

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de máquina de limpieza de botellas para el laboratorio
de automatización industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Nancy Alejandra Mazariegos
Ortiz para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Mecatrónica

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




**Diseño de máquina de limpieza de botellas para el laboratorio
de automatización industrial de la Universidad del Valle de
Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Nancy Alejandra Mazariegos
Ortiz para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Mecatrónica


Guatemala,

2021

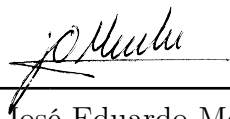
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Kurt Emmanuel Kellner

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Kurt Emmanuel Kellner

(f) 
MAEB. Otto Armando Girón

(f) 
Ing. José Eduardo Morales

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2022 .

El presente trabajo de graduación, que presenta un proyecto de diseño e investigación, ha sido elaborado por la esencial colaboración del equipo de la Línea de Producción, integrado por Andrea Marcela Ixquiac Madrigales, Dennis Abraham Reyes Molina, Julio Isaac Rodríguez Esbenshade, que realizaron los diseños integrales de las máquinas para el laboratorio de Centro de Innovación e Investigación, con la guía de nuestro asesor Ing. Kurt Emmanuel Kellner Juárez y miembros del equipo de catedráticos de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala.

En el ámbito personal menciono con especial agradecimiento a mis padres, Sebastian Mazariegos Herrera y Nancy Paola Ortiz Pimentel, por su apoyo incondicional durante este periodo de estudios universitarios.

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo general	5
4.2. Objetivos específicos	5
5. Alcance	6
6. Marco teórico	7
6.1. Automatización industrial	7
6.2. Reseña histórica - purificadores de aire	7
6.3. Normas y estándares de filtración	8
6.4. Sección neumática de la máquina	8
6.5. ¿Qué es una válvula?	9
6.6. ¿Qué es una válvula neumática?	9
6.7. Tipos de válvulas neumáticas	9
6.8. Definición de válvula direccional	10
6.9. Sistemas de accionamiento	10
6.10. ¿Qué es una red de aire comprimido?	10
6.11. ¿Qué función tiene una red de aire comprimido?	11

6.12. Elementos de una red de aire	12
6.13. Selección de diámetro de tubería de red de aire comprimido	12
6.14. Fundamentos de seguridad industrial	13
6.15. ¿Qué es un PLC?	13
6.16. Sección electrónica de la máquina	14
6.17. Sensores industriales digitales	14
6.18. Sensores capacitivos de proximidad	14
6.19. Lenguaje LADDER	16
6.20. Análisis mecánico - esfuerzos y deflexión	17
7. Casos de estudio para la selección de componentes	18
7.1. Caso 1: Normas y estándares de filtración	18
7.2. Caso 2: Estándar de la red de aire comprimido.	19
7.3. Caso 3: Válvula antirretorno	20
7.4. Caso 4: Válvula neumática	21
7.5. Caso 5: Sensor de detección de botellas	22
7.6. Caso 6: Estructura mecánica	23
7.7. Caso 7: Seguridad pasiva	24
8. Análisis y cálculos de diseño mecánico	25
9. Diseño asistido por computadora de la máquina de limpieza	29
10. Planos mecánicos de la máquina de limpieza - Prototipo	41
11. Plano neumático y eléctrico de la máquina de limpieza	45
12. Lista de materiales (BOM)	50
13. Conclusiones	53
14. Recomendaciones	54
15. Bibliografía	55
16. Anexos	57
16.1. Planos de perfiles definidos	57
17. Glosario	60

Lista de figuras

1.	Modelo educativo de referencia FESTO	3
2.	Válvula neumática 5/2	9
3.	Diagrama de válvula neumática 5/2	10
4.	Red de aire comprimido, diagrama	11
5.	Procesador Lógico Programable, PLC, marca Siemens	14
6.	Referencia de sensor capacitivo de proximidad	15
7.	Diagrama de funcionamiento sensor capacitivo	15
8.	Escenarios de aplicación del sensor propuesto	15
9.	Conexión de sensores capacitivos.	16
10.	Lógica de programación LADDER	16
11.	Caso de estudio 1, resultados.	19
12.	Caso de estudio 2, tabla de resultados.	20
13.	Caso de estudio 3, componente y diagrama.	21
14.	Caso de estudio 4, componente y diagrama.	22
15.	Caso de estudio 5, componente.	23
16.	Caso de estudio 6, componente.	24
17.	Caso de estudio 7, componente.	24
18.	Análisis de esfuerzos momento y deflexión - sujeción de válvulas	27
19.	Análisis de esfuerzos momento y deflexión - sujeción de válvulas y perfil en V	28
20.	Perfiles del movimiento mecánico T-slots, primera iteración.	29
21.	Ensamble con juntas del movimiento mecánico.	30
22.	Perfiles del movimiento mecánico	31
23.	Ensamble con juntas del movimiento mecánico.	31
24.	Prototipo con elementos de sujeción base	32
25.	Prototipo con perfil V-Slot	33
26.	Prototipo con tornillería y componentes de selección	34
27.	Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire	34
28.	Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire	35
29.	Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire	35
30.	Vista en perspectiva del prototipo con tubería de la red de aire	36

31.	Conexión eléctrica de los sensores a la caja eléctrica	37
32.	Vista frontal de la máquina con arreglo adicional superior.	38
33.	Vista superior en perspectiva de la conexión eléctrica.	38
34.	Vista superior en perspectiva de la tornillería de la estructura superior.	39
35.	Instalación de puerta de seguridad pasiva frontal.	39
36.	Conexiones en L para la estructura mecánica.	40
37.	Muestra inicial del ensamblaje de la máquina.	42
38.	Muestra inicial del ensamblaje de la máquina.	43
39.	Dimensiones exteriores estructura mecánica y altura de banda.	44
40.	Módulo de entradas digitales.	46
41.	Módulo de salidas digitales.	46
42.	Módulo de salidas/entradas digitales y control en CADE-SIMU	47
43.	Conexión del motor - Prototipo 1 CADE SIMU	49
44.	Listado de materiales - primera versión.	50
45.	Listado de materiales - segunda versión.	51
46.	Perfil V-Slot seleccionado de OpenBuilding	57
47.	Platina seleccionada para riel vertical, elemento para V-Slot de OpenBuilding	58
48.	Ajuste de elemento de sujeción interno, V-Slot de OpenBuilding	59

Lista de cuadros

1.	Selección de estándar de filtro para red de aire comprimido.	18
2.	Selección de estándar para red de aire comprimido.	19
3.	Selección de válvula antirretorno.	21
4.	Selección de válvula para control de estructura mecánica.	21
5.	Selección de sensor para detección de botellas.	22
6.	Selección de perfil para estructura mecánica.	23
7.	Obtención de peso por válvula.	25
8.	Obtención de peso por válvula.	26
9.	Obtención de peso por perfil en V.	26
10.	Direcciones predeterminadas de entradas digitales en tableros.	48
11.	Direcciones predeterminadas de entradas digitales en tableros con sensores.	48
12.	Direcciones web tipo bitly.	52

El objetivo principal del proyecto es proveer un diseño alternativo de una máquina de limpieza de botellas adaptable a una línea de producción que se desea implementar en el laboratorio del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala.

Durante esta fase de investigación se definen los parámetros necesarios para poder implementar en la máquina las secciones electrónicas, neumáticas y mecánicas. Con los aspectos y estándares necesarios para cumplir el objetivo didáctico de la máquina, desde una cantidad de producción demostrativa hasta la programación modular dependientes de las exigencias del curso y del catedrático que hará uso de la línea de producción.

La máquina de limpieza de botellas está basada en un proceso mayormente neumático cuyo propósito es suplir aire a una botella con un presión definida y aspirar los residuos que puedan estar presentes en un ciclo de trabajo. Para esto son necesarios componentes neumáticos y parámetros definidos más adelante, que son resultado de la investigación realizada.

El siguiente trabajo presenta las consideraciones y definiciones más relevantes para culminar el diseño de la máquina de limpieza y los métodos que serán empleados en el proceso de cuantificar el éxito del trabajo, así como comparar con otras máquinas didácticas el precio final y concluir que es factible o no implementar la máquina diseñada.

The main objective of the project is to provide an alternative design of a bottle cleaning machine adaptable to a production line that is to be implemented in the laboratory of the Center for Innovation and Technology, CIT, of the Universidad del Valle de Guatemala.

During this research phase, the necessary parameters are defined to be able to implement the electronic, pneumatic and mechanical sections in the machine. With the aspects and standards necessary to meet the didactic objective of the machine, from a demonstrative production quantity to modular programming depending on the demands of the course and the professor who will use the production line.

The bottle cleaning machine is based on a mostly pneumatic process whose purpose is to supply air to a bottle with a defined pressure and suck up the residues that may be present in a work cycle. For this, pneumatic components and parameters defined below are necessary, which are the result of the research carried out.

The following work presents the most relevant considerations and definitions to complete the design of the cleaning machine and the methods that will be used in the process of quantifying the success of the work, as well as comparing the final price with other didactic machines and conclude that it is feasible, or not, to implement the designed machine.

En Guatemala la producción de alimentos y bebidas en la industria poseen una característica esencial, son envasadas en contenedores plásticos para su transporte y llegada al consumidor final, por lo tanto, la presencia de embotelladoras en la industria de nuestro país es demandado en las empresas industriales del país.

Como parte de los objetivos del curso de Instrumentación y Automatización industrial esta resaltado el integrar el uso de instrumentación electrónica con la configuración en software y hardware de PLC para poder realizar proyectos integrados, por lo tanto dado la demanda de embotelladoras en procesos de la industria alimenticia en Guatemala y la integración de los objetivos del curso, se plantea la fabricación de línea de producción para botellas con objetivos didácticos para los estudiantes que utilizarán el laboratorio del Centro de Innovación y Tecnología, CIT.

El proyecto de diseño es una propuesta para la alternativa de productos extranjeros que se dedican a la fabricación y venta de módulos didácticos al sector educativo. Dada la alta brecha en el aumento en costos que se encontró en modelos prefabricados.

Esta propuesta no tiene como único beneficio ser una alternativa más económica, sino también adaptarse de forma personalizada al equipo ya establecido en el laboratorio de Instrumentación y Automatización con la modularidad de integrarse a las máquinas que integran la línea completa de producción, proponiendo además un escenario de laboratorio que podrá ser ejecutado por estudiantes que llevan el respectivo curso. En resumen, una solución diseñada por estudiantes para estudiantes.

Como referencia a los objetivos que quiere alcanzar el siguiente trabajo se buscaron modelos con propósitos didácticos existentes en el mercado y diseños que están siendo utilizados dentro de universidades en laboratorios con propósitos similares a los que desean alcanzar el Centro de Innovación y Tecnología, con diseños realizados por estudiantes delvallerianos guatemaltecos.

El modelo principal el cual inspiró parte de esta línea de producción y máquina de limpieza de botellas es el proyecto educativo FESTO, que presenta soluciones a los retos de enseñanza de automatización industrial.

El proyecto FESTO se describe como "Festo Didactic", que "Puede ofrecer una gran variedad de sistemas de aprendizaje (desde pequeños sistemas de mesa hasta auténticas fábricas de aprendizaje) que permiten el desarrollo de habilidades y la adquisición de conocimiento en todos los aspectos de la mecatrónica y la automatización."[1]

Dentro de la gama que está siendo comercializada el modelo de inspiración es la línea de producción didáctica "Tramo de transferencia"MPS. Este se compone de una serie de bandas transportadores, que se puede programar para realizar las tareas propuestas dependiendo las necesidades de la línea de producción y puede gestionarse como un ciclo puramente electrónico o adecuarse a actuadores neumáticos, por lo que es una referencia inicial completa.

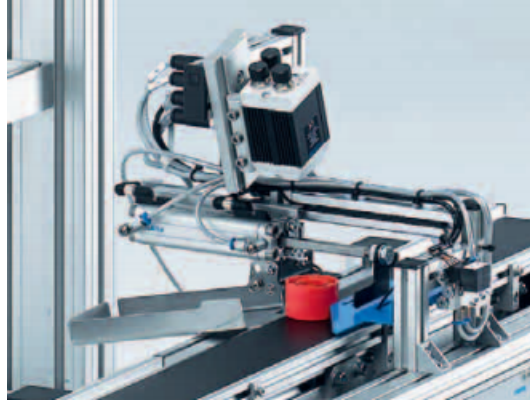


Figura 1: Modelo educativo de referencia FESTO

Puede encontrarse la descripción completa del proyecto en [1] adicionalmente se investigó un trabajo de diseño de una máquina limpiadora con actuadores electrónicos con objetivos y visión similar en [2].

En el laboratorio del nuevo Centro de Innovación y Tecnología CIT de la Universidad es requerida como parte de los métodos de enseñanza de Instrumentación y Automatización industrial la implementación de una lavadora de botellas accionada con componentes neumáticos para la línea de producción del laboratorio que se busca implementar.

En esta línea de producción se busca un lavado de botellas con la participación de la programación de los estudiantes que serían los principales operarios, por lo tanto el diseño de la línea es basada en factores didácticos y no de producción industrial.

El principal motivo del diseño CAD de la máquina de limpieza es el costo de manufactura de la máquina en su totalidad desde el diseño hasta la construcción con relación a materiales considerando que pueda ser menor al de la compra de una máquina que pertenece a una línea de producción de una compañía extranjera.

En conclusión, debido al costo y a los propósitos didácticos necesarios en el diseño, y el costo de compra externa, se espera que sea admisible en el país la futura construcción del diseño de la máquina de limpieza junto con la línea de producción.

4.1. Objetivo general

Diseñar una máquina de limpieza de botellas con fines didácticos para una línea de producción del laboratorio de automatización industrial del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala.

4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar componentes eléctricos y mecánicos, y materiales de fabricación necesarios para la implementación de la máquina.
- Realizar un diseño asistido por computadora de la máquina que sea modular e integrable con la línea de producción completa.
- Realizar planos de fabricación de piezas mecánicas.
- Realizar planos unifilares del sistema eléctrico de la máquina.
- Realizar un listado de componentes, materiales y fabricación necesarias para la implementación de la máquina.

El alcance de este proyecto se enfoca un prototipo inicial realizado en software de diseño asistido por computadora de Autodesk, demostrando el proceso de movimiento de la primera máquina de la línea de producción, con todos los componentes mecánicos, componentes neumáticos y electrónicos que serán parte del proceso, incluyendo perfiles y componentes comerciales de alto consumo en la industria hasta sus elementos de sujeción.

Permitiendo a los usuarios de la máquina, estudiantes del curso de Instrumentación y Automatización industrial, ejecutar el proceso completo de una embotelladora como línea de producción modular integrada por cuatro fases. Adicionalmente el diseño y ensamble del proyecto busca ser una alternativa más económica comparada con líneas de producción didácticas del extranjero.

6.1. Automatización industrial

El término Automatización nace del griego, su traducción literal es "Guiado por uno mismo". La necesidad de automatización nace antes de la primera revolución industrial, época donde se observa el auge de la industria, con la aparición de mecanismos de control. El objetivo es facilitar las tareas en el medio industrial implicando la computación de sistemas mecánicos y eléctricos.

6.2. Reseña histórica - purificadores de aire

La primera patente de las máquinas purificadoras de partículas en el aire fue otorgada a Charles Anthony Deane en 1830, comprendida de un casco de cobre con telas flexibles sobre él con una manguera larga que suministraba aire a la máquina y un tubo corto que permitía absorber el aire suministrado. Creando el efecto de filtrado por medio de ambas mangueras, el sistema era hermético y se mantenía sujeto utilizando correas.

En 1860, se otorgó la segunda patente a John Stenhouse, que utilizó carbón vegetal como medio para la purificación del aire, debido a las propiedades absorbentes que presenta. Creó un respirador práctico utilizado como una mascarilla. En 1861, John Tyndall utilizó este diseño como base y unas mejoras para crear los respiradores de los bomberos, que filtraban humo y gases nocivos.

Con años de desarrollo de los filtros purificadores, inicio en la década de 1950 la comercialización de filtros altamente eficientes para distintas aplicaciones, con el objetivo de controlar los contaminantes así como radiactivos en el aire. En 1963 se vendió el primer filtro residencial en Alemania, donde nació la primera gran corporación de Purificadores de Aire. A partir de la comercialización surge la necesidad de crear los estándares y normas para la clasificación de filtros en sus diferentes alcances.

6.3. Normas y estándares de filtración

Las normas siguientes contienen los requisitos de eliminación de partículas que deben cumplir los filtros de limpieza, al igual que la descripción y métodos de prueba para medir y clasificar los filtros.

La norma de filtración Europea EN 779-2012 define una eficiencia de filtración menor al 98 % en partículas menores a 4 micras, estos corresponden a filtros finos con clase F7,F8 y F9. En un proceso de limpieza en la industria de alimentos o farmacéutica, se espera un mínimo de clase F8. Sin embargo, por objetivos didácticos, se trabajará con las clasificaciones M5 y M6 en el proceso de limpieza de partículas finas, que definen una eficiencia promedio del 60 % para partículas menores a 4 micras. [3]

Para el proceso de limpieza de polvo fino sintético y partículas mayores, en la industria son esperadas las clasificaciones G4 o G5, que definen una eficiencia mínima del 90 % de filtrado para G5 y un mínimo de 80 % para G4. Sin embargo para este proceso será empleado un filtro clase G1, con un mínimo de 50 % de eficiencia para polvo sintético.

La norma ISO 8573-1 contiene la clasificación del aire comprimido que será utilizado. La norma contiene los requisitos que debe cumplir la selección dependiendo de la calidad de aire que se debe manejar así como los contaminantes que debe manejar, entre estos se pueden identificar partículas sólidas, agua y aceite. Para este caso se hará contacto con partículas sólidas. La norma define por metro cúbico de aire comprimido la cantidad de partículas sólidas que pueden ser recolectadas según los diámetros entre 0,1 y 0,5 micras, entre 0,5 y 1 micras y entre 1 y 5 micras. La selección dependerá del ambiente de trabajo, así como si será polvo seco o húmedo. [3]

6.4. Sección neumática de la máquina

Al utilizar aire comprimido, definido en los estándares mencionados en la sección 0.0.3 de este documento, se debe definir el diagrama y componentes que se utilizarán para llevar a cabo el proceso de limpieza de la botella. El primer parámetro que se define es el total de botellas que serán aspiradas en cada ciclo y la cantidad de ciclos que se hará la limpieza.

Como parámetros provisionales, se asume que son dos botellas a la vez, por ciclo y una cantidad de tres ciclos, dando un total de 6 botellas limpias para continuar a la siguiente máquina. Los componentes provisionales son, 3 válvulas 5/2, tres cilindros, una entrada de aire comprimido, un sensor, tres botones indicadores de entradas y un PLC.



Figura 2: Válvula neumática 5/2

6.5. ¿Qué es una válvula?

Una válvula es un componente cuyo propósito es abrir o cerrar un conducto o apertura, es la conexión e interrupción entre dos líneas de un sistema.

Desde el punto de vista de la neumática, la válvula es el elemento de mando que determina las características del sistema, con este componente se definen los procesos operativos en una línea de automatización industrial, a partir de las válvulas se puede controlar un circuito de mando de la red de aire.[4]

6.6. ¿Qué es una válvula neumática?

Las válvulas neumáticas son los dispositivos que pueden regular o dirigir aire comprimido; se controlan a partir de la entrada y salida, pueden poseer sistemas de cierre y habilitación eléctricos o manuales, junto con el control de la dirección, la presión y el caudal de aire comprimido que será manejado en la red del sistema. [4]

6.7. Tipos de válvulas neumáticas

Las válvulas neumáticas pueden realizar distintas funciones y regulaciones dentro del sistema de aire comprimido, se clasifican por su función y propiedades, estas se pueden encontrar como:

- Válvulas de control de caudal
- Válvulas de control de dirección
- Válvulas de control de presión
- Válvulas de control de caudal
- Válvulas auxiliares (Control de presión)

6.8. Definición de válvula direccional

Las válvulas direccionales son aquellas que en un circuito neumático distribuyen o guían el aire comprimido hacia los elementos de trabajo. Por esta razón, también se las conoce como válvulas distribuidoras. Constituyen los órganos de mando de un circuito, es decir, aquellos que gobiernan el movimiento de los órganos motores del mismo (cilindros, actuadores, etc.)

También son utilizadas en sus tamaños más pequeños como emisoras o captadoras de señales para el mando de las válvulas principales del sistema.[4]

6.9. Sistemas de accionamiento

Una característica importante de toda válvula es su clase de accionamiento o mando, según la clase a la que aplique dicha válvula, dentro de la cadena de mando de la sección neumática, se la empleará como elemento emisor de señal, órgano de control o de regulación.[5]

Entonces las válvulas se designan de acuerdo al número de vías y posiciones por ejemplo:

1. 2/2 dos vías, dos posiciones
2. 5/2 cinco vías, dos posiciones
3. 3/2 tres vías, dos posiciones
4. 4/3 cuatro vías, tres posiciones, etc.

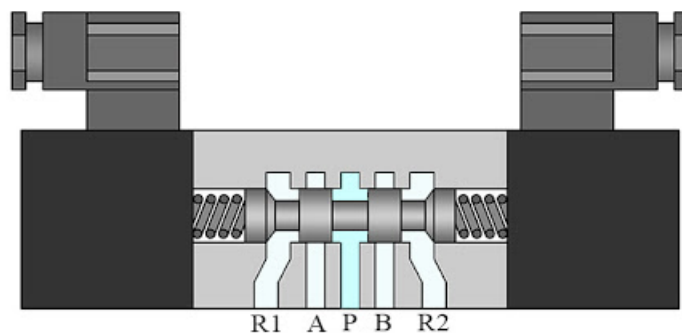


Figura 3: Diagrama de válvula neumática 5/2

6.10. ¿Qué es una red de aire comprimido?

En un sistema de aire comprimido se encuentra un circuito neumático conformado por un conjunto de tuberías y accesorios a través del cual se mueve el flujo de aire desde el compresor hasta la máquina o unidad de servicios donde se utilizará el aire comprimido.

En el enfoque de esta máquina, la red estará dirigida al accionamiento del movimiento de cilindros y aspirado de aire para la limpieza de las botellas.

En la red de aire comprimido se encuentra el compresor de aire industrial, el tanque de aire, un secador y uno o varios filtros. -Para esta aplicación didáctica únicamente se contará con la cantidad de filtros necesarios para la limpieza de las botellas y accionamiento de cilindros.- [6]

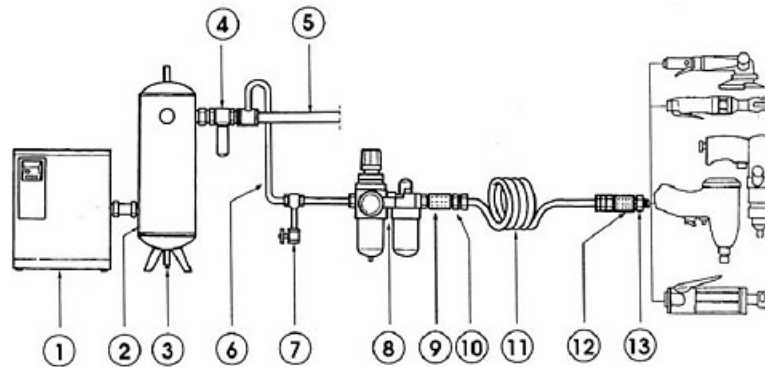


Figura 4: Red de aire comprimido, diagrama

6.11. ¿Qué función tiene una red de aire comprimido?

Su función básica sería la distribución del aire comprimido desde el compresor hasta las tuberías que tienen cada una salidas o terminales en lugares distintos, y esto tiene la finalidad de usar varias herramientas neumáticas a un mismo tiempo. La función de la red es distribuir el aire a distintos instrumentos requeridos por los operadores.

Otra de sus funciones está en servir como un reservorio para atender las necesidades y exigencia del sistema de aire comprimido.

Según la definición de BOSH [5], una red de aire comprimido puede ser expresado como un caudal de aire constante que se entrega en distintos puntos de una planta. En un mismo momento puede utilizarse para distintos accionamientos y es accesible por medios mecánicos o electrónicos dirigidos a herramientas neumáticas para realizar sus funciones como para propósitos de limpieza, producción y movilidad de productos.

Para toda la alimentación del sistema es necesario un único compresor de alimentación, al tratarse de un sistema de aire comprimido que distribuye la energía neumática hacia donde sea necesario según la estructura que lo exija. En este caso serán alimentados los actuadores neumáticos que generarán el movimiento y limpieza. [6]

6.12. Elementos de una red de aire

En una red de aire se encuentran distintos elementos que pueden ser representados tanto a nivel cualitativo como condiciones, también a nivel técnico como accesorios. En la red de aire que conforma una línea de producción se deben controlar distintos factores para asegurar la seguridad de la red y el correcto funcionamiento de los actuadores neumáticos que serán accionados por el aire comprimido.

Entre los elementos que conforman una red de aire están:

- Caudal o flujo: Es el aire que sale del compresor, su cantidad en volumen.
- Presión de trabajo: Determinará el tipo de tubería que se necesitará.
- Calidad de aire (bajo, para propósitos didácticos)
- Distribución del equipo: Ubicación de componentes de la red de aire en el espacio.
- Herramientas neumáticas y actuadores.

Además de estos elementos, las redes contarán con herramientas y accesorios que le dan versatilidad a la distribución de tuberías de la red, como uniones, codos, uniones universales para facilitar montaje y desmontaje de la tubería, y las válvulas definidas previamente.

6.13. Selección de diámetro de tubería de red de aire comprimido

El diámetro interno de la tubería normalmente se calcula mediante una fórmula de aproximación, asumiendo que la temperatura del aire comprimido es igual a la temperatura de entrada. Se puede lograr una aproximación adecuada con la siguiente ecuación:

$$di = \sqrt[5]{\frac{(450 * L * V^{1.85})}{(\Delta p * p)}} \quad (1)$$

Donde L es la longitud nominal de la tubería, di es el diámetro interno, V es el índice de flujo, Δp es la caída de presión en la red y p es la presión de operación excesiva. [7]

Termosoldable - material banda transportadora

Es un elemento muy utilizado en embalaje para evitar la corrosión, sobre todo cuando se trata de embalar elementos metálicos y electrónicos.

Este material está compuesto principalmente de aluminio y polietileno. Dependiendo del fabricante, la proporción de cada material e incluso el tipo de plástico utilizado pueden

variar. Por ejemplo, en ocasiones se añade poliéster, plástico PET o polipropileno. En cuanto al polietileno, puede ser de alta o de baja densidad.

Algunos materiales barrera tienen más plástico que aluminio o viceversa. La calidad y la correcta protección del producto dependerán en gran medida del grosor total del film barrera con el que se construyan las bolsas y de cuántos gramos pese por metro cuadrado, además de la proporción de aluminio que lleve. Cuanta más cantidad de aluminio contenga el material en detrimento del plástico, menor será la transmisión de vapores en el interior del envase. [8] Este material es impermeable y resistente a factores externos como los rayos ultravioleta. [9]

6.14. Fundamentos de seguridad industrial

La seguridad de máquinas consiste en la protección del personal o de los activos de la planta contra daños o muerte. [10] Los componentes de seguridad de la máquina incluyen:

- Seguridad organizacional > requisitos para zapatos de seguridad, FRC, gafas de seguridad, etc.
- Seguridad pasiva > Barreras de protección, cubiertas para piezas móviles, puertas.
- Seguridad funcional > Protección contra peligros debidos al funcionamiento incorrecto de la maquinaria industrial.

6.15. ¿Qué es un PLC?

La definición de PLC, por sus siglas en inglés, es “Controlador Lógico Programable”. Esta definición está normalizada por la Asociación de fabricantes de componentes electrónicos, NEMA. Un PLC es un computador utilizado en el ámbito industrial para realizar las principales tareas de control de líneas de producción que requieren parámetros específicos para su aplicación. [11]

Este es encargado de procesar todos los datos de una máquina como ser sensores, botones, temporizadores y cualquier señal de entrada. Para posteriormente controlar con señales de salida los actuadores como pistones, motores, válvulas y otros, con el objetivo de controlar cualquier proceso industrial de manera automática.



Figura 5: Procesador Lógico Programable, PLC, marca Siemens

6.16. Sección electrónica de la máquina

Al utilizar electroválvulas en la sección Neumática, se deben utilizar componentes electrónicos para el control de la red de aire comprimido, la programación de los componentes electrónicos será en lenguaje LADDER, aunque también es adaptable a lenguaje GRAFSET, STL o cualquier compatible con la versión de SIMATIC de SIEMENS que esté disponible en el laboratorio donde operará la línea de producción.

Los elementos principales que realizarán el control son sensores digitales de posición, salidas digitales del PLC y entradas digitales del mismo PLC. Las entradas digitales tendrán como parámetros la posición de las botellas y la posición del accionamiento neumático. Las salidas digitales accionarán las válvulas y los actuadores del movimiento de la estructura.

6.17. Sensores industriales digitales

El sensor industrial es un dispositivo electrónico capaz de captar o medir una variable de instrumentación. Se le dice sensor digital cuando en la salida que genera solo tiene dos estados, puede estar activado o desactivado. Genera una salida eléctrica de voltaje, cuyo valor va depender de la fuente de alimentación, para el caso del PLC, se pueden manejar señales de 24V en estado activo o 0V en estado desactivado. También se pueden configurar para trabajar hasta con 220V. [12]

6.18. Sensores capacitivos de proximidad

Los sensores capacitivos destacan por su capacidad de detectar diferentes material en función de su constante dieléctrica, gracias al principio de un condensador de placas ideal. Cuando se trabaja con líquidos o material a granel, los sensores capacitivos ayudan a detectar niveles y proporcionan una visión general del proceso de producción en cualquier momento. La detección también es posible a través de materiales no metálicos y paredes de contenedores. Para la aplicación de detección de contenedores de plástico, se puede ajustar

la aplicación para utilizar el mismo sensor para detectar el contenedor vacío y diferencial el llenado en el mismo contenedor.[13]



Figura 6: Referencia de sensor capacitivo de proximidad

Su principio de funcionamiento está basado en un campo electrostático, y consta de: sonda, oscilador, rectificador, filtro, circuito de salida. Al acercarse un objeto a la sonda se eleva la capacitancia, cuando esta alcance un umbral específico se activa un oscilador que a su vez activa la salida del sensor. El diagrama se muestra en la Figura 8. Los de VCD los hay de 2, 3 y 4 hilos, con distancias de sensado desde 5mm hasta 20mm, también algunos con salida detectores de proximidad PNP y NPN. [13]

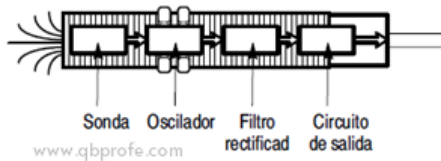


Figura 7: Diagrama de funcionamiento sensor capacitivo

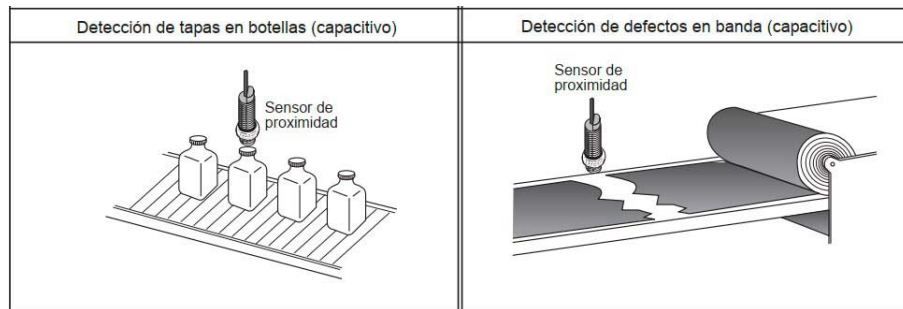


Figura 8: Escenarios de aplicación del sensor propuesto

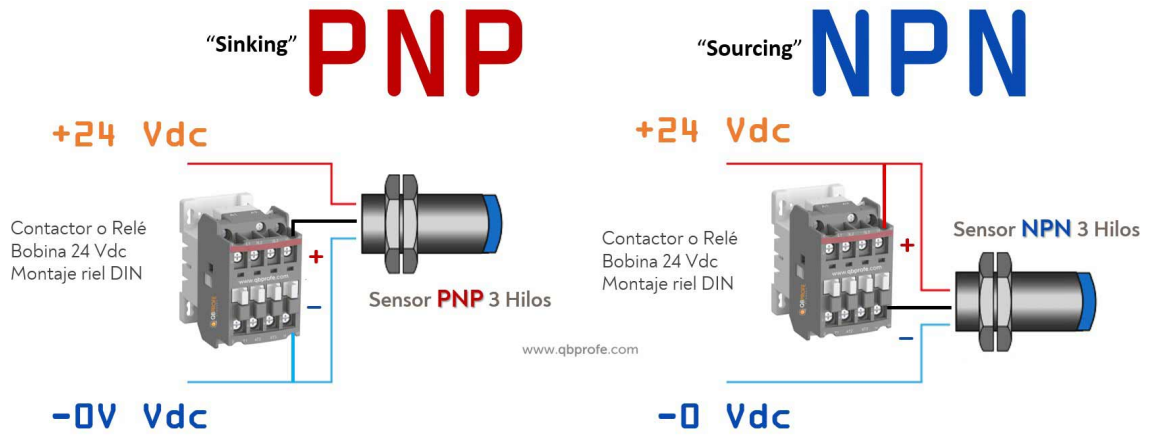


Figura 9: Conexión de sensores capacitivos.

6.19. Lenguaje LADDER

El lenguaje de programación LADDER es uno de los más comunes en el ámbito industrial, también reconocido como Diagrama Escalera. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas. Este diagrama se asemeja a una escalera con representación de rieles verticales para presentar la alimentación del circuito y escalones como líneas horizontales, en las que definen la lógica a través de funciones. [14]

En esta programación las instrucciones se ordenan de izquierda a derecha y se representan como condiciones de entrada y accionamientos de salida. En este caso las condiciones de entrada esperan las señales de los sensores digitales y las salidas son la señal generada por la salida digital del PLC programable en un rango de voltajes de trabajo. Las representaciones con objetos de instrucciones se observan en la siguiente figura.

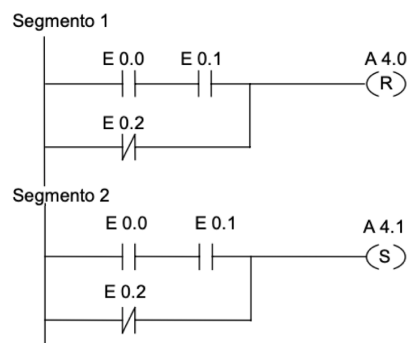


Figura 10: Lógica de programación LADDER

6.20. Análisis mecánico - esfuerzos y deflexión

Para el correcto dimensionado de componentes sometidos a una carga mecánica, es necesario conocer el tipo de cargas que afectan al componente. Las magnitudes decisivas para la construcción son las tensiones máximas que se producen y son estas las que determinan las dimensiones de un componente. Previamente, es necesario determinar dichas tensiones. [15]

Las tensiones en los componentes se pueden determinar con ayuda de la medición de la elongación, ya que la elongación del material está directamente relacionada con la tensión del mismo. Sobre el principio de la medición de la elongación se basa una rama importante del análisis experimental de esfuerzos y deformaciones.[15]

Es necesario conocer el valor de esfuerzo máximo soportado por la estructura mecánica, así como el momento soportado y la deformación del material, con el objetivo de asegurar que la estructura mecánica diseñada pueda soportar las cargas a las cuales está sometida.

El esfuerzo máximo se determina con la siguiente ecuación:

$$\sigma(x) = \frac{M(x) + d}{I_y} \quad (2)$$

Donde sigma es el esfuerzo máximo, M(x) el momento flector de la sección, d es la distancia mínima entre el centro y el exterior del perfil e Iy al momento de inercia del perfil.

Casos de estudio para la selección de componentes

Para el movimiento completo de la estructura es necesario definir el perfil de la viga que será adaptada como riel lineal, como parte del diseño mecánico, así mismo se definen los componentes neumáticos desde la entrada del compresor de aire hasta la salida a los cilindros y soplado de la botella, para esto se comparan componentes de electroválvulas, válvulas de anti-retorno, adaptadores de rosca y cilindros neumáticos. Para cada caso de estudio se elige el componente con mayor calificación.

