

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de una máquina de clasificación de frascos por color
para el laboratorio de automatización industrial de la
Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Dennis Abraham Reyes Molina
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de una máquina de clasificación de frascos por color
para el laboratorio de automatización industrial de la
Universidad del Valle de Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Dennis Abraham Reyes Molina
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2022

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Kurt Kellner

(f) 
MAEB. Otto Girón

(f) 
M. Sc. Carlos Esquit

Fecha de aprobación: Guatemala, 22 de Junio de 2022.

La elaboración de la presente tesis surgió de la necesidad y el interés de diseñar una línea de producción para el laboratorio de automatización industrial del Centro de Innovación y Tecnología CIT de la Universidad del Valle de Guatemala.

Durante el transcurso de mi licenciatura tuve un especial interés en los temas de diseño y modelado 3D en programas enfocados al área de ingeniería, estoy agradecido de que se me dió la oportunidad y confianza de trabajar en este tema de investigación y apoyar en el diseño mecánico y eléctrico de una de las máquinas de la línea de producción, y de esta manera ayudar al desarrollo profesional de futuros estudiantes afines a la carrera de electrónica y mecatrónica.

Soy muy afortunado de que muchas personas me hayan apoyado a lo largo de mi desarrollo profesional en esta casa de estudio, tanto profesores, como estudiantes, como personal administrativo del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica. Agradezco especialmente a mi familia, que me han apoyado en cada etapa de mi formación tanto personal, como académica y que siempre me han animado en este proyecto de graduación.

Prefacio	v
Lista de figuras	XIII
Lista de cuadros	XV
Resumen	XVII
Abstract	XIX
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	9
6. Marco teórico	11
6.1. Envolventes y cuadros eléctricos	11
6.1.1. Clasificación de cuadros eléctricos	11
6.1.2. Consideraciones técnicas para evitar las perturbaciones electromagnéticas	15
6.2. PLCs	15
6.2.1. Conceptos generales	15
6.2.2. Bloques esenciales de un PLC	16
6.3. Funcionamiento del PLC	20
6.3.1. Modos de operación	21
6.3.2. Ejecución del programa en línea	21
6.3.3. Estructura de ejecución del programa	21

6.4. Interfaces de entrada y salida	22
6.4.1. Entradas y salidas digitales	22
6.4.2. Entradas lógicas	22
6.4.3. Salidas lógicas	23
6.4.4. Entradas y salidas analógicas	23
6.4.5. Entradas y salidas especiales	23
6.5. Instrumentos de medición	24
6.5.1. Instrumentos de medición y control	25
6.5.2. Clasificación de los instrumentos	28
6.5.3. Códigos de identificación para los instrumentos	29
6.5.4. Detectores de proximidad	34
6.6. Actuadores	35
6.6.1. Accionamientos eléctricos	35
7. Sistema de transporte	37
7.1. Banda transportadora	37
7.1.1. Motor eléctrico	39
7.1.2. Diseño de extensión para acoplar el motor	42
7.1.3. Diseño del soporte del motor	42
7.1.4. Selección de soportes para la banda	43
7.1.5. Cantidad de soportes para la banda	43
7.1.6. Planteamiento de rieles	44
8. Sensor de color	47
8.1. Montaje del sensor en la máquina	49
9. Estructura principal	51
9.1. Componentes utilizados	51
10. Sistema de clasificación	55
10.1. Planteamiento de mecanismo de clasificación	55
10.2. Componentes utilizados	56
10.2.1. Guía lineal	56
10.2.2. Motor	57
10.2.3. Bisagras	57
10.2.4. Sistema de ejes	57
10.2.5. Extensiones para la clasificación	58
11. Diseño de bandeja	61
11.1. Primer prototipo	61
11.2. Diseño final	63
11.2.1. Rampa	63
11.3. Soporte	64
11.4. Bandeja	65
12. Cabina de seguridad	69
12.1. Puertas	69
12.2. Estructura	70

13. Sistema eléctrico	73
13.1. Caja de conexiones eléctricas didácticas	73
13.2. Circuito de control del motor de la banda transportadora	76
13.2.1. Conector CN1	77
13.2.2. Conector CN3	78
13.2.3. Conector CN4	78
13.3. Conexión del motor y controlador	80
13.4. Selección de calibre de cables para la conexión eléctrica	81
13.5. Selección de terminales de conexión	84
13.6. Caja de distribución eléctrica	85
14. Resultados	89
14.1. Análisis de esfuerzos de la estructura	89
14.2. Análisis de esfuerzos para la bandeja	91
14.3. Modelado de conexiones eléctricas	91
14.4. Ensamble final de la máquina	94
15. Conclusiones	99
16. Recomendaciones	101
17. Bibliografía	103
18. Anexos	105

