-system?gclid=Cj0KCQjwsrWZBhC4ARIsAGGUJuomLL7v284g6EeZib8MH4GJUwP8KktaCuN4XC\\_G77-SS94KbVWgRoaAgn2EALw\\_wcB](https://es.kenweigh.com/vertical-weighing-and-packaging-system?gclid=Cj0KCQjwsrWZBhC4ARIsAGGUJuomLL7v284g6EeZib8MH4GJUwP8KktaCuN4XC_G77-SS94KbVWgRoaAgn2EALw_wcB)
- [7] Castells, (2022), Caja con bolsas para dialisis [https://subastascastells.com/frontend.sitio.visuallote.aspx?csu84IASmdG\\_j0FZo6cOtMiW8HijVtbcg\\_iYS9cnw6Xid7yHXPmk2X57IFC03BR1](https://subastascastells.com/frontend.sitio.visuallote.aspx?csu84IASmdG_j0FZo6cOtMiW8HijVtbcg_iYS9cnw6Xid7yHXPmk2X57IFC03BR1)
- [8] Olunropack, (2015), Bag in box, <https://www.olunropack.com/bag-in-box/>
- [9] Fixedtop, (2016), Bags in box – tamaños, <https://fixedtop.com/baginbox/>
- [10] Siemens, (2017), s7-1200, <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- [11] Zamorán D.; Manual de procesamiento lácteo; 2010.
- [11] Murillo, Luis Diego (Diciembre, 2008), Redes de Petri modelado e implementación de algoritmos para automatizables programables
- [12] Jnaceros, (16 de octubre de 2018), Acero inoxidable 304 y 316: Distintos grados ofrecen Resistencia unica a la corrosión, <https://jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-304-316-resistencia-corrosion/>
- [13] Dqscaribe, (2014), Los aceros inoxidables para alimentos y los imanes, <https://dqscaribe.com/los-aceros-inoxidables-para-alimentos-y-los-imanos/#:~:text=El%20acero%20inoxidable%20m%C3%A1s%20utilizado,bien%20las%20temperaturas%20de%20trabajo.>

- 
- [14] Inoxpa, (2016), RF Bomba de rodete flexible,  
<https://www.inoxpa.es/productos/bombas/bombas-volumetricas/bomba-de-rodete-flexible-rf>
- [15] Archive, (25 de febrero de 2020), Pump operation,  
[https://web.archive.org/web/20070909190100/http://www.yamadapump.com/flash\\_files/ndp\\_pump\\_operation.html](https://web.archive.org/web/20070909190100/http://www.yamadapump.com/flash_files/ndp_pump_operation.html)
- [16] Suimte, (2012), UHMW polietileno de ultra alto peso molecular,  
<https://suimte.com/uhmw-polietileno-de-ultra-alto-peso-molecular>
- [17] solservice, (2014), Mangueras metalicas flexibles linea sanitaria,  
<http://solservice.com.co/sanitaria.php>
- [18] Endress+Hauser, (2018), Picomag caudalímetro electromagnético,  
<https://www.co.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/caudalimetro-electromagnetico-servicios-auxiliares?t.tabId=product-overview> [20] ThCno; INSIDE THE FACTORY | CHEESE MAKING & DAIRY MAKING; 2019; obtenido de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=1iYPYQu98Z0>