En la sección electrónica se utilizarán las salidas y entradas digitales predefinidas por la disponibilidad de tableros en el laboratorio del CIT, siendo estos 331-7KF02-0AB0 AI-AO 12 Bits, dando como componentes de selección los sensores electrónicos que detectan las botellas.

7.1. Caso 1: Normas y estándares de filtración

La primera selección para el estándar de filtrado se basa en la sección Normas y estándares de filtración, descrito en el capítulo 6 de este documento, comparando las características del EN 799:2012 e ISO 16890 como se puede observar en el Cuadro 1. El estándar seleccionado corresponde a 11.

Criterios	Estándar filtro de aire comprimido						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
EN 799:2012	5	5	4	5	5	5	29
ISO 16890	4	3	5	5	3	4	24

Cuadro 1: Selección de estándar de filtro para red de aire comprimido.

Los aspectos de criteria utilizados son:

- 1: Rangos de trabajo flexibles.
- 2: Número de clases de filtrado.
- 3: Posibilidad de fallo en implementación.
- 4: Compatibilidad con el proyecto.
- 5: Disponibilidad en el mercado. (Implementación, producto)
- 6: Precio del producto final.

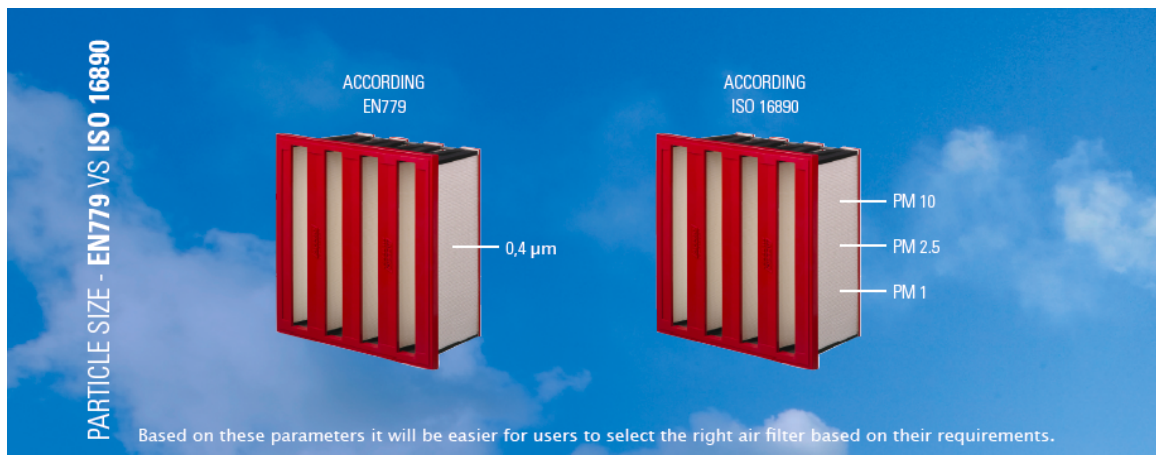


Figura 11: Caso de estudio 1, resultados.

7.2. Caso 2: Estándar de la red de aire comprimido.

La segunda selección para el estándar de la red de aire comprimido se basa en la sección Normas y estándares de filtración, descrito en el capítulo 6 de este documento, comparando las características del ISO 17025 e ISO 8576-5 como se puede observar en el Cuadro 2. El estándar seleccionado corresponde a 12.

Criterios	Estándar para uso de aire comprimido						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
ISO 8573-5	5	5	5	5	5	5	30
ISO 17025	3	2	5	3	5	5	23

Cuadro 2: Selección de estándar para red de aire comprimido.

Los aspectos de criteria utilizados son:

- 1: Cantidad de contaminación admisible.

- 2: Costo de implementación.
- 3: Posibilidad de fallo en implementación.
- 4: Dispositivos adaptables al mantenimiento y evaluación.
- 5: Métodos de prueba de contaminantes.
- 6: Ambiente de uso de la norma ISO.

ISO 8573-1:2010 Purity Classes									
Class	Particles				Water			Oil	
	By Particle Size (max. # of particles per m ³) <i>See Note 3</i>				By Mass	Vapor Pressure Dewpoint		Liquid	Liquid, Aerosol, & Vapor <i>See Note 2</i>
	0.1 < d ≤ 0.5 micron	0.5 < d ≤ 1.0 micron	1.0 < d ≤ 5.0 micron	micron > 5	mg/m ³	°C	°F	g/m ³	mg/m ³
0	As specified by the equipment user or supplier, and more stringent than Class 1								
1	≤20,000	≤400	≤10	none		≤-70	≤-94	-	≤0.01
2	≤400,000	≤6,000	≤100	none		≤-40	≤-40	-	≤0.1
3	-	≤90,000	≤1,000	none		≤-20	≤-4	-	≤1
4	-	-	≤10,000	none		≤+3	≤+37	-	≤5
5	-	-	≤100,000	none		≤+7	≤+45	-	-
6	-	-	-		0 - ≤5	≤+10	≤+50	-	-
7	-	-	-		5 - ≤10	-	-	≤0.5	-
8	-	-	-		-	-	-	≤5	-
9	-	-	-		-	-	-	≤10	-
X	-	-	-		>10	-	-	>10	>5

Note 1: Shaded areas indicate classes for which Trace Analytics methods apply. Others require techniques outside of Trace Analytics scope.

Note 2: ISO 8573 Oil includes aerosol, vapor and liquid oil. Liquid oil is typically sampled when wall flow is present, contamination is suspected, or results are greater than 5 mg/m³. Trace Analytics does not provide liquid oil or water testing.

Note 3: For Particle Class 1 & 2 (0.1 - 0.5 μm range only), a laser particle counter is required. Rental of this equipment is available on a reservation basis.

Figura 12: Caso de estudio 2, tabla de resultados.

7.3. Caso 3: Válvula antirretorno

La tercera selección se dirige a la válvula antirretorno de salida al bote, se basa en la sección neumática, descrita en el capítulo 6 de este documento, comparando las características del 6681 8B y la válvula 530038 HGL-M5-QS como se puede observar en el Cuadro 10. A partir del prototipo en la Figura: 25 se proponen dos modelos de funcionamiento para la máquina de limpieza, un modelo con aspirado y soplado o un modelo únicamente con soplado. Esta válvula corresponde a la función soplado, para definir el paso del flujo únicamente en la dirección de salida de la red de aire. El componente corresponde a la Figura 13.

Criterios	Selección de válvula antirretorno						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
6681 OS 18B	5	5	4	5	2	5	26
530038 HGL M5 QS	4	5	5	5	5	5	29

Cuadro 3: Selección de válvula antirretorno.

Los aspectos de criterios utilizados son:

- 1: Costo de la válvula.
- 2: Rango de presión de trabajo.
- 3: Tamaño físico.
- 4: Flujo volumétrico adaptable.
- 5: Mecanismo de funcionamiento.
- 6: Adaptabilidad con los estándares de red.

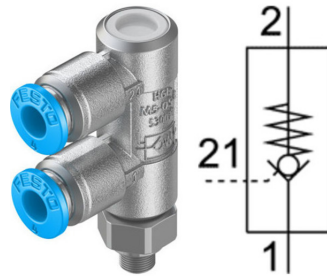


Figura 13: Caso de estudio 3, componente y diagrama.

7.4. Caso 4: Válvula neumática

La cuarta selección se dirige a la válvula neumática del control mecánico y se basa en la sección Neumática, descrita en el marco teórico, comparando las características de una válvula MHF-5-1-4-NPT y una VSN-FKC-M5-2-RD-G18, como alternativa durante el proceso de prototipado se añade a la selección de la válvula 9976 MFH 5 1/4 NPT como observa en el Cuadro 4. El componente seleccionado corresponde a la Figura 14.

Criterios	Válvulas de control mecánico						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
9976 MFH 5 1/4 NPT	4	5	5	5	5	5	28
VSNC FKC M52 ED G18	3	5	5	2	3	3	21

Cuadro 4: Selección de válvula para control de estructura mecánica.

Los aspectos de criterios utilizados son:

- 1: Costo de la válvula.
- 2: Rango de presión de trabajo.
- 3: Tamaño físico.
- 4: Cantidad de entradas digitales de control.
- 5: Disponibilidad de mercado.
- 6: Adaptabilidad con los estándares de red.



Figura 14: Caso de estudio 4, componente y diagrama.

7.5. Caso 5: Sensor de detección de botellas

La quinta selección se dirige al sensor de detección de botellas, basado en la sección Sensores industriales digitales, descrito en el capítulo 6, comparando las características de un CRSMT-8M, PSHM8 y TL-W1R5MB1-2M como se puede observar en el Cuadro 5. Durante la etapa 4 de prototipo surge la introducción de los sensores capacitivos para detección de llenado de la botella, por lo que será seleccionado dado a que cumple con todos los factores de criterios de selección. El componente seleccionado es el sensor PSHM8, de MISUMI. El componente seleccionado corresponde a la Figura 15.

Sensor para detección de botellas							
Criterio	#1	#2	#3	#4	#5	#6	Total
PSHM8	5	5	5	5	5	3	28
CRSMT-8M	5	4	2	3	1	5	20

Cuadro 5: Selección de sensor para detección de botellas.

Los aspectos de criterio utilizados son:

- 1: Configuración eléctrica.
- 2: Rango de voltaje y corriente.
- 3: Tamaño físico del sensor.
- 4: Ser adaptable a contacto con alimentos.
- 5: Disponibilidad de mercado.
- 6: Costo del sensor de proximidad.

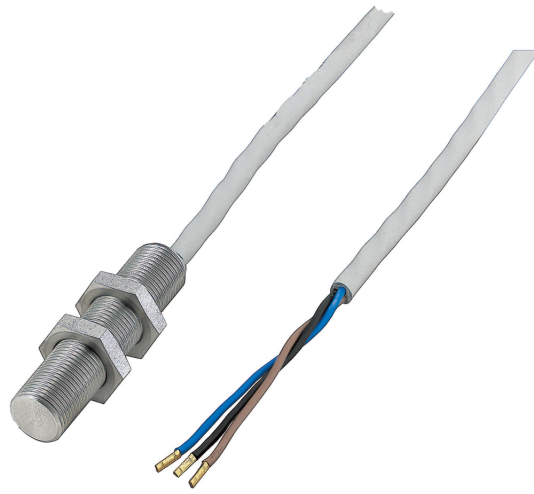


Figura 15: Caso de estudio 5, componente.

7.6. Caso 6: Estructura mecánica

La sexta selección para el perfil de la estructura mecánica, que conformará el movimiento mecánico y será el soporte de la sección neumática y eléctrica, comparando las características del perfil T-Slot con V-Slot como se puede observar en el Cuadro 6. El componente seleccionado corresponde a la Figura 16.

Cuadro 6: Selección de perfil para estructura mecánica.

Criterios	Selección de perfil estructura mecánica						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
T-Slot MISUMI	4	5	5	1	5	3	23
V-Slot Openbuilds	5	4	5	5	5	5	29

Los aspectos de criterio utilizados son:

- 1: Peso del perfil.
- 2: Tensión y deflexión máxima.
- 3: Material del perfil.
- 4: Adaptabilidad a riel vertical.
- 5: Ensamblaje de estructura mecánica.
- 6: Disponibilidad de mercado y costo.

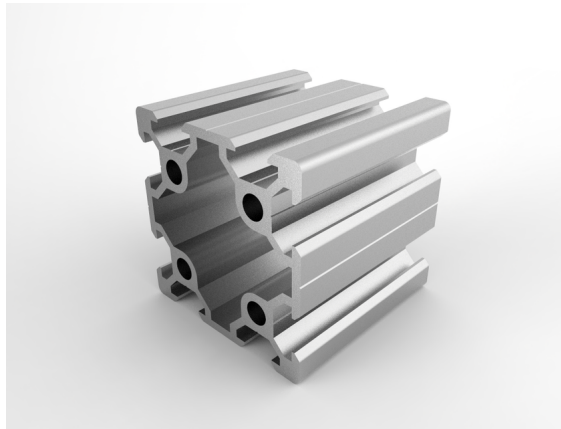


Figura 16: Caso de estudio 6, componente.

7.7. Caso 7: Seguridad pasiva

La séptima sección hace referencia a la seguridad pasiva de la máquina, aquella que es dedicada a encapsular de forma pasiva la máquina para que el usuario frente al proceso de limpieza no tenga acceso a las partes móviles. Esto no incluye al operario que se encuentra detrás del proceso. Para esta selección se escoge la puerta industrial HTUC5-AC3. El componente seleccionado corresponde a la siguiente figura.

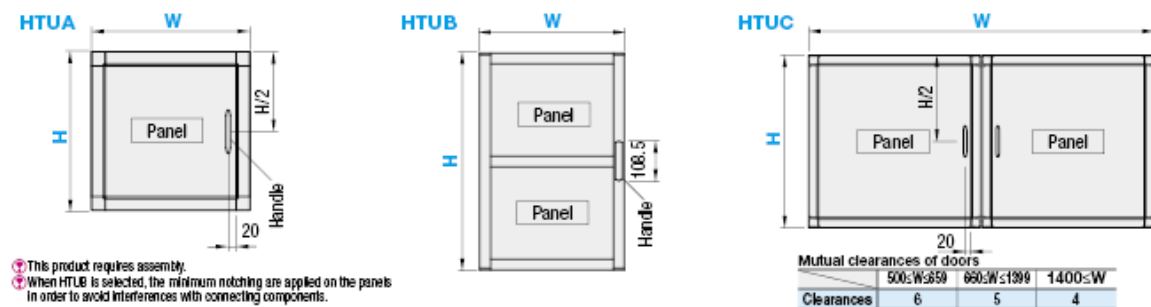


Figura 17: Caso de estudio 7, componente.

Análisis y cálculos de diseño mecánico

El primer conjunto de cálculos involucrados en la estructura, será verificar que pueda soportar el peso de todos los componentes neumáticos para realizar la acción de soplado dentro de las botellas, en este caso consideramos lo siguientes, con base en los casos de estudio de la sección anterior. Se modela cada sección intermedia de sujeción del prototipo como una viga con dos soportes en equilibrio. En la Figura 18 se observa la viga intermedia con un largo de 800mm. Con base en el software DeflectionLite se obtienen los resultados de esfuerzo, momento flector y deflexión.

- Válvula 5/2 Modelo: Es el aire que sale del compresor, su cantidad en volumen. (Peso por válvula 2.8N).
- Red neumática: Sujeción de tubería de los componentes neumáticos (Válvulas, cilindros).
- Distribución del equipo: Ubicación de componentes de la red de aire en el espacio. (Peso por conjunto 1.5N)
- Herramientas neumáticas de sujeción y actuadores.

Para obtener el peso de la válvula se requiere la hoja de datos correspondiente al modelo seleccionado en el capítulo 7, 9976 MFH 5 1/4 NPT, siendo esta: [16] . A partir de la masa en gramos (290g), se obtiene el peso en Newtons, los resultados se muestran en el Cuadro 7.

	Válvula 1	Unidad
Masa	290	gr
Peso	2.842	N

Cuadro 7: Obtención de peso por válvula.

De la misma forma se obtiene el peso de los elementos de sujeción de la válvula, estos son los Kit Gantry de Openbuilds, cuya hoja de datos es la siguiente: [17], el cálculo del peso se encuentra en el Cuadro 8.

	Gantry Kit	Unidad
Masa	160	gr
Peso	1.568	N

Cuadro 8: Obtención de peso por válvula.

Según la hoja de datos del material de cada perfil de aluminio 6063 T-5, [18], la carga máxima que puede soportar antes de presentar una rotura es $215 \frac{N}{mm^2}$. El perfil se modela como una viga rectangular con borde exterior de 40x40mm, con un interior de 38.5x38.5mm. El área del perfil resulta de $117.75mm^2$. Por lo tanto el esfuerzo ejercido en cada viga resulta:

$$\sigma(x) = \frac{3.65N}{117.75mm^2} = 0.031 \frac{N}{mm^2} \quad (3)$$

A partir de este resultado podemos concluir que la viga de 800mm es capaz de resistir el caso de sostener la viga y la red neumática.

En la Figura 19 se realiza el análisis de esfuerzo que deben soportar los elementos de sujeción para sostener la red neumática y la viga con perfil en V, para este caso se analiza nuevamente el peso de cada elemento anterior y se añade el peso de la viga, esta posee un peso de 12.4 gr por centímetro utilizado, al ser 80 centímetros se obtienen los siguientes resultados:

	Perfil en V	Unidad
Masa	12.4	gr-1cm
Masa T.	992	gr-80cm
Peso	9.7216	N

Cuadro 9: Obtención de peso por perfil en V.

La carga máxima que deben soportar es 9.27N en cada soporte del perfil. Por cada soporte se cuenta con 4 tornillos M6 de KNDS4 [19] que soporta $1,400 \frac{N}{mm^2}$ antes de presentar rotura. Con un diámetro de 10mm, el esfuerzo presentado es:

$$\sigma(x) = \frac{9.27N}{4 * 314.159mm^2} = 0.0077 \frac{N}{mm^2} \quad (4)$$

Tornillo M10

$$\sigma(x) = \frac{9.27N}{4 * 113.1mm^2} = 0.0205 \frac{N}{mm^2} \quad (5)$$

Tornillo M6

A partir de este resultado podemos concluir que los elementos de sujeción de cada viga de 800mm es capaz de resistir el caso de sostener el peso de ella y la red neumática.