Lista de figuras

1. Estación de distribución MPS de FESTO	3
2. Estación de separación MPS D de FESTO	4
3. Estación de clasificación MPS D de FESTO	4
4. Representación de señales	30
5. Dimensiones de la banda transportadora.	38
6. Perfiles laterales de la banda.	38
7. Modelo CAD de banda transportadora.	39
8. Dimensiones del motor.	40
9. Dimensiones del controlador.	40
10. Modelo digital del motor.	41
11. Modelo digital del controlador.	41
12. Extensión de eje de salida del motor.	42
13. Pieza de compensación para sujetar el motor.	42
14. Piezas de soporte para la banda transportadora (HFDANK6-SST)	43
15. Ensamble de la banda transportadora con los soportes HFDANK6-SST.	43
16. Soporte de rieles para mantener el frasco	44
17. Perfiles de los rieles que podemos implementar	44
18. Figura de NLA	45
19. Ensamble de los rieles con la banda transportadora	45
20. Sensor 45CLR Color-Sight	47
21. Ensamble de los rieles con la banda transportadora	48
22. Conector de 45CLR Color-Sight	48
23. Dimensiones de sensor 45CLR Color-Sight	49
24. Pieza de montaje para 45CLR Color-Sight	50
25. Montaje del sensor a la banda transportadora	50
26. Perfil GFS8-4040.	51
27. Dimensiones de perfil GFS8-4040	52
28. Componente HBLFSNF8-C-SST.	52
29. Componente HNTTSS8-8. 9	53
30. Componente HNTAJ8-8. 10	53

31. Componente HNTAP8-5. [11]	53
32. Ensamble de la mesa con sus soportes transversales	54
33. Mecanismo de clasificación	56
34. Ensamble de la guía lineal utilizada en el mecanismo	56
35. Ensamble del motor y el tornillo sin fin	57
36. Pivotes para las guías del mecanismo	57
37. Sistema de ejes para compensación de movimiento	58
38. Sistema de ejes para compensación de movimiento	59
39. Rampa para los frascos	62
40. Vista lateral de rampa y bandeja	62
41. Sujeción de las partes de la bandeja	63
42. Cojinetes 608zz y piezas de sujeción	63
43. Estructura de la rampa	64
44. Soporte estructural de la rampa y la bandeja	65
45. Soporte estructural de la rampa y la bandeja	65
46. Almacenamiento de frascos en la bandeja	66
47. Estructura de la bandeja	66
48. Estructura de la bandeja	67
49. Ensamble de la bandeja con la máquina	67
50. Puertas modelo HHUA8L-AC3-980-500	69
51. Puertas abiertas	70
52. Estructura de la cabina de protección	70
53. Piezas de sujeción de la cabina	71
54. Cabina de seguridad completa	71
55. Caja de conexión SPCM181808T	73
56. Configuraciones posibles para la caja de conexión SPCM181808T	74
57. Modelo CAD de caja de conexión SPCM181808T	74
58. Bornera STB 814-10P	74
59. Bornera STB 815-6P	75
60. Modelo CAD de caja de conexión SPCM181808T completa	75
61. Modelo CAD de caja de conexión SPCM081306T	75
62. Modelo CAD de caja de conexión SPCM081306T completa	76
63. Controlador DSCD6UA	76
64. Conector CN1	77
65. Distribución del puerto CN1	77
66. Conector CN3	78
67. Conector CN4	78
68. Distribución del puerto CN4	79
69. Circuito de conexión del motor de 110VAC	80
70. Circuito de conexión alterno del motor de 110VAC	80
71. Terminal RV	85
72. Terminal SV	85
73. Distribución de fuerzas sobre la mesa	89
74. Esfuerzos máximos de Von Mises	90

75. Análisis de tensión en la estructura	90
76. Análisis de presión por contacto	91
77. Tensión de Von Mises para la bandeja	91
78. Vista inferior del cableado	92
79. Vista frontal del cableado	92
80. Distribución de conexiones en SPCM181808T	92
81. Cableado de controlador DSCD6UA	93
82. Cableado de controlador BMD-20DIN	93
83. Distribución de conexiones en SPCM081306T	94
84. Cableado de mecanismo de clasificación	94
85. Estado actual de la máquina	95
86. Estado actual de la máquina	95
87. Estado actual de la máquina	96
88. Estado actual de la máquina	97
89. Estado actual de la máquina	97
90. Estado actual de la máquina	98
91. Código QR de la base de datos. 27	105

Lista de cuadros

1. Valores T para distintos niveles de confianza y grados de libertad	26
2. Identificación de instrumentos	29
3. Código de identificación de instrumentos según ISA-S5.1-84 (R-1992)	31
4. Símbolos de instrumentos	32
5. Ubicación de instrumentos	32
6. Posición de instrumentos	33
7. Colores de procesos en panel	34
8. Especificaciones de la banda transportadora	37
9. Especificaciones técnicas del motor y su controlador	39
10. Conector del sensor 45CLR	49
11. Especificaciones del conector CN1	77
12. Especificaciones del conector CN4	79
13. Cantidad de corriente necesaria por componente	81
14. Especificaciones eléctricas con factor de carga	81
15. Ampacidad de distintos calibres de cables eléctricos	82
16. Factor de temperatura para ampacidad	82
17. Ampacidad modificada por el factor de temperatura	83
18. Selección de calibres de cables	83
19. Distancia de conexiones eléctricas	84
20. Caída de voltaje	84
21. Cantidad de borneras necesarias	86
22. Cantidad de conexiones a tierra	86
23. Cantidad modificada de borneras necesarias	86
24. Cantidad bornes en las cajas de distribución	87

Una empresa enfocada en productos alimenticios debe de garantizarle al consumidor que sus productos cumplen con estándares de calidad ideales para el consumo de estos, para lo cual el proceso de verificación puede clasificarse dependiendo del tipo de producto, ya que esto va de la mano con el proceso de la línea de producción y los pasos que se llevan a cabo para obtener el producto final.