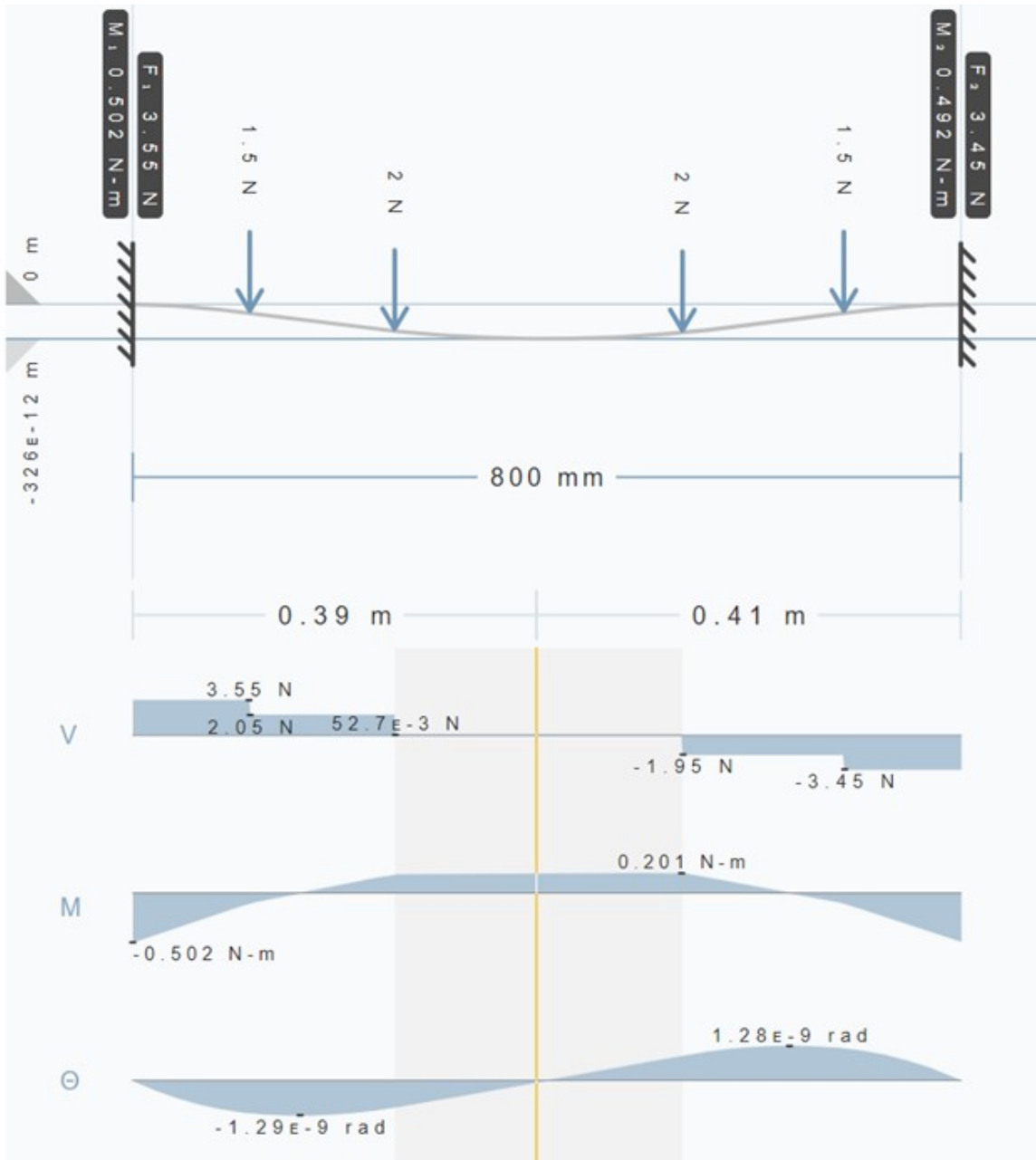


Figura 18: Análisis de esfuerzos momento y deflexión - sujeción de válvulas

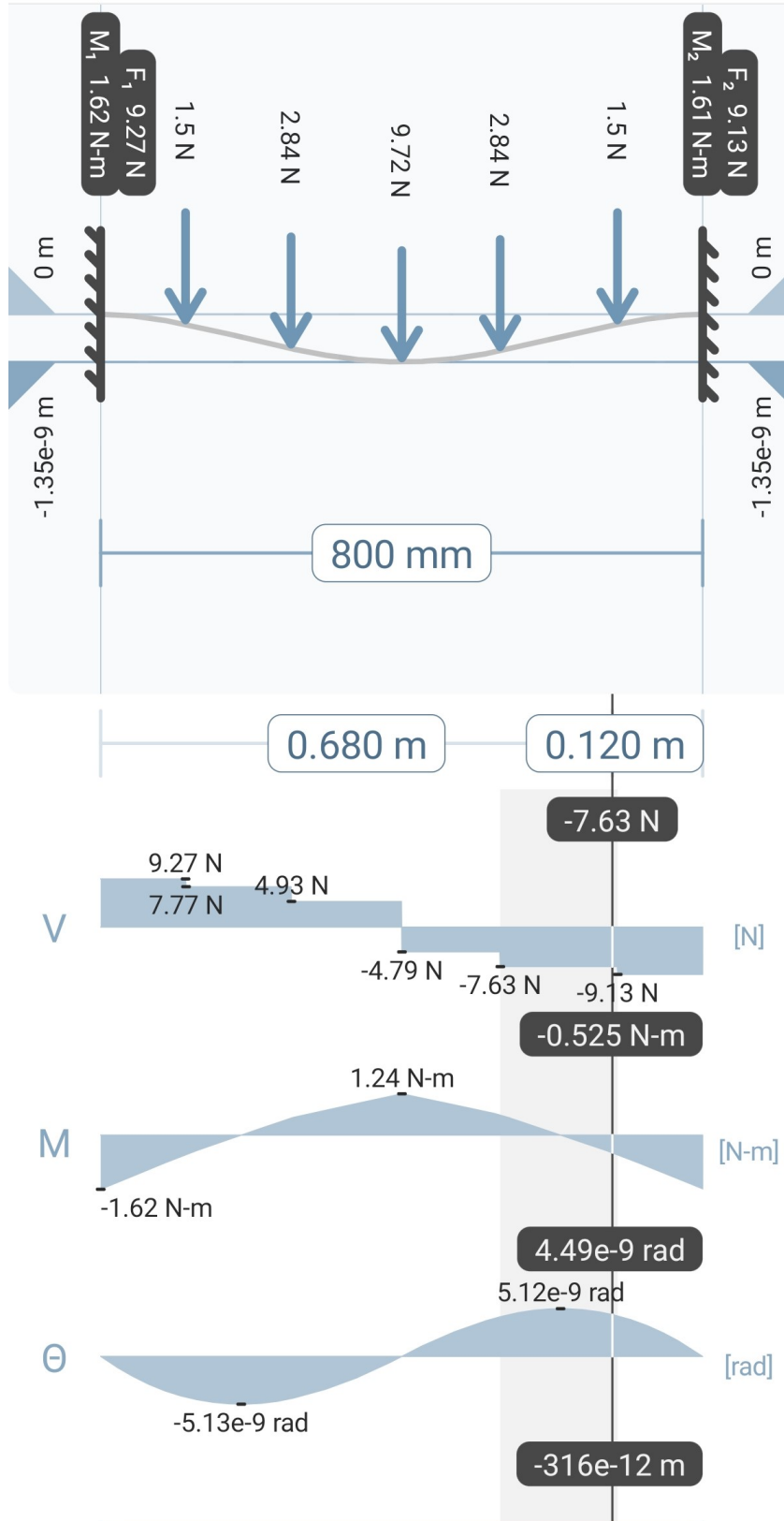


Figura 19: Análisis de esfuerzos momento y deflexión - sujeción de válvulas y perfil en V

Diseño asistido por computadora de la máquina de limpieza

El diseño de la máquina en el primer prototipo fue realizado en el software de Autodesk, Inventor 2021, incluye los componentes neumáticos seleccionados (Válvulas, cilindros y accesorios), detallados en los casos de estudio y en la sección neumática del mismo documento, con una estructura mecánica encargada del movimiento lineal de los componentes neumáticos compuesta de la transmisión de potencia y la estabilidad del riel utilizando perfiles de aluminio serie 8-45 de MISUMI. Esto se muestra en la Figura 20.

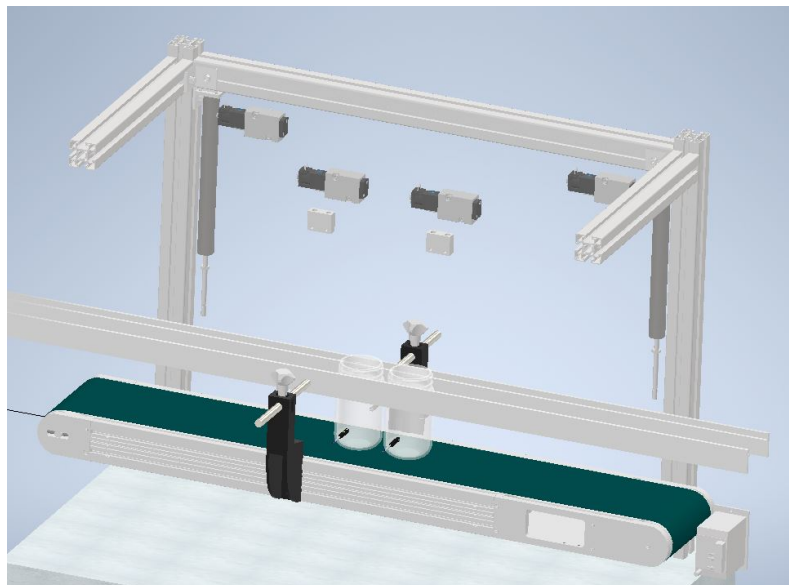


Figura 20: Perfiles del movimiento mecánico T-slots, primera iteración.

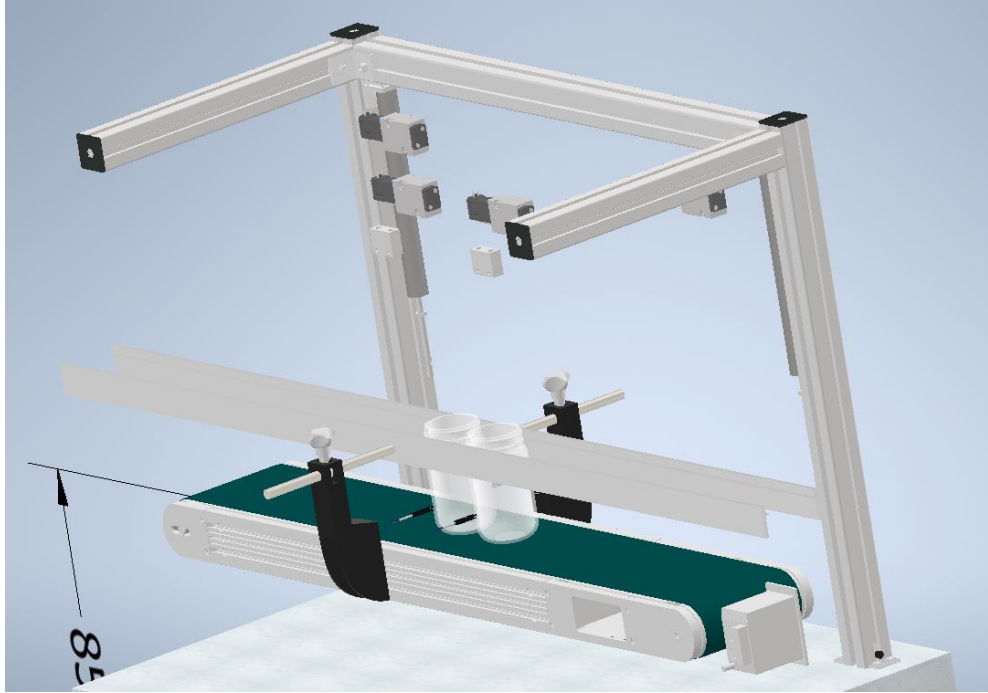


Figura 21: Ensamble con juntas del movimiento mecánico.

A partir del siguiente prototipo mostrado en la Figura 21, se realizó el cambio en los perfiles para el movimiento lineal de los componentes neumáticos dado a conflicto en la relación del perfil MISUMI y su uso como riel de movimiento. Cambio a V-Slot con placa y ruedas. Se notará que también hay aplicados dos componentes circulares como propuesta para rieles lineales secundarios que serán modificados a partir de la Figura 22.

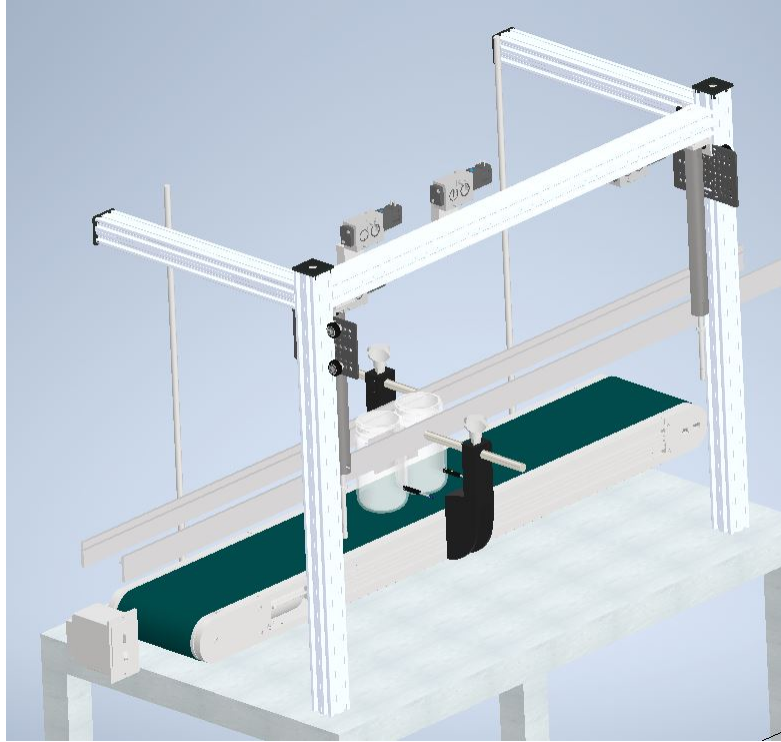


Figura 22: Perfiles del movimiento mecánico

A partir de la Figura 22 se reemplazó el perfil en T con la colocación de V-Slots y la platina universal con ruedas que realizarán el desplazamiento vertical a partir de los rieles generados por la implementación del perfil V. Estos cambios se denotan en la Figura 23.

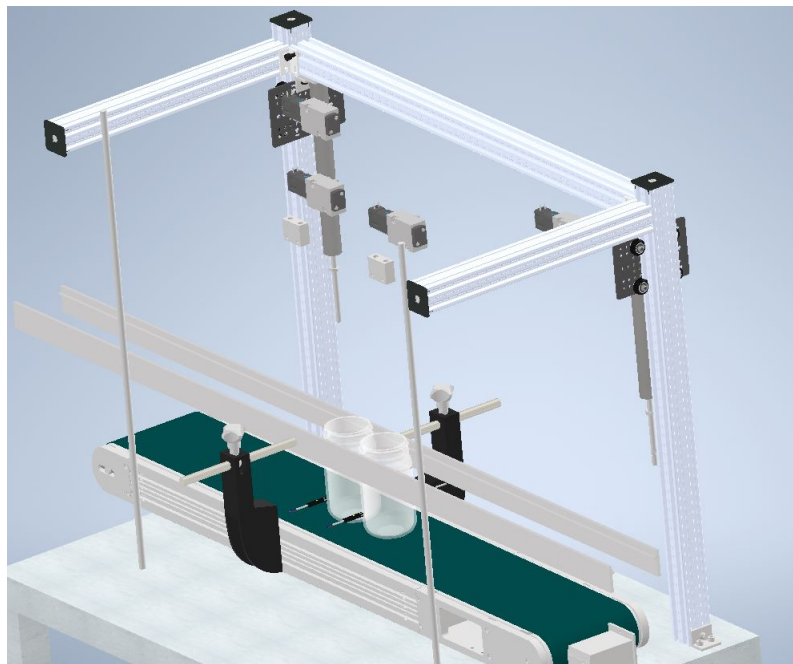


Figura 23: Ensamble con juntas del movimiento mecánico.

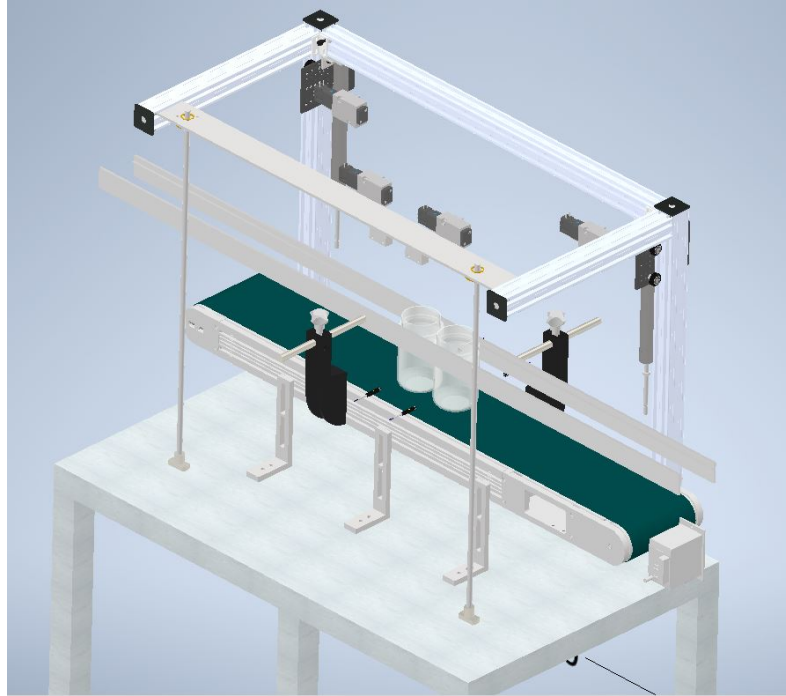


Figura 24: Prototipo con elementos de sujeción base

A partir de la Figura 24 se descarta el perfil circular dadas las complejidades en su adaptación con la sección superior de la máquina y se añade nuevamente un perfil V-Slot como riel lineal. Como parte de las dificultades en la implementación de esta propuesta, se denota en la sección de cálculos mecánicos que la platina puede llegar a sufrir deformación en la implementación de este modelo. Por esta razón, con el mismo perfil en V se acoplan los elementos neumáticos y ya no hay dependencia por una segunda estructura mecánica.

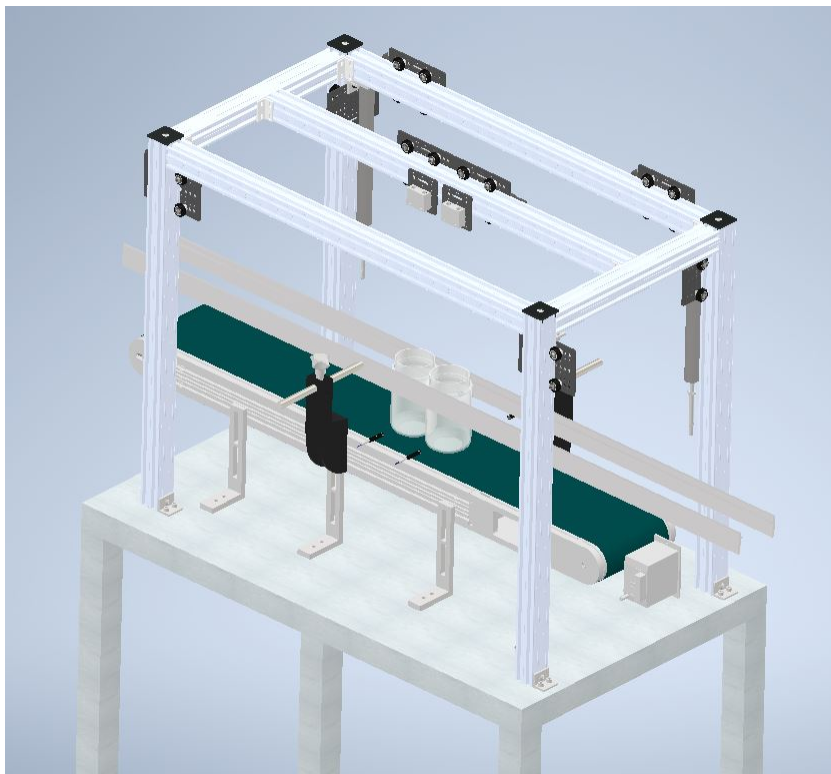


Figura 25: Prototipo con perfil V-Slot

A partir de la Figura 26 se destaca la colocación de tornillería en el avance del prototipo, para la banda se definen por el fabricante tornillos hexagonales M6, mientras que la tornillería de la estructura de los perfiles en V depende del elemento de sujeción propio de Openbuils, capaz de ajustarse a la forma transversal del perfil y ser integrado como elemento de sujeción en las platinas Gantry Kit. El plano de los elementos de los perfiles en V se observa en: 48 en el capítulo de Anexos.

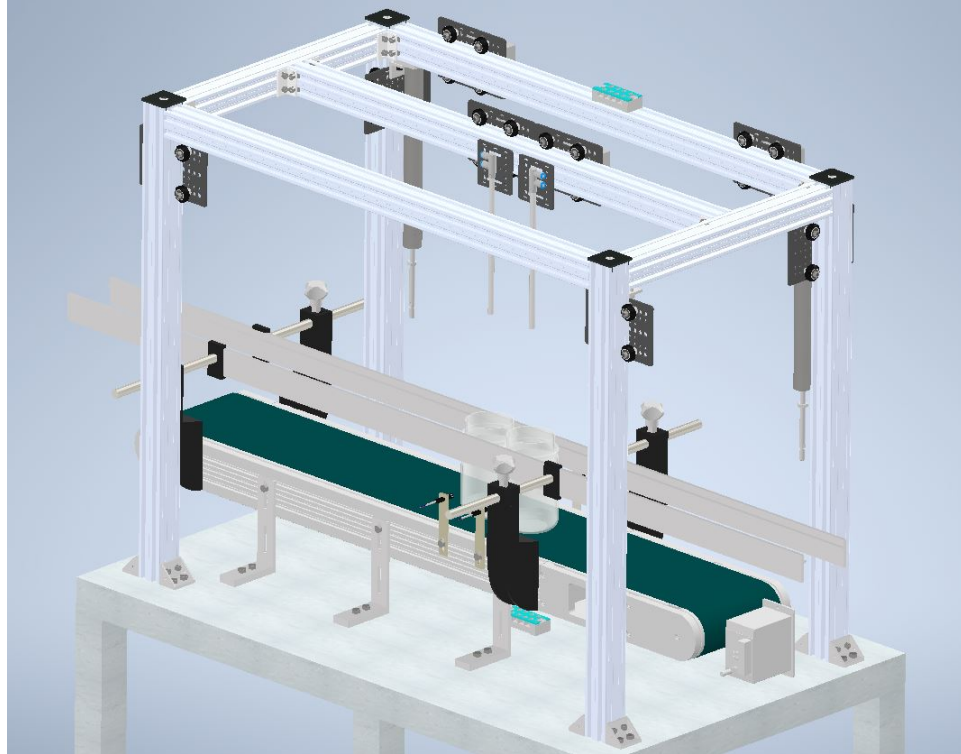


Figura 26: Prototipo con tornillería y componentes de selección

Se destaca la colocación de tubería de media pulgada de diámetro para ambas salidas de la red de aire que trabajarán de 6 a 10 bar. Añadido el componente de ajuste de diámetro de media pulgada a 3/8 de pulgada a la salida de la válvula de control.

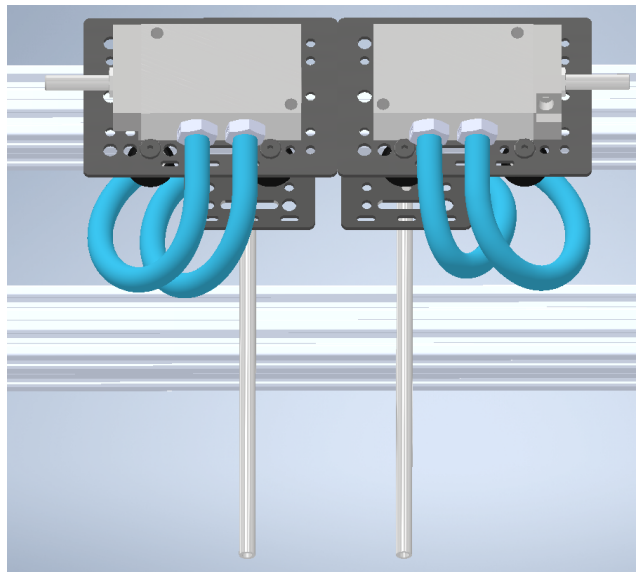


Figura 27: Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire

En las siguientes figuras se observan los elementos del movimiento vertical, compuestos

por los cilindros y válvulas, previos a la colocación de tubería y después de la colocación de tubería, respectivamente en 28 y 29. En estas dos vistas se destaca la perspectiva, puesto a que no es ortográfica como se documenta antes de la Figura 27.

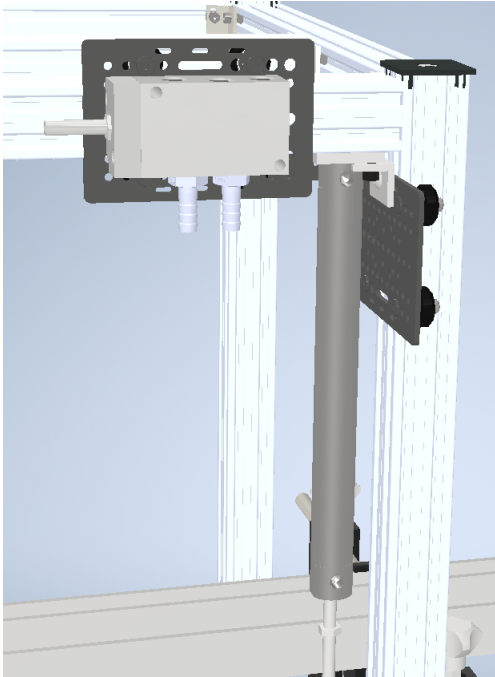


Figura 28: Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire

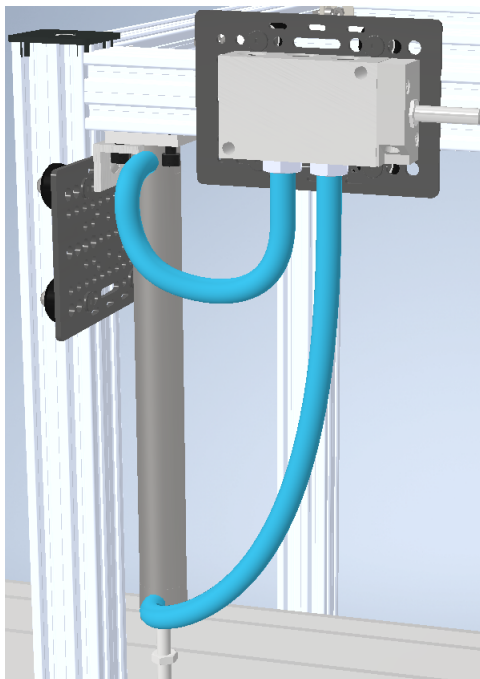


Figura 29: Conexión de las válvulas de control con la salida de la red de aire

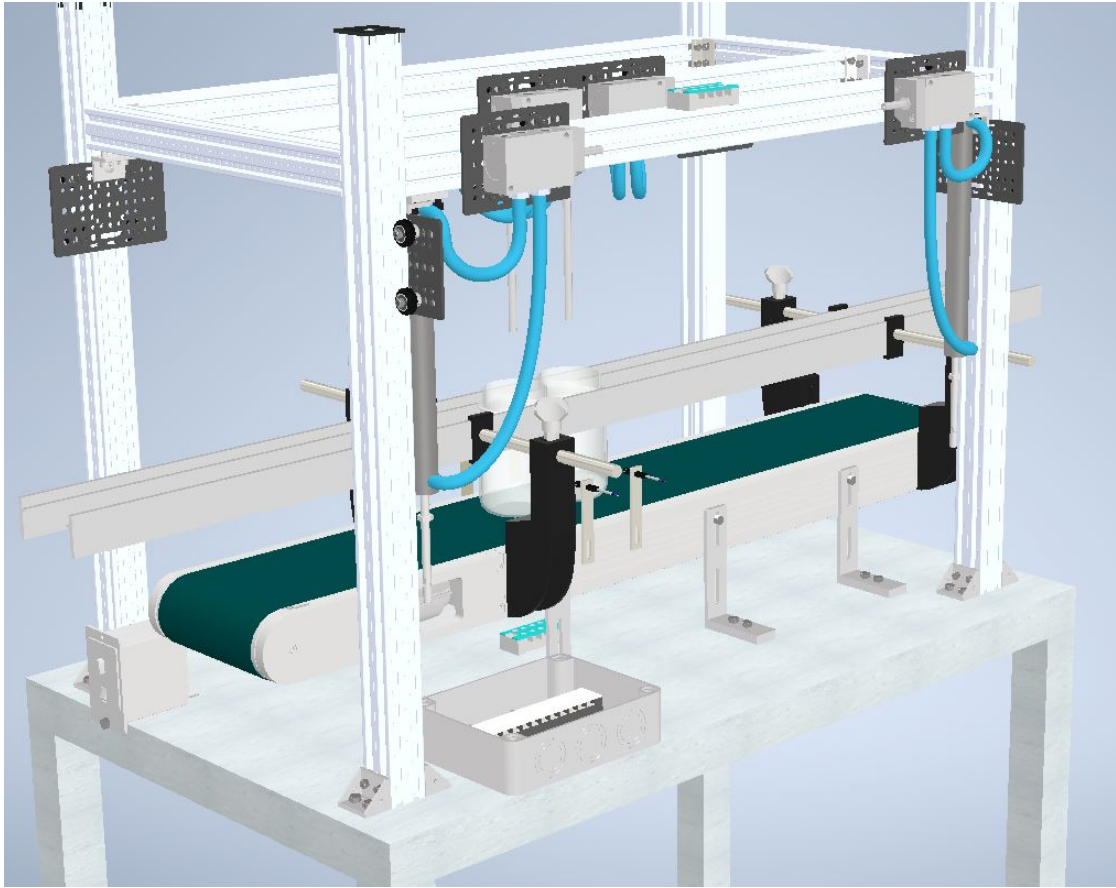


Figura 30: Vista en perspectiva del prototipo con tubería de la red de aire

Como se puede observar en la Figura 30, para colocar las conexiones eléctricas, se añade una caja de protección junto con dos bloques de conexión y dejar cada entrada o salida digital a partir de un solo acceso para facilidad de uso del usuario.

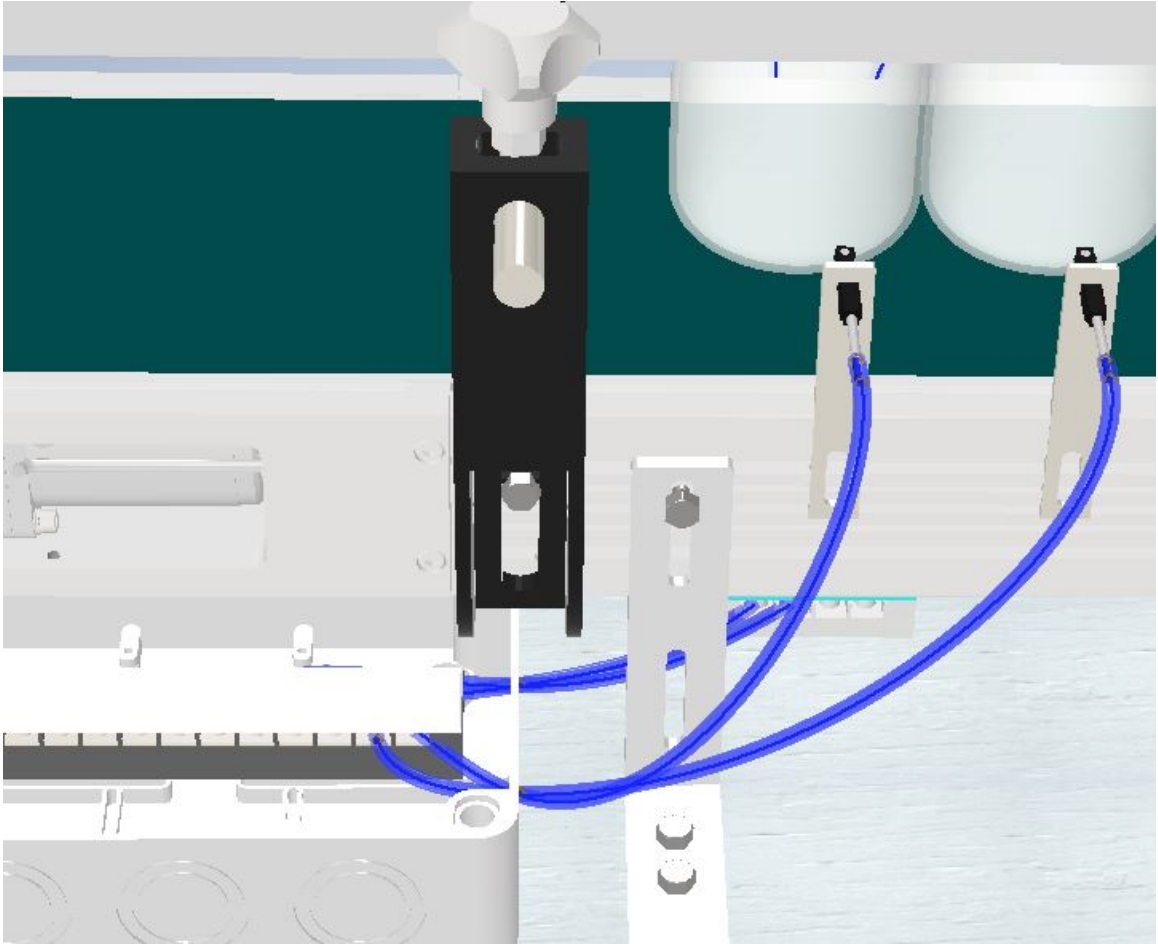


Figura 31: Conexión eléctrica de los sensores a la caja eléctrica

A partir de la figura anterior, para asegurar la estabilidad de la sección mecánica, se añade en la parte superior de la estructura un arreglo adicional de perfiles de aluminio cuya función es mantener rígida la estructura una vez montada la parte móvil de los rieles verticales, se puede apreciar el arreglo en las figuras siguientes a partir de la Figura 32.

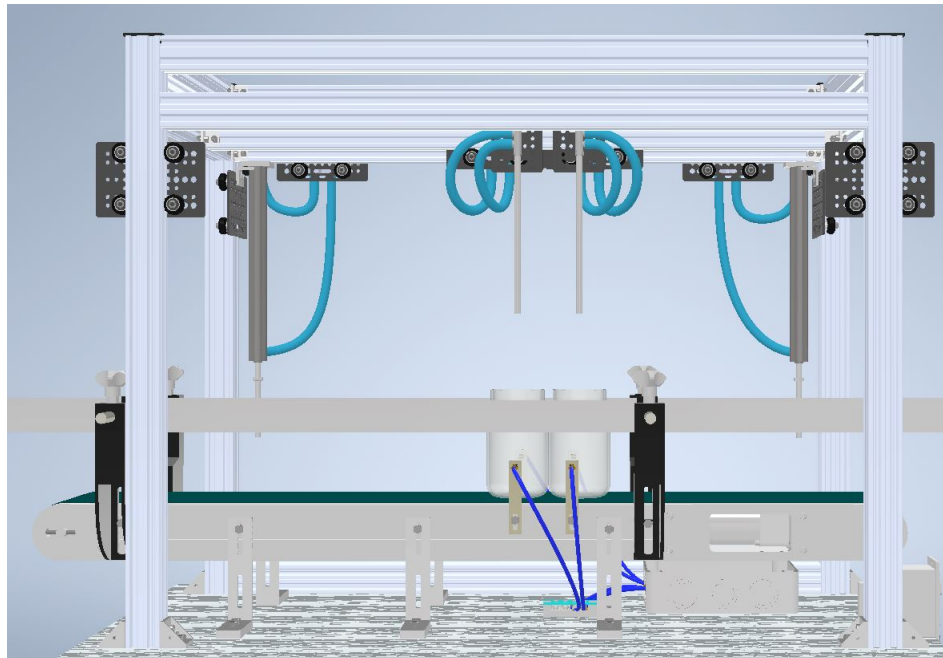


Figura 32: Vista frontal de la máquina con arreglo adicional superior.