Por esta razón en una línea de producción que está enfocada al llenado y envasado de distintos productos, ya sean alimenticios, de higiene y limpieza o bebidas existen distintas etapas que garantizan tanto la limpieza del producto y envase, como mantener un estándar de calidad ideal para el consumidor. Esta es la principal razón por la que se necesita una estación que se encargue no sólo de cuidar dicha calidad, sino de verificar que dicho producto esté en la clasificación que le corresponde o que mantenga ciertos estándares.

Existen distintos parámetros por los que se pueden clasificar no solamente los productos sino también que la integridad del envase cumpla con los requerimientos necesarios, por esta razón la máquina que se diseñará tendrá un método de distribución de frascos mediante el color por la facilidad de tener frascos de distintos colores que emulen una clasificación de productos mediante el tipo de envase (en este caso la tapa).

Ya que uno de los principales objetivos es que la máquina tenga una funcionalidad más enfocada al aprendizaje, las dimensiones de esta no serán de índole industrial sino que será adaptada a las necesidades del laboratorio de instrumentación del departamento de Ingeniería Mecatrónica, sin perder el enfoque híbrido entre una máquina industrial en un entorno didáctico.

A company focused on food products must guarantee the consumer that its products meet ideal quality standards for their consumption, for which the verification process can be classified depending on the type of product since this goes hand in hand with the process of the production line and the steps that are carried out to obtain the final product.

For this reason, in a production line that is focused on the filling and packaging of different products, whether they are food, hygiene, cleaning, or beverages, there are different stages that guarantee both the cleanliness of the product and the container, as well as maintaining an ideal quality standard for the consumer. This is the main reason why a station is needed that is in charge not only of taking care of said quality but also of verifying that said product is in the corresponding classification or that it maintains specific standards.

There are different parameters by which the products can be classified, but also that the integrity of the container meets the necessary requirements, for this reason, the machine that will be designed will have a method of distributing bottles through color for ease of having bottles of different colors that emulate a classification of products by the type of container (in this case the lid).

Since one of the main objectives is for the machine to have functionality more focused on learning, its dimensions will not be of an industrial nature. Still, they will be adapted to the needs of the instrumentation laboratory of the Mechatronics Engineering department, without losing the hybrid approach between an industrial machine in a didactic environment.

El presente trabajo de graduación tiene como principal objetivo principal diseñar una máquina de clasificación de frascos por color para el laboratorio de automatización industrial del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala. La importancia de trabajar este proyecto radica en la necesidad de darle mayor experiencia a los estudiantes de las carreras de electrónica y mecatrónica en el área de automatización industrial, al utilizar distintos instrumentos que se puedan llegar a encontrar en un ambiente laboral, pero en un ambiente didáctico.

En el capítulo dos se analizan distintas opciones comerciales que se encuentran en el mercado y son muy similares a la máquina que se desea en el laboratorio. Estas máquinas se encargan de la distribución, separación o clasificación de distintos elementos que puedan estar en la banda transportadora de estas.

En el capítulo tres se plantea la justificación detrás de la necesidad de realizar el proyecto para el beneficio, no sólo de la universidad, sino del desarrollo profesional de los estudiantes del departamento de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica. En el capítulo cuatro y cinco se plantean los objetivos que se tienen al realizar este proyecto, como el alcance que se le dará a este, en la primera etapa de diseño.

En el capítulo seis se abordan varios puntos teóricos que sustentan la implementación de distintos elementos, tanto mecánicos, como eléctricos en el diseño de la máquina, e información necesaria para entender la etapa de control y alimentación de esta, mediante un PLC.

En el capítulo siete se encuentra detallada la etapa de selección de la banda transportadora que se utilizará en la máquina, donde se pueden encontrar las especificaciones técnicas de sus dimensiones, sujeción al resto de la máquina, motor y su controlador. También se encuentran algunas modificaciones para el correcto funcionamiento de esta.

El capítulo ocho se enfoca en el sensor que se utilizará para clasificar los frascos, que en este caso será un sensor de color de Allen-Bradley, donde se pueden observar sus especificaciones.

caciones técnicas, como sus dimensiones físicas y la comunicación que este presenta, para transmitir los datos hacia el PLC. También se encuentra el diseño de un soporte para sujetar dicho sensor al resto de la máquina.

El capítulo nueve tiene como objetivo detallar cómo es la estructura principal de la máquina, la utilización de las extrusiones de aluminio y el ensamble de dichas extrusiones, para conformar la estructura y soporte de la máquina.

El capítulo diez es uno de los más importantes, ya que habla acerca de cómo es el mecanismo que va a clasificar los frascos. Aquí se detalla cómo se acopló la idea que se utiliza en impresoras 3D y distintas máquinas CNC para desplazar distintos ejes, a la máquina de clasificación y los componentes que se seleccionaron y se diseñaron específicamente para completar el mecanismo.

En el capítulo once se encuentra el diseño de la bandeja donde se encontrarán los frascos ya clasificados, también se detallan los componentes utilizados y diseñados específicamente para construir este elemento, como los métodos de fabricación de los componentes que lo requieran.

En el capítulo doce se plantea la cabina de seguridad para la máquina, donde se puede encontrar el tipo de puerta que se utilizará para acceder a la máquina, como los otros componentes que cerrarán distintas áreas de la máquina.

El capítulo trece detalla el sistema eléctrico, aquí se encuentra el modelo de la caja de distribución con la que contará la máquina, el calibre de los cables que se utilizarán. También se detallan más a fondo los controladores, sus conexiones, los voltajes que se utilizarán y la corriente demandada por cada uno de los componentes.

En el capítulo catorce se encuentran todos los análisis mecánicos realizados, tanto a la estructura, como a otros elementos, esto con el fin de garantizar que la máquina consta con una estructura firme, que pueda soportar todos los elementos y sea segura para su uso en el laboratorio. También se puede encontrar el ensamble final de la máquina, con todos sus elementos.

Al hablar de proyectos anteriores se buscaron distintos módulos comerciales, ya que lo que se deseaba como tal es replicar una línea de producción, que no va enfocada tanto a cuánto se va a producir sino que va más del lado didáctico. Una de las principales referencias fueron los módulos didácticos fabricados por FESTO, entre los cuales podemos encontrar distintas estaciones o módulos de distribución y clasificación [1]:

- **Estación de distribución**

Como puede verse en la Figura [1], este es un módulo encargado de distribución utilizando un PLC como controlador y distintos sensores, además de esto consta de una banda transportadora controlada por un microcontrolador. [1]

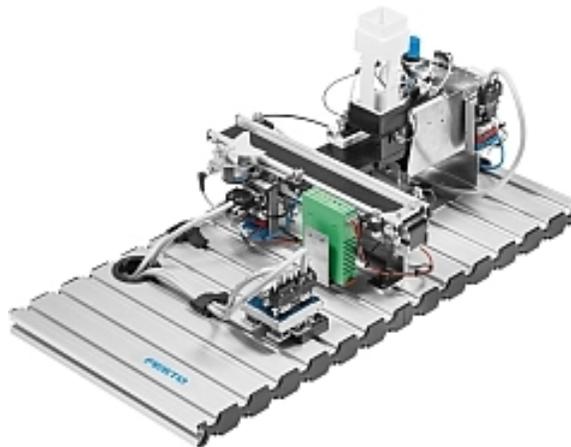


Figura 1: Estación de distribución MPS de FESTO

- **Estación de separación**

En la Figura [2], la estación de separación fabricada por FESTO cuenta con distintos actuadores y sensores, con el fin de controlar un proceso de distribución con base en

ciertas características de las piezas o productos, en este caso en particular se detecta la profundidad de un agujero, en caso de que no cumpla con los requisitos un actuador eléctrico desplaza la pieza a la segunda banda transportadora y para detectar la cantidad de productos rechazados o aprobados el módulo cuenta con sensores de barrera de luz unidireccionales y sensores ópticos. [1]

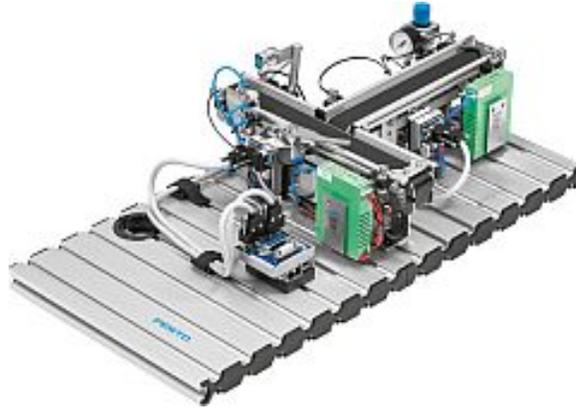


Figura 2: Estación de separación MPS D de FESTO

- **Estación de clasificación**

Este módulo en particular es una versión mucho más completa y compleja de la estación de separación, ya que como se observa en la Figura 3 cuenta con 3 bandas inclinadas en las cuales se clasifican los productos con base en distintos tipos de sensores, contando con actuadores eléctricos encargados de la clasificación y sensores de barrera para detectar la cantidad de productos para cada clasificación. [1]