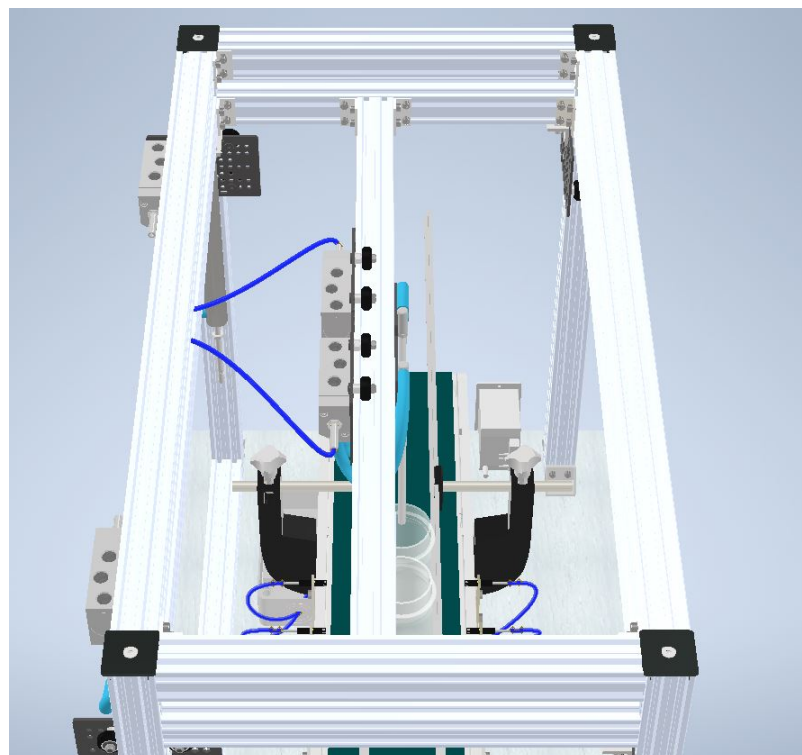


Figura 33: Vista superior en perspectiva de la conexión eléctrica.

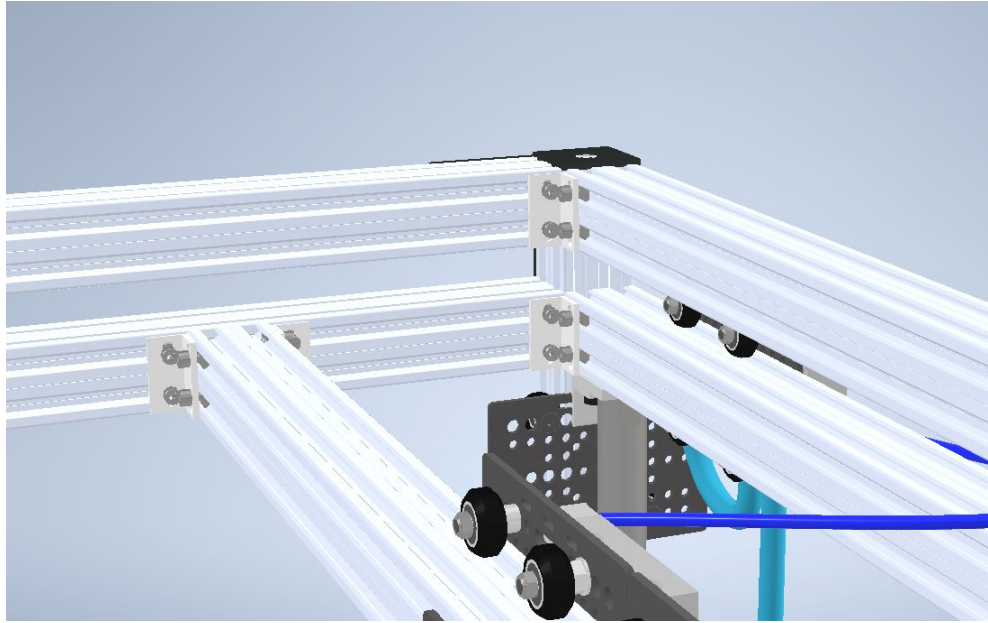


Figura 34: Vista superior en perspectiva de la tornillería de la estructura superior.

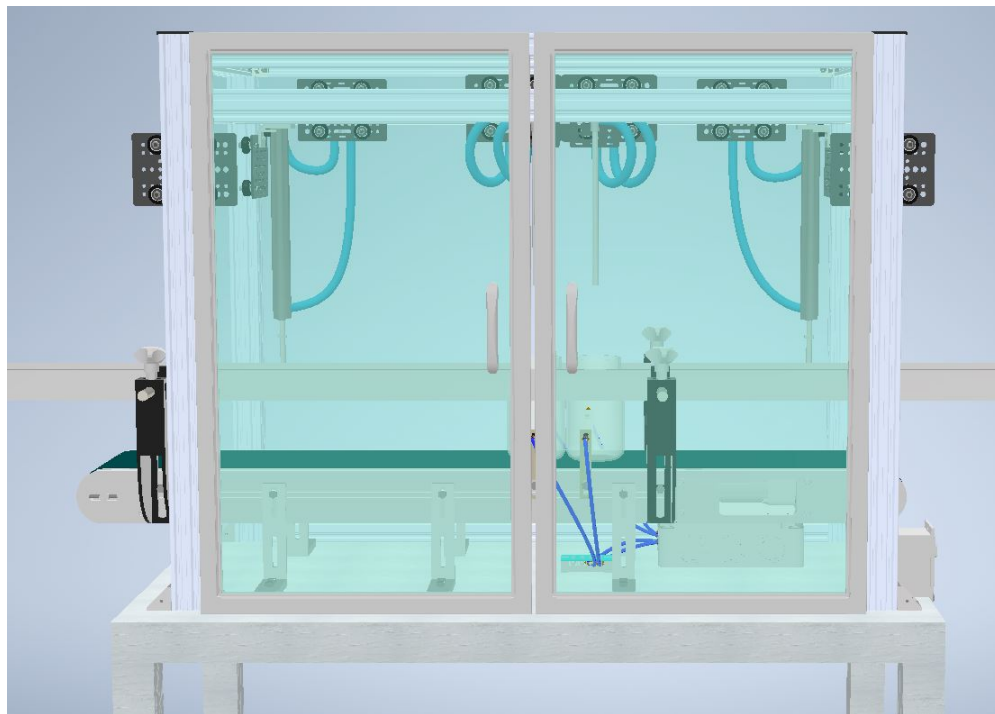


Figura 35: Instalación de puerta de seguridad pasiva frontal.

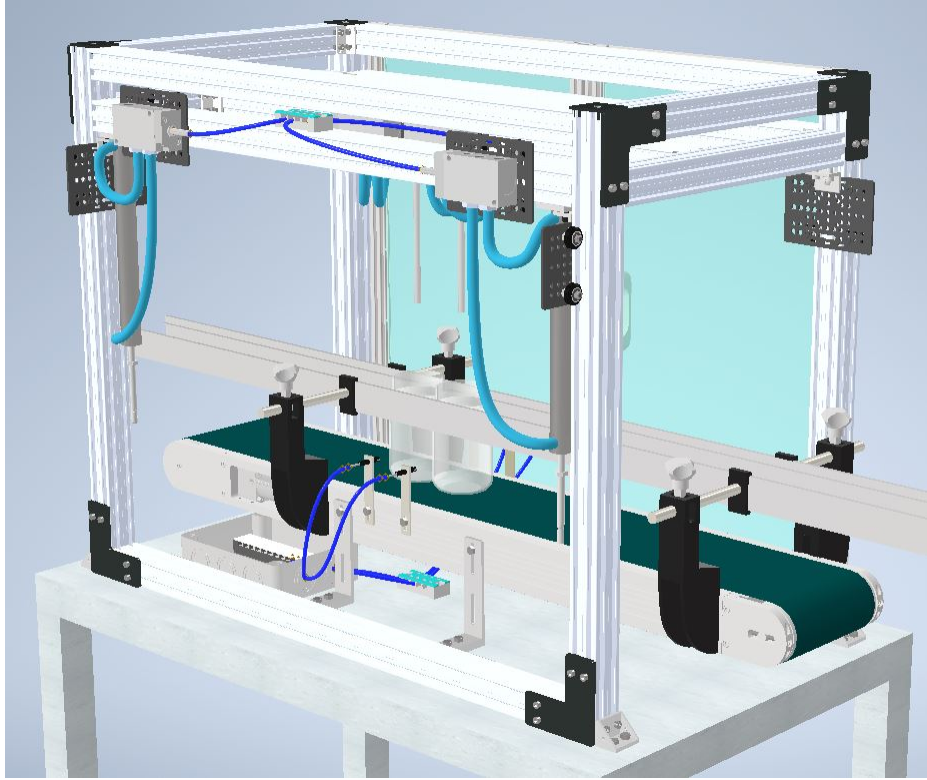


Figura 36: Conexiones en L para la estructura mecánica.

Planos mecánicos de la máquina de limpieza - Prototipo

En la Figura 37 se muestra el plano en vista ortográfica del primer prototipo. A partir de este se añaden modificaciones a la sección mecánica, componentes de seguridad pasiva, instalación de elementos electrónicos y conexiones del sistema neumático.

Para asegurar un ajuste modular con el resto de máquinas de la línea de producción, la altura entre la parte inferior de la banda y el suelo se ajusta a 920.00mm. Las dimensiones vistas frontalmente se muestran en la Figura 39. Las dimensiones exteriores de la estructura mecánica se presentan en la vista lateral y frontal.

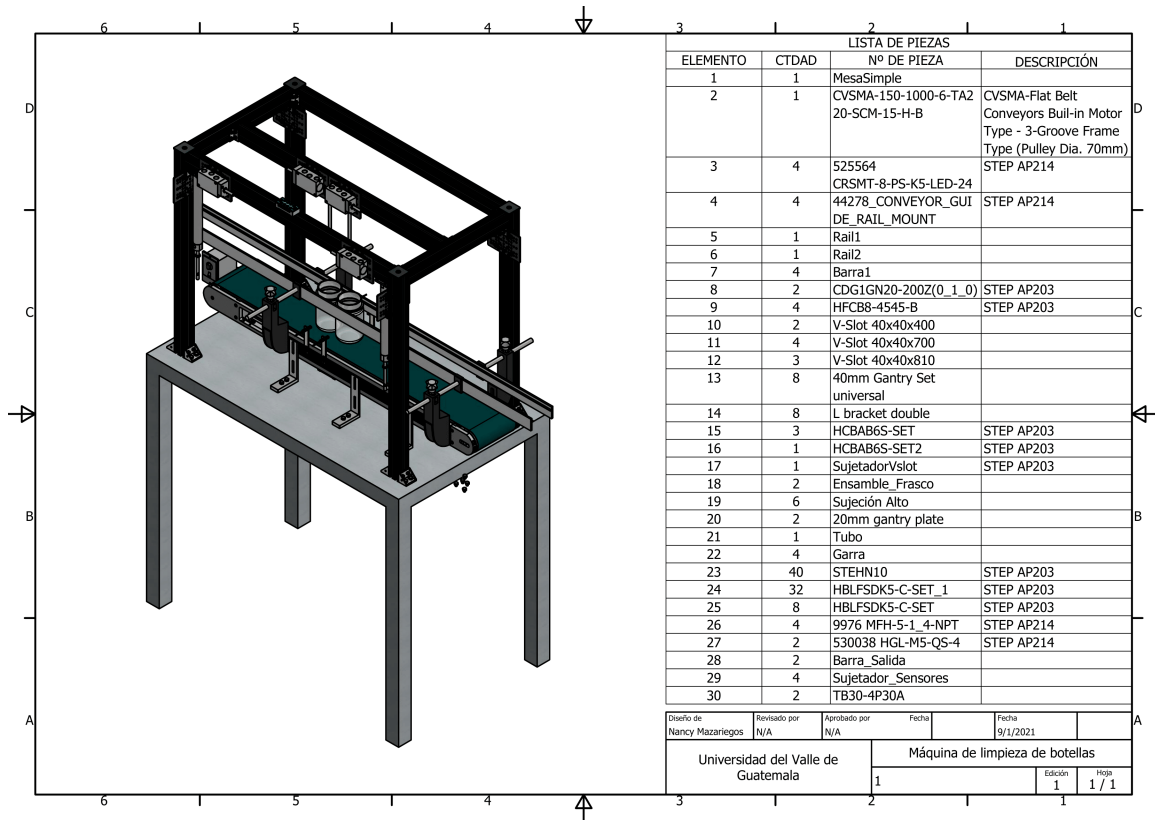


Figura 37: Muestra inicial del ensamblaje de la máquina.

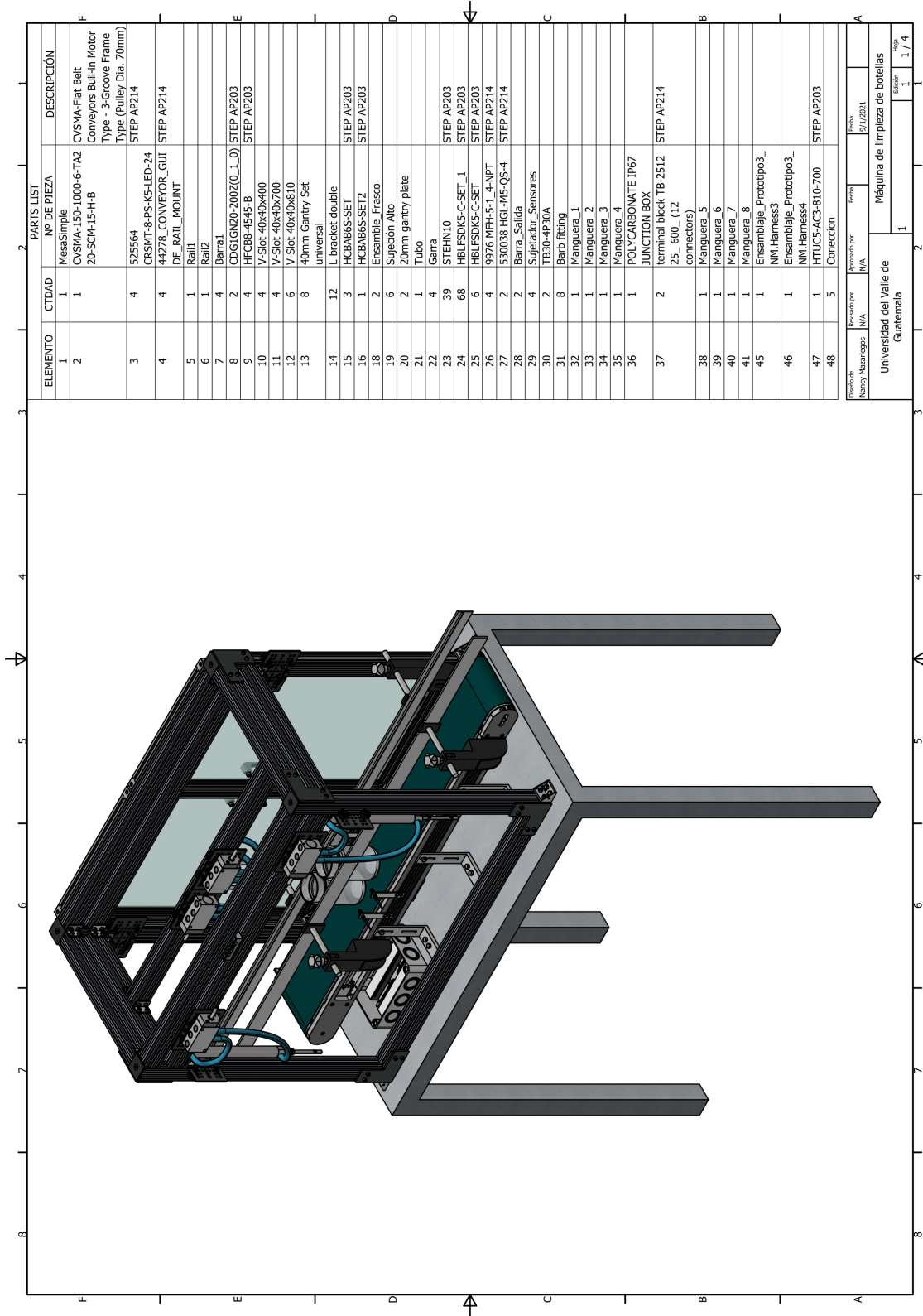


Figura 38: Muestra inicial del ensamblaje de la máquina.

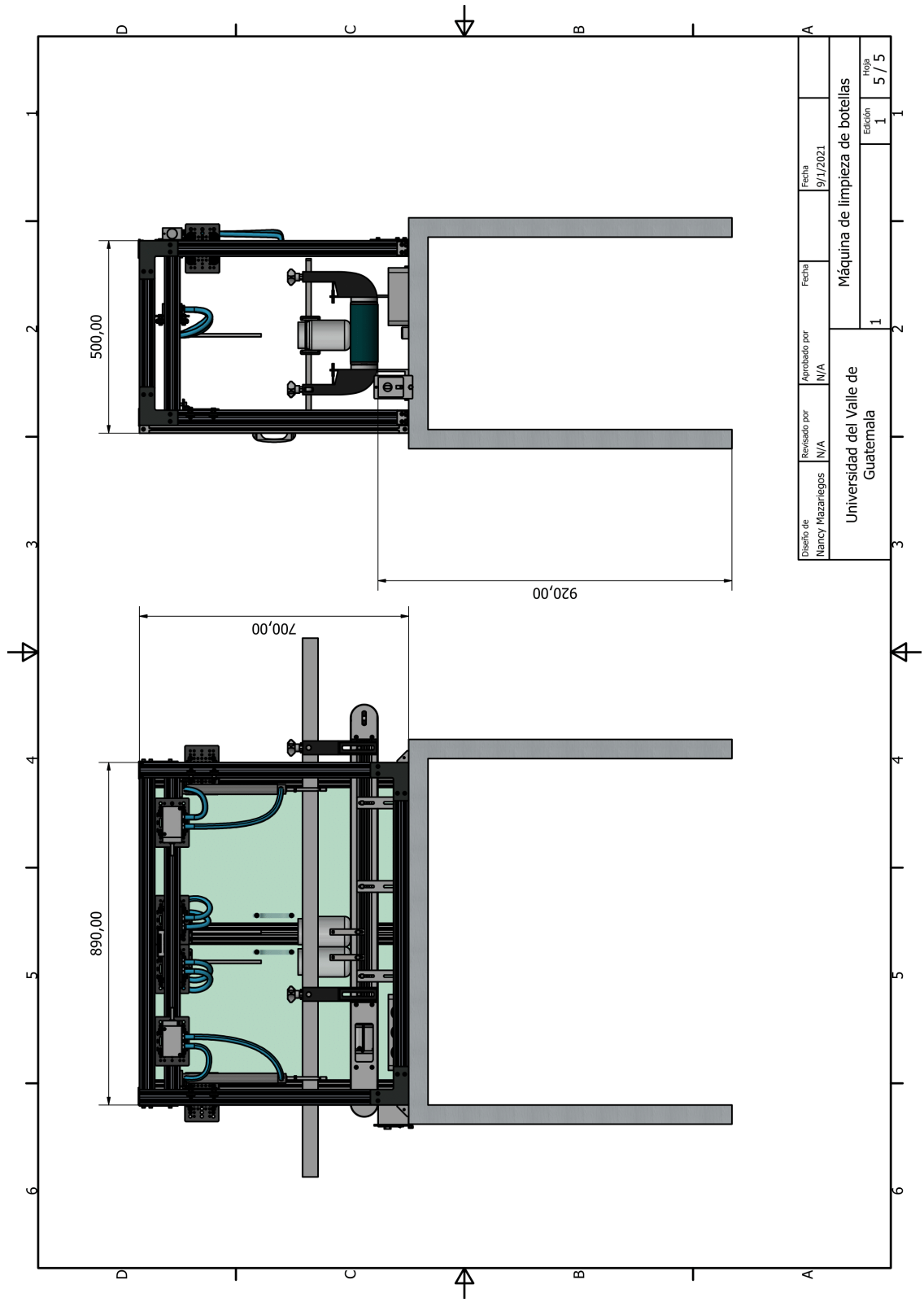


Figura 39: Dimensiones exteriores estructura mecánica y altura de banda.