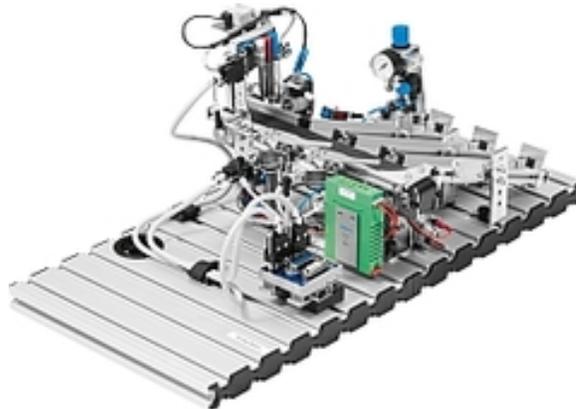


Figura 3: Estación de clasificación MPS D de FESTO

En los últimos años en Guatemala el sector industrial ha crecido rápidamente, provocando que las empresas busquen integrar diferentes procesos de producción, como equipos y maquinarias con el fin de aumentar la producción y productividad de dichas empresas, esto sin descuidar los estándares de calidad.

Además, tomando en cuenta construcción del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad del Valle de Guatemala (CIT), el departamento de Ingeniería Mecatrónica cuenta con un laboratorio de automatización industrial en el cual se tienen tableros industriales y PLCs Siemens S7-300, pero no cuenta con herramientas necesarias para satisfacer correctamente la demanda de preparación para el uso de maquinarias industriales.

Por tal motivo es indispensable diseñar módulos que ofrezcan tener la experiencia de manipular y controlar distintos procesos y componentes que comúnmente se puedan encontrar en el sector industrial del país, sin la necesidad de estar presente en una línea de producción real y aprovechar el espacio y equipo disponible en el laboratorio.

4.1. Objetivo general

Diseñar una máquina de clasificación de frascos por color 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 los componentes eléctricos, neumáticos y mecánicos para 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 la fabricación e instalación de la máquina.
- Realizar planos unifilares de la instalación de la máquina.
- Realizar un listado de componentes, materiales y fabricación necesarias para la implementación de la máquina.

CAPÍTULO 5

Alcance

Para el desarrollo de este proyecto, se realizó el diseño mecánico y eléctrico de la máquina de clasificación de frascos por color para el laboratorio de automatización industrial. Con esto se pretenden identificar los recursos tecnológicos y componentes necesarios para la creación e implementación de dicha máquina.

El desarrollo de este proyecto, pretende reflejar distintas características y ventajas para integrar esta máquina en el desarrollo profesional de los estudiantes, para lo cual, esta será diseñada para proveer experiencia y conocimientos de distintos entornos, como lo son el industrial y el académico.

6.1. Envolvertes y cuadros eléctricos

Equipos de control y protección e incluso instrumentos de medición, son conectados en tableros eléctricos, los cuales son instalados tomando en cuenta planos que contienen información como el diagrama unifilar, diagrama de control y diagrama de interconexión. Estos son primordiales para la interpretación de la instalación de todos los equipos. [2]

6.1.1. Clasificación de cuadros eléctricos

Para fines generales se tienen dos principales clasificaciones, que son los tableros de baja tensión y alta tensión. [2]

- **Tableros de baja tensión.** Como su nombre lo dice, estos están destinados a trabajar con una tensión no mayor a los 1000V en corriente alterna o no mayor de 1500 V si es con corriente continua. Los voltajes generalmente usados para corriente alterna son: 120, 240, 280 y 550 V. Los voltajes nominales para corriente continua son: 125, 250 y 550 V. [2]
- **Tableros de alta tensión.** Estos tableros trabajan con un voltaje mayor a 1000 V con corriente alterna y mayor a 1500 V con corriente continua. Los voltajes nominales usando corriente alterna son: 2400, 4160, 7200, 13800, 23000 y 34500 V. Los voltajes nominales usando corriente continua son: 600, 1200, 2000, 3000, 4000 y 5000 V. [2]

Los tableros eléctricos también se pueden clasificar mediante el material con el que están construidos, de esta manera existen dos tipos: [2]

- **Metálicos.** Están construidos de acero soldado, estos se presentan en forma de armarios para fijarlos en un muro o apoyarlos en el suelo. [2]

- **Aislantes.** Están contruidos por poliéster con fibra de vidrio, estos están destinados a lugares donde pueda existir algún riesgo de descargas, siendo utilizados principalmente en clínicas, hospitales y centros médicos. [2]

Los cuadros eléctricos también pueden clasificarse mediante su tipo de montaje, esto se refiere a formarlo mediante múltiples módulos llamados unidades funcionales. Dado esto se pueden clasificar como [2]:

- **Cuadros mono-modulares.** Estos se presentan como una única unidad funcional, sin la posibilidad de crecimiento, ya sea de forma interna o externa. [2]
- **Cuadros multi- modulares.** Estos están caracterizados por su capacidad de expansión con otros módulos o unidades funcionales, esta unión se realiza con un mecanizado simple. [2]
- **Cuadros enchufables.** Estos utilizan módulos extraíbles, por tal motivo pueden ser conectados o desconectados fácilmente del cuadro principal o placa base. Esto hace que se utilicen en distintos sectores o industrias donde se necesite el reemplazo inmediato de sus piezas para continuar funcionando. [2]

Se pueden clasificar según la aplicación que se les da a los tableros, siendo las dos principales: [2]

- **Cuadros de distribución.** Están encargados de resguardar componentes de protección y distribución de conexiones eléctricas, las cuales pueden ir desde usos en el hogar, hasta industrial, siendo utilizadas principalmente en tableros de distribución general, hasta tableros secundarios. [2]
- **Cuadros de máquina.** Estos tableros resguardan a componentes encargados del funcionamiento de las distintas máquinas. [2]

Componentes de cableado y conexión

El cableado se basa, generalmente, en los diagramas de conexión provistos, los cuales detallan todas las conexiones de cada terminal de los componentes de control. Teniendo los requerimientos individuales de control y energéticos, se determinan las trayectorias de distribución a través de componentes como: tubos conduit, charolas, o cables montados directamente. [2]

Ya teniendo la distribución del tablero se necesitan elementos que permitan la conexión con aparatos eléctricos ya sea que estén ubicados internamente o en el exterior, utilizando distintos componentes.

- **Regletero.** Esta es la parte del cuadro donde se localizan los bornes de conexión o las regletas, generalmente se fijan en perfiles normalizados. La conexión de los cables es lateral y se fijan desde la parte superior mediante tornillos que sujetan la conexión. [2]

- **Tiras de bornes.** Cuando hablamos de conductores de neutro, estos pueden tener bornes con múltiples salidas con el fin de conectar cables de las diferentes secciones. Los cuadros más pequeños suelen tener una fila de bornes propia de la caja, la cual está destinada a la conexión de la toma de tierra. Los cuadros más grandes permiten acoplar los bornes en un perfil normalizado o en soportes enfocados para esta utilización. [2]
- **Marcado de bornes.** Cada una de las conexiones, ya sea en la regleta o bornera necesita estar identificada en el plano correspondiente, con el fin de facilitar el montaje o el mantenimiento, según sea el caso. [2]

Esta identificación se realiza mediante etiquetas de plástico o con rotuladores de tinta inalterable. Todas las regletas se deben identificar de la siguiente manera X_n , en donde X representa un borne y n el número que está registrado en el plano y ocupa en el Cuadro. [2]

Marcado de cables. Tanto el marcado de bornes, como el marcado de los cables es de suma importancia, ya que esto permite identificar cada uno de los conductores en el plano, la señalización puede hacerse de forma alfabética, alfanumérica o numérica, usando materiales como: [2]

- **Etiquetas de plástico.** Estas etiquetas se colocan en los extremos o puntas de los conductores, las que son de tipo anillo se colocan antes de conectar el cable y la si la etiqueta es de tipo brazaletes, entonces se puede conectar ni bien se haya conectado el conductor. [2]
- **Bridas de identificación.** Estas cuentan con una zona para el marcado manual con un rotulador de tinta inalterable. Son usadas en el marcado de un conjunto de cables o mangueras. [2]

Terminación de cables. Los conductores que estén conectados ya sea en el cuadro eléctrico o la maquinaria deben tener una terminal que evite desconexiones y/o falsos contactos. Por tal motivo existen distintos tipos de terminales [2]:

- a) **Casquillos o punteras.** Estas son piezas en formas cilíndricas, que en cuyo interior se inserta uno de los extremos del cable o conductor. Para fijar el conductor se presiona con tenazas especiales, que garantizan la sujeción del cable al casquillo. [2]
- b) **Terminales.** Al igual que los casquillos, las terminales nor garantizan una correcta conexión de los cables o conductores, a los bornes tanto del tablero, como conexiones en una máquina determinada. Los sección pequeña utilizan cubiertas de colores para su identificación. Podemos clasificar las terminales según su forma [2]:
 - **De ojal.** Se caracteriza por ser de tipo cerrado, se introduce un tornillo de fijación por el orificio del ojal, el cual es para fijar la terminal. Se aconseja utilizarlo para conductores de grandes secciones (hasta $300mm^2$). [2]
 - **De horquilla.** Esta clase es de tipo abierto, ya que la conexión está en forma de U , esta forma garantiza que no se necesite extraer completamente el tornillo de fijación para desconectar o conectar la terminal. [2]

- **De pin filado.** Se caracteriza por ser muy parecido a los casquillos o punteras, pero con la diferencia que el conductor no se encuentra presionado por el adaptador o base de la terminal. [2]
- **De lámina.** Presenta una superficie de conexión plana, esto garantiza que esté especialmente diseñada para su conexión con hembras de tipo Faston. [2]
- **Manguitos de empalme.** Se utilizan para realizar conexiones fiables entre los extremos de los cables, principalmente en espacios reducidos los cuales no permitan la incorporación de regletas de conexión, bornes u otros. La utilización de estos se considera y aconseja que sea en operaciones provisionales, ya que deben de ser reemplazados por cables sin empalmes lo más pronto posible. [2]