Plano neumático y eléctrico de la máquina de limpieza

Componentes seleccionados para el diseño neumático en base a los trade studies mencionados en el capítulo 7 seguido por su diagrama de funcionamiento en la Figura 42, son:

Válvulas: 9976 MFH 5 1/4 NPT.

Entradas y salidas digitales: PLC Simatic 300. SM 322; DO 16 x DC 24 V/0,5 A: (6ES7322-8BH10-0AB0), SM 321; DI 16 x DC 24 V; (6ES7321-1BH02-0AA0).

En el caso del direccionamiento el siguiente muestra la relación directa entre planos eléctricos y neumáticos, dado que en el primer plano se muestran los componentes del diagrama de movimiento neumático interconectados con las salidas y entradas digitales utilizadas, siendo parte del cableado electrónico donde las salidas de los sensores se encuentran en el tablero junto con los botones de accionamiento de la máquina, botón de encendido y paro, respectivamente. Para identificar el diagrama de movimiento, se observan las secciones color rojo y verde y para identificar las entradas digitales, se observa la sección indicada como "panel de control".42

En el caso de la conexión eléctrica del motor, se hace referencia a las entradas digitales START para referenciar el movimiento de la banda al no detectar botellas por parte del sensado de la máquina. Se encuentra adjunto el plano para el motor DFMC1 de la banda transportadora en la Figura 43 del presente documento. Cabe mencionar que este es el primer prototipo de simulación realizado en el software de CADE-SIMU.

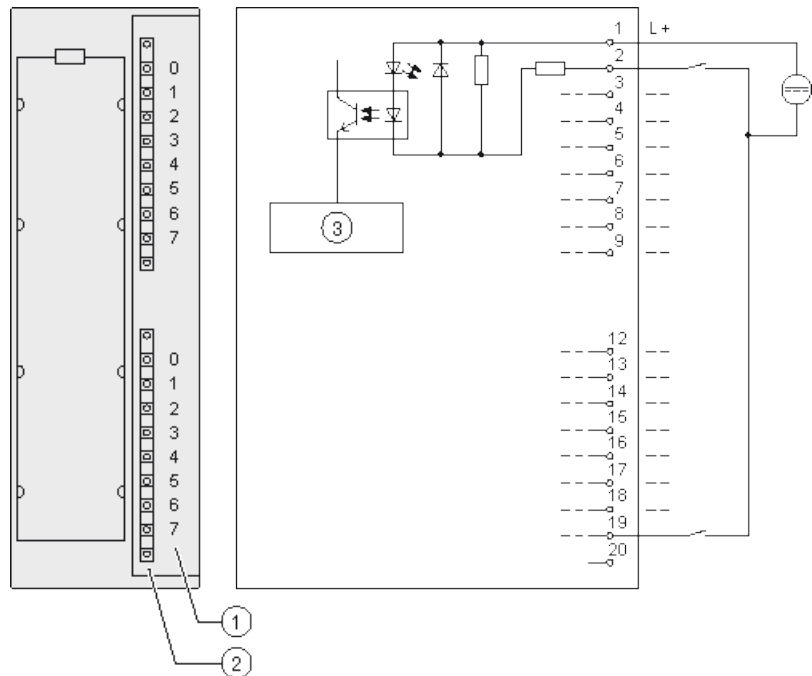


Figura 40: Módulo de entradas digitales.

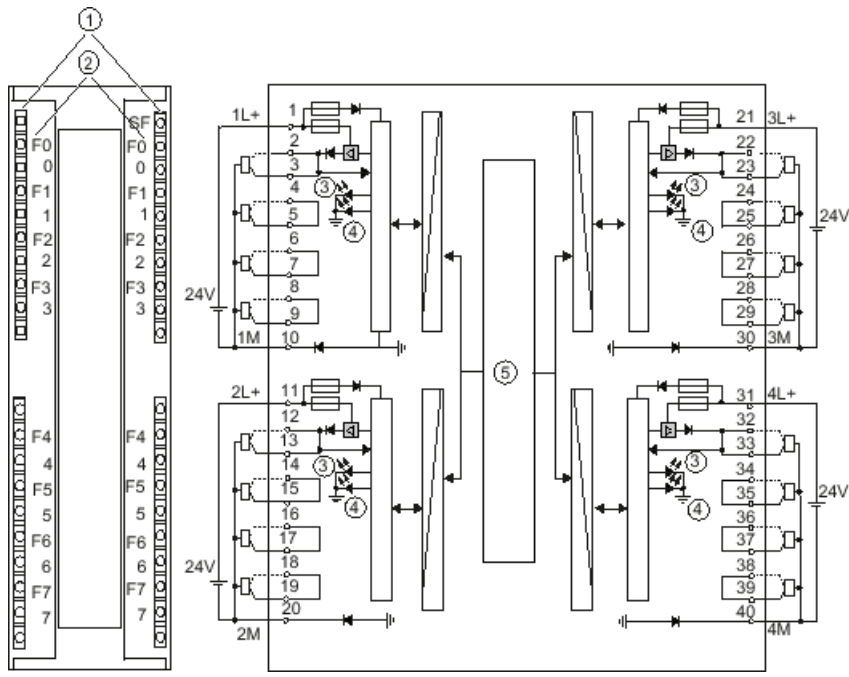


Figura 41: Módulo de salidas digitales.

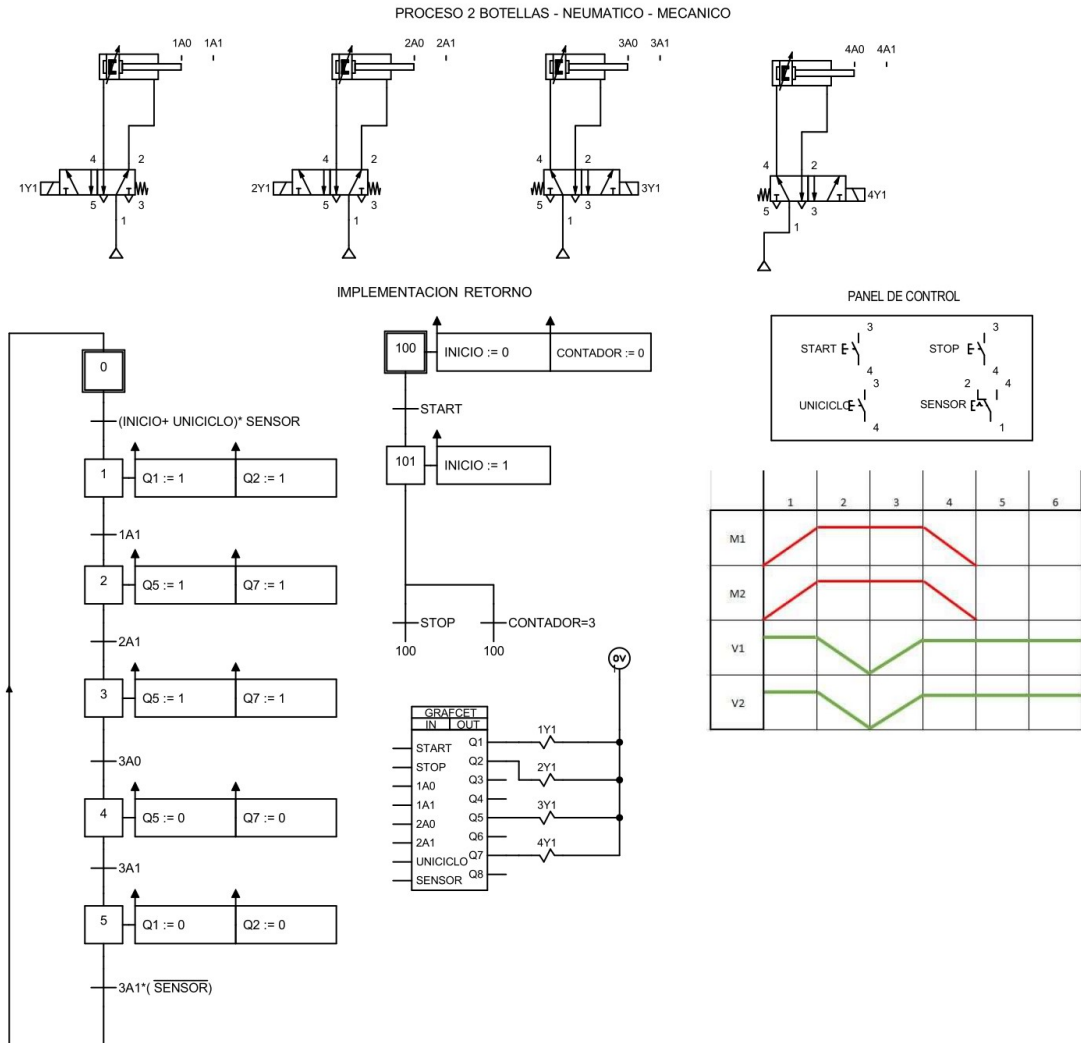


Figura 42: Módulo de salidas/entradas digitales y control en CADE-SIMU

En el diagrama neumático 42, para accionar el movimiento lineal y el accionamiento de soplado son necesarias cuatro salidas digitales del módulo SM332. Puesto que las válvulas funcionan con un regreso de resorte y se emplea únicamente una señal, por válvula, de 24V para proceder con el proceso. Por lo que pueden ser utilizados los pines: A12.1, A12.2, A12.3, A12.4, o bien, las salidas a convenir.

En el panel de control de la Figura 42 se describen las señales de entrada como start, modo de configuración unicitylo, sensor y stop. Como parte de la configuración del tablero del laboratorio de instrumentación, los pines de entrada E8.0 a 8.4 son ocupados por:

	Dirección
RUN	8.0
STOP	8.1
AUTOMATICO	8.2
MANUAL	8.3
E-STOP	8.4

Cuadro 10: Direcciones predeterminadas de entradas digitales en tableros.

Dadas las direcciones predeterminadas de las entradas, son necesarias para las conexiones de los sensores, cuatro entradas digitales, puesto a que la cantidad de sensores planteados son cuatro. Por lo tanto se proponen las direcciones, 8.5 a 8.8.

	Dirección
RUN	8.0
STOP	8.1
AUTOMATICO	8.2
MANUAL	8.3
E-STOP	8.4
SENSOR 1	8.5
SENSOR 2	8.6
SENSOR 3	8.7
SENSOR 4	8.8

Cuadro 11: Direcciones predeterminadas de entradas digitales en tableros con sensores.

Lista de materiales (BOM)

Para realizar el prototipo propuesto - primera versión, el listado de materiales con la cantidad de componentes estimada da un total de 4,785.47 USD, como se muestra en la siguiente tabla. Para el prototipo - segunda versión, con un total de 6,082.21 dólares, GTQ 47,441.22 aproximadamente, dependiendo del tipo de cambio, se adjunta la tabla con elementos y enlaces de compra.

ID	Category	Supplier	Quantity	Price	Total per Unit
CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-I	Conveyors & Material Handling	MISUMI	1	\$ 2,265.99	\$ 2,265.99
525564 CRSMT-8-PS-K5-LED-24	PROXIMITY SENSOR	FESTO ELECTRIC 525564	4	\$ 93.26	\$ 373.04
CONVEYOR_GUIDE_RAIL_MOUNT	Conveyor Components	Alex Accessories	4	\$ 24.99	\$ 99.96
CDG1GN20-200Z(0_1_0)	Air Cylinder, Standard Type	MISUMI	2	\$ 56.12	\$ 112.24
HFCB8-4545-B	Extrusion End Caps	MISUMI	4	\$ 2.90	\$ 11.60
V-Slot® 40x40 Linear Rail x500	LINEAR RAIL	OpenBuildstore	2	\$ 13.99	\$ 27.98
V-Slot® 40x40 Linear Rail x1000	LINEAR RAIL	OpenBuildstore	3	\$ 26.99	\$ 80.97
V-Slot Gantry Kit - Universal	GANTRY CARTS	OpenBuildstore	4	\$ 37.99	\$ 151.96
L Bracket 45	Aluminum Panel Support Bracke	OpenBuildstore	8	\$ 1.50	\$ 11.98
HCBAB6S-SET	Aluminum Panel Support Bracke	MISUMI	8	\$ 4.50	\$ 36.00
L Bracket 200	Aluminum Panel Support Bracke	OpenBuildstore	8	\$ 5.55	\$ 44.40
V-Slot Gantry Kit 20	GANTRY CARTS	OpenBuildstore	4	\$ 31.99	\$ 127.96
STEHN10	Screw Type	EPA	20	\$ 2.30	\$ 46.03
HBLFSDK5-C-SET	Brackets - 5 Series	MISUMI	8	\$ 3.99	\$ 31.92
MFH-5-1/4-NPT	Other Pneumatics	COAST NEUMATICS	4	\$ 233.64	\$ 934.56
HGL-M5-QS-4	Pil.check valve	Landefeld	2	\$ 47.29	\$ 94.58
PW-15A	Screw Fitting	MISUMI	8	\$ 10.60	\$ 84.80
JBX100	Junction Boxes	MISUMI	1	\$ 77.72	\$ 77.72
MANGUERA 1/2" PARA AIRE 15 MTS CC	Compressed Aire Hose	Compra Total	2	\$ 85.89	\$ 171.78
Total					\$ 4,785.47

Figura 44: Listado de materiales - primera versión.

ID	ID Manufacture	Category	Quantity	Price per Unit	Total per Project
01	CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-B	Conveyors & Material Handling	1	\$ 2,265.99	\$ 2,265.99
02	525564 CRSMT-8-PS-K5-LED-24	PROXIMITY SENSOR	4	\$ 93.26	\$ 373.04
03	CONVEYOR_GUIDE_RAIL_MOUNT	Conveyor Components	4	\$ 24.99	\$ 99.96
04	CDG1GN20-200Z(0_1_0)	Air Cylinder, Standard Type	2	\$ 56.12	\$ 112.24
05	HFCB8-4545-B	Extrusion End Caps	4	\$ 2.90	\$ 11.60
06	V-Slot® 40x40 Linear Rail x500	LINEAR RAIL	4	\$ 13.99	\$ 55.96
07	V-Slot® 40x40 Linear Rail x1000	LINEAR RAIL	6	\$ 26.99	\$ 161.94
08	V-Slot Gantry Kit - Universal	GANTRY CARTS	4	\$ 37.99	\$ 151.96
09	L Bracket 45	Aluminum Panel Support Brackets	8	\$ 1.50	\$ 11.98
10	HCBAB6S-SET	Aluminum Panel Support Brackets	8	\$ 4.50	\$ 36.00
11	L Bracket 200	Aluminum Panel Support Brackets	8	\$ 5.55	\$ 44.40
12	V-Slot Gantry Kit 20	GANTRY CARTS	4	\$ 31.99	\$ 127.96
13	HBLFSDK5-C-SET	Brackets - 5 Series	16	\$ 3.99	\$ 63.84
14	MFH-5-1/4-NPT	Other Pneumatics	4	\$ 233.64	\$ 934.56
15	HGL-M5-QS-4	Pil.check valve	2	\$ 47.29	\$ 94.58
16	PW-15A	Screw Fitting	8	\$ 10.60	\$ 84.80
17	14.9CB-M6-20	Socket Cap Screw	1	\$ 93.73	\$ 93.73
18	JBX100	Junction Boxes	1	\$ 77.72	\$ 77.72
19	HTUC5-AC3-800-700	Door Units	2	\$ 207.36	\$ 414.72
20	FX7601	Air Compressor	2	\$ 346.72	\$ 693.44
21	HOOSE 1/2" MALE 1/2"	Compressed Aire Hose	2	\$ 85.89	\$ 171.78
Total per Project					\$ 6,082.21
Total per Project (GTQ)					GTQ 47,441.22

ID	Data
01	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302279660/?HissuCode=CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-B&PNSearch=CVSMA-
02	https://www.alliedelec.com/m/d/01a1488fd3d781965e4c1b22e21a8506.pdf
03	https://alexproducts.com/Documents/Section5-1.pdf
04	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/221006300138/?HissuCode=CDG1GN20-200Z&PNSearch=CDG1GN20-
05	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302260850/?HissuCode=HFCB8-4545-B&PNSearch=HFCB8-4545-
06	https://openbuildspartstore.com/v-slot-40x40-linear-rail/
07	https://openbuildspartstore.com/v-slot-40x40-linear-rail/
08	https://openbuildspartstore.com/v-slot-gantry-kit-universal/
09	https://openbuildspartstore.com/l-bracket/
10	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110302262860/?HissuCode=HCBAB6S-SET&PNSearch=HCBAB6S-
11	https://openbuildspartstore.com/l-bracket/
12	https://openbuildspartstore.com/v-slot-gantry-kit-20mm/
13	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110300437620/?HissuCode=HBLFSDK5-C-SET&PNSearch=HBLFSDK5-C-
14	https://www.coastpneumatics.com/product/9976/
15	https://www.landefeld.com/artikel/en/hgl-m5-qs-4-530038-pil-check-valve/OT-FESTO023717
16	https://us.misumi-
17	https://us.misumi-
18	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110100177110/
19	https://us.misumi-
20	https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/223005006480/
21	https://www.compratotal.com/products/manguera-1_2-para-aire-15-mts-con-machos-1_2?variant=21144400583

Figura 45: Listado de materiales - segunda versión.