Sistema de conexión rápida. Estos elementos permiten fijar varios cables o conductores sin la necesidad de herramientas, usando simplemente presión. Haciendo que de esta manera se reduzca considerablemente el tiempo de montaje y mantenimiento. Por esta razón se cuenta con distintos tipos de conexiones, siendo estas [2]:

- **Peines.** Estas son piezas longitudinales, las cuales se utilizan para la conexión de varios elementos de protección. Están compuestos por piezas de cobre, que puentean elementos comunes entre un grupo de equipo, por ejemplo podemos tener fases de entrada. Una de las ventajas importantes de los peines es que permiten desconectar un aparato, sin la necesidad de cortar la alimentación al resto del sector. [2]
- **Bornes de reparto de inserción directa.** Este tipo de conector permite realizar la conexión sin la necesidad de tornillos, cada orificio tiene la capacidad de admitir solamente un conductor, ya sea tipo flexible o rígido sin puntera. Su aspecto se asemeja a los bornes de los regleteros y son ubicados sobre un perfil normalizado. [2]

Fijación de cableado. Además de la identificación de cada conductor y conexión dentro de los cuadros o tableros, la organización de los conductores es esencial para el correcto funcionamiento y posterior mantenimiento del sistema. Para evitar situaciones de peligro para operarios y daños por calentamiento y falsos contactos, se evitará siempre que sea posible mangueras o mazos de cables con conductores de potencia. A continuación se presentan los elementos más usados para la fijación del cableado. [2]

- **Canaletas.** Se utilizan para fijar cables eléctricos que no superen $10mm^2$ en su sección. La distribución de los conductores hacia las diferentes secciones (aparatos y regletas) se realiza por las ranuras ubicadas en sus laterales. La ventaja de usar canaletas es que la ampliación o modificación del cableado es sencillo, ya que al quitar la tapa se tiene acceso completo al interior de esta. [2]
- **Brazaletes.** Estos elementos se utilizan para realizar cableados al aire, utilizando mangueras de conductores que tienen una gran sección, los cuales necesiten disipar el calor. Son enganchados en perfiles normalizados, dejando pasar los cables en su interior, además se recomienda utilizar brazaletes cada 10 o 15cm para evitar curvar excesivamente los cables por el peso de estos. [2]

- **Bridas.** Son correas de nailon, estriadas en una de las caras, además en un extremo poseen una cabeza con la capacidad de funcionar como trinquete. El extremo libre pasa dentro de la cabeza, realizando de esta forma un cierre permanente. Se utiliza principalmente con el fin de sujetar los cables al cuadro. [2]
- **Espirales.** Son cintas plásticas en forma tubular, permitiendo la formación de mangueras en forma de espiral, son utilizados en cuadros o tableros con el fin de dar libertad de movimiento a las puertas de estos. [2]

6.1.2. Consideraciones técnicas para evitar las perturbaciones electromagnéticas

Los circuitos de con funcionamiento electrónico como PLCs, temporizadores, contadores, etc., pueden afectar otros componentes o conexiones mediante perturbaciones electromagnéticas. La perturbación electromagnética es una deformación de la señal enviada de un emisor (sensores, final de carrera, etc.) hacia un componente de lógica programada (PLC) o viceversa. Esta señal puede ser recibida con un valor diferente al que el emisor lo envió, provocando de esta manera una acción no acorde al estado del sistema. [2]

Entre las principales causas de perturbaciones encontramos: motores eléctricos alumbrado fluorescente, variadores de frecuencia, rectificadores, etc., por esta razón se diseñan los tableros de tal manera que eviten estos inconvenientes, tomando distintas medidas de precaución en la instalación. [2]

- **Puesta a tierra.** Todas las partes metálicas en la instalación y del tablero deben de estar interconectadas, con el fin de generar una puesta a tierra de referencia, se debe prestar atención de que el contacto sea *metal – metal*, limpiando las superficies adecuadamente si llega a ser necesario. [2]
- **Entrada de cables en el armario/gabinete.** La entrada de cables para el tablero se realiza mediante bandejas metálicas, tubos o conduits, para cada uno de estos casos se separan los cables de potencia de los cables de control. [2]

Los componentes que unen las conexiones en el tablero deberán de tener un blindaje a tierra. Se tiene que evitar la iluminación con lámparas fluorescentes o de descarga, Los componentes de control deben de estar separados de los componentes de potencia mediante una placa de metal, en el caso de que el tablero sea muy grande lo aconsejado es separar el control de la potencia en secciones distintas. [2]

6.2. PLCs

6.2.1. Conceptos generales

Un PLC o autómatas programables es un componente electrónico de control, que está cableado internamente independiente del proceso por controlar, se adapta a dichos procesos

utilizando mediante software un programa determinado, que contiene las operaciones necesarias para realizarlo. Este proceso toma en cuenta las entradas y salidas físicas del PLC, que están determinadas por los bornes de este. [3] [4]

Las entradas están relacionadas con componentes digitales (como finales de carrera, botones, etc.) o componentes analógicos (como sensores de temperatura, etc.). Las salidas están relacionadas con comandos digitales, las cuales trabajan con unos lógicos y 0 lógicos, además también tenemos salidas analógicas, que están relacionadas con salidas analógicas de voltaje o corriente. [3]

Estas entradas y salidas son controladas directamente con el programa de control en el PLC. Dicho PLC se configura con la unidad central de proceso, la cual está conectada conectada por medio de buses internos a componentes de entrada y salida y a las memorias, esto es lo que se denomina como arquitectura interna del PLC o autómata. [3]

6.2.2. Bloques esenciales de un PLC

Un PLC está compuesto de varios bloques o elementos, que se describen a continuación:

Unidad central de proceso (CPU)

Se encarga de ver el estado de las entradas y obtener la secuencia de instrucciones de la memoria, con el fin de establecer las señales de salida correspondientes a la secuencia de ejecución. También es responsable de establecer continuamente temporizadores y contadores establecidos en la programación. [3] [4]

La CPU, que significa Central Processing Unit o su equivalente en español Unidad Central de Proceso, se encarga de ejecutar el programa realizado por el usuario mediante software y además de coordinar la transferencia de información del sistema de entradas y salidas. También se encarga de establecer conexiones con periféricos externos como sensores, actuadores, monitores o incluso otros PLCs. [3]

Con el fin de ejecutar la secuencia de programación determinada por el usuario, el PLC adquiere progresivamente todas las instrucciones desde la memoria, para posteriormente realizar las operaciones correspondientes. La decodificación de las instrucciones puede realizarse mediante un sistema lógico con microprocesador más una memoria. [3]

Entre la estructura del CPU podemos encontrar distintos bloques ó módulos fundamentales, los cuales son:

- **ALU.** Arithmetic Logic Unit, se encarga de realizar las operaciones aritméticas y operaciones lógicas como sumas, comparaciones, etc. [3]
- **Acumulador.** Se encarga de almacenar el resultado de la operación más reciente realizada por la ALU. [3]
- **Flags.** Son indicadores del resultado de una operación, éstos pueden ser: mayor que, menor que, negativo, positivo, etc. [3]

- **Contador del programa.** Se encarga de la lectura de instrucciones definidas por el usuario, además de encargarse de la secuencia de ejecución de estas mismas. [3]
- **Decodificador de instrucciones.** Se encarga de decodificar las instrucciones leídas en la memoria, para generar las señales de control. [3]
- **Programa ROM.** Aquí se almacenan distintas secuencias, como la puesta en marcha, de test y de error al ejecutar. [3]

Memoria

La memoria del PLC guarda todos los datos e instrucciones necesarios para ejecutar óptimamente el objetivo de control entre estos datos tenemos: [3] [5]

- **Datos de proceso.** [3] [5]
 - Señales de planta, como entradas y salidas.
 - Variables internas, como bits, palabras, etc.
 - Datos alfanuméricos y constantes.
- **Datos de control.** [3] [5]
 - Instrucciones del usuario.
 - Configuración del PLC.

La memoria de semiconductor es un dispositivo que puede almacenar datos binarios, que pueden ser leídos de bit por bit, también por bytes (8 bits) o incluso en forma de words (16 bits). Lo ideal al trabajar con memorias es que debería de ser rápida, pequeña, de bajo consumo energético y de bajo precio. Ya que no existe una memoria que cumple con todas las características, se utilizan distintos tipos de memorias para obtener el mejor resultado, entre estas tenemos: [3] [5]

- **Memorias RAM.** Estas memorias son de lectura y escritura, pueden ser modificadas las veces que necesitemos, utilizando buses internos definidos. El problema con estas memorias es la poca capacidad de almacenamiento y principalmente su forma volátil, lo cual provoca la pérdida de información cada vez que tiene pérdidas de voltaje en su alimentación. Por esta razón es que la memoria RAM se utiliza principalmente para datos internos, si se garantiza la alimentación constante con una batería externa puede llegar a utilizarse como memoria de programa, pero no es recomendable. [3] [5]
- **Memorias ROM.** Estas memorias son únicamente de lectura y que que no son re-programables, no pueden ser modificadas de ninguna forma. Por estas características se utilizan para almacenar las rutinas incluidas por el fabricante, que son [3] [5]:
 - Inicialización después de alimentación de voltaje o reset.
 - Rutinas de test y respuestas ante errores de funcionamiento.

- Intercambio de información con dispositivos exteriores.
 - Lectura y escritura en interfaces de entrada y salida.
- **Memorias EPROM.** Estas memorias se caracterizan por ser reprogramables, son memorias únicamente de lectura. Para poder ser reprogramadas, la información es borrada mediante la exposición de luz ultravioleta, la cual entra al chip mediante una ventana de cuarzo en una de las caras