Para dirigirse a los links de data, seleccionar el ID en el siguiente Cuatro: 12

ID	Data
01	https://bit.ly/3JDIPzm
02	https://amzn.to/3FVYZ4Q
03	https://bit.ly/3ztAYzF
04	https://bit.ly/3FM3sXL
05	https://bit.ly/3qNRZkf
06	https://bit.ly/3mTB2Ui
07	https://bit.ly/3mTB2Ui
08	https://bit.ly/3qJNiYL
09	https://bit.ly/3ERZQCn
10	https://bit.ly/32ZiAlT
11	https://bit.ly/3ERZQCn
12	https://bit.ly/3f2Q4D3
13	https://bit.ly/3sYq0AW
14	https://bit.ly/3eMChQJ
15	https://bit.ly/3pPNxSP
16	https://bit.ly/3zA8Qet
17	https://bit.ly/3qJqwAa
18	https://bit.ly/3zmndCG
19	https://bit.ly/3zlcFv
20	https://bit.ly/3G3JfN2
21	https://bit.ly/3ES1UdB

Cuadro 12: Direcciones web tipo bitly.

- Se seleccionaron dos estándares para el filtrado y delimitación de la calidad de aire para la línea de producción didáctica, aquellos con menor cantidad de restricciones para la aplicación, por un escenario menos estricto comparado a un escenario en la industria de alimentos.
- Se seleccionaron perfiles en V en la integración de rieles lineales puesto a que pueden adaptarse a perfiles con la característica de movimiento vertical integrado, conformados por un kit con una platina y ruedas modulares.
- En la sección mecánica se concluye que tanto las vigas y sus respectivos elementos de sujeción soportan los esfuerzos máximos que pueden generar las cargas de los componentes neumáticos que la componen y el propio peso de la estructura.
- Para la seguridad pasiva de la máquina se selecciona una puerta de uso industrial con material polímero acrílico para evitar el contacto de las secciones móviles en la parte frontal de la máquina.
- Se seleccionó como elemento de detección de botellas un sensor capacitivo de proximidad puesto a que es adaptable con la aplicación, capaz de entrar en contacto con alimento, mantiene la compatibilidad de voltaje en conexión digital del PLC y es de alcance corto.
- Se realizó un diseño asistido por computadora modular de la máquina propuesta cuya función es limpiar una botella por medio de soplado utilizando componentes electrónicos digitales y neumáticos.
- Se realizó un listado de componentes con enlaces de compra y precios respectivos de los elementos requeridos para el prototipo diseñado.

- Para complementar el siguiente proyecto, con la integración de módulos electrónicos, mecánicos y neumáticos, se recomienda en el desarrollo del proyecto, tomar como prioridad un rango amplio de trabajo en la selección de componentes a utilizar, por ejemplo, verificar que los sensores tengan una salida de tensión adaptable al equipo ya disponible dentro del laboratorio del CIT.
- Otra recomendación es integrar las secciones neumáticas con la sección electrónica desde el inicio del proceso de diseño, puesto a que parte del objetivo didáctico es incentivar al alumno a interconectar ambas secciones para lograr el funcionamiento adecuado de la máquina de limpieza, utilizando lo mejor posible los recursos del equipo de instrumentación.
- La tercera recomendación en la sección neumática es verificar arduamente los diámetros de la tubería que integrarán las válvulas que realizarán el soplado de las botellas, principalmente porque al finalizar el proceso será conectado a una válvula antirretorno o válvula de salida seleccionada, que presenta la particularidad de poseer un diámetro de entrada menor al de salida de la electroválvula accionada, en gran parte de los escenarios planteados, por lo tanto se deben conectar ambos con adaptador. En caso no se plantee desde el inicio de diseño que deben ser compatibles para evitar concentración en el flujo del aire comprimido.

- [1] FESTO. (). “Sistemas de aprendizaje para la formación técnica,” dirección: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468894/56827_2017_09_es_PG_FA_small.pdf. (accessed: 30.02.2021).
- [2] UNED. (). “Soplado con aire ionizado y aspirado de partículas con filtraje F8,” dirección: <https://www.traktechsl.com/2019/10/08/limpieza-botellas-vidrio-aire-ionizado/>. (accessed: 15.03.2021).
- [3] EN1822:2011. (). “Guía Comparativa de Normas para la Clasificación de los Filtros de Aire,” dirección: <https://www.venfilter.es/normativa/guia-comparativa-de-normas-para-la-clasificacion-de-los-filtros-de-aire>. (accessed: 30.04.2021).
- [4] S. J. Air. (). “Válvulas Neumáticas para la Automatización Industrial,” dirección: <https://ar.microautomacion.com/es/definicion-valvula-neumatica/>. (accessed: 25.04.2021).
- [5] R. B. Gmbh, “Conceptos, Sistemas y Esquemas,” en *Sistemas Neumáticos para Vehículos Industriales V.1*, BOSH, 2000, págs. 12, 20, 43.
- [6] K. I. Park. (). “Ion Air,” dirección: <https://www.linkcompresores.com.co/>. (accessed: 11.05.2021).
- [7] Air-Pro. (). “Sistemas de Tubería para Manejo de Aire,” dirección: https://www.asahi-america.com/images/x-assets/PDF/Catalog_2014_Air_Pro_Spanish.pdf.
- [8] Modutech. (). “Bandas Modulares de Trayectoria Recta,” dirección: <https://www.mafdel-belts.com/wp-content/uploads/Bandas-modulares-de-trayectoria-recta.pdf>. (accessed: 10.04.2021).
- [9] MAFDEL. (). “Bandas Modulares Termosoldables MAFDE,” dirección: <https://saenz-si.com/images/pdf/mafdel/catalogo-bandas-transportadoras-mafdel.pdf>. (accessed: 10.04.2021).
- [10] P. Universidad. (). “Fundamentos de seguridad industrial,” dirección: <https://profinet-university.com/seguridad-funcional/fundamentos-seguridad-industrial-seguridad-maquinas/>.

- [11] J. C. Villajulca. (). “Controladores Lógicos Programables (PLC),” dirección: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf.
- [12] J. Pérez. (). “Clasificación de Sensores,” dirección: <https://cloudtec.pe/blog/automatizacion-industrial/sensores/>. (accessed: 02.06.2021).
- [13] QBPROFE. (). “Sensor de Proximidad Capacitivo,” dirección: <https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/sensor-de-proximidad-capacitivo/>.
- [14] J. C. Villajulca. (). “Conociendo el lenguaje escalera «Ladder» en los PLCs,” dirección: <https://instrumentacionycontrol.net/conociendo-el-lenguaje-escalera-ladder-en-los-plcs/>.
- [15] G. Hamburg. (). “Mecánica – resistencia de materiales,” dirección: https://www.gunt.de/images/download/Anlisis-experimental-de-esfuerzos-y-deformaciones-conocimientos-bsicos_spanish.pdf.
- [16] FESTO. (). “Hoja de Datos Air solenoid valve MFH-5-1/4-NPT,” dirección: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/9976>.
- [17] OpenBuilds. (). “Hoja de Datos V-Slot Gantry Kit - Universal,” dirección: <https://openbuildspartstore.com/v-slot-gantry-kit-universal/>.
- [18] .-6. (ALUMINIO). (). “Hoja de Datos -6063- (ALUMINIO),” dirección: https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6063_aluminio.pdf.
- [19] MISUMI. (). “Hoja de Datos 14.9CB-M6-20,” dirección: https://jp.c.misumi-ec.com/book/YUR1_M01_SS/o/0013.jpg.

16.1. Planos de perfiles definidos

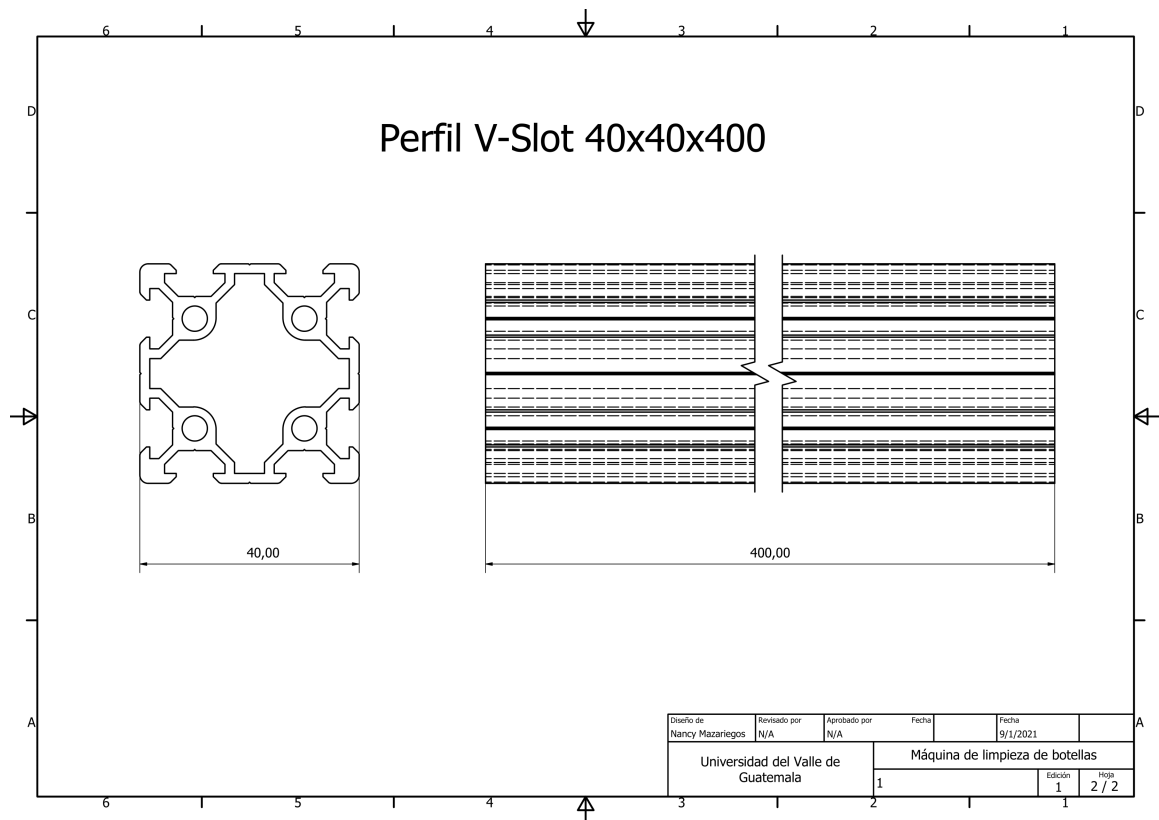


Figura 46: Perfil V-Slot seleccionado de OpenBuilding

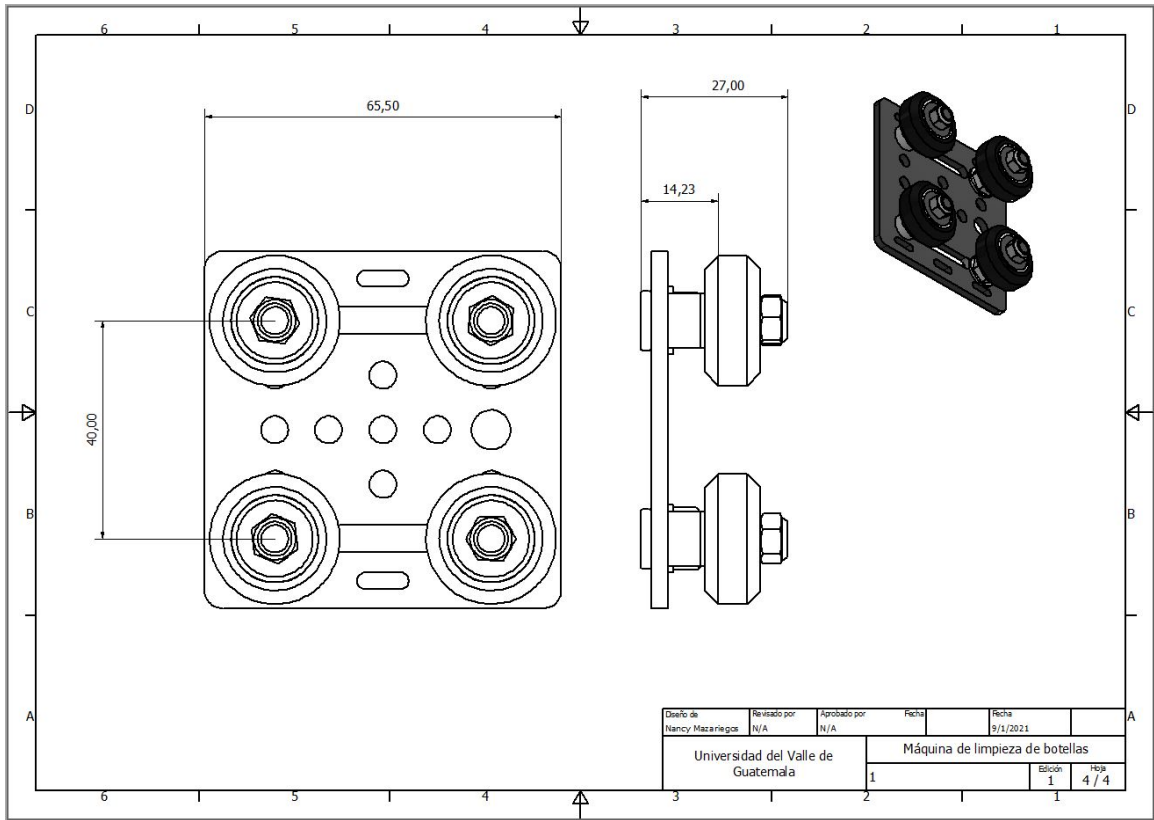


Figura 47: Platina seleccionada para riel vertical, elemento para V-Slot de OpenBuilding

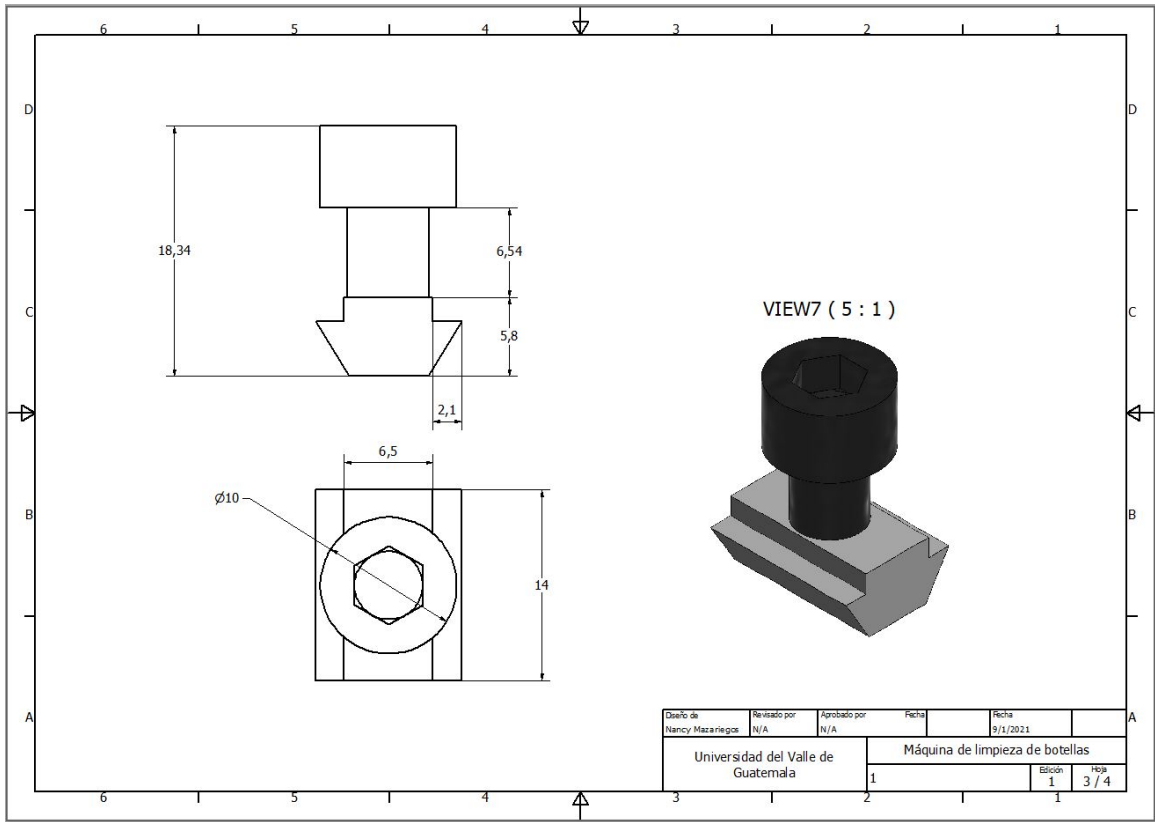


Figura 48: Ajuste de elemento de sujeción interno, V-Slot de OpenBuilding

Automatización: Aplicación de máquinas y/o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria. 7

ISO: Organización Internacional de Normalización. 8

PLC: Controlador Lógico Programable. 13

Red de aire comprimido: Un caudal de aire constante que se entrega en distintos puntos de una planta. 11

Seguridad pasiva: En un ambiente industrial: Barreras de protección, cubiertas para piezas móviles, puertas. 13

Válvula: Componente cuyo propósito es abrir o cerrar un conducto o apertura. 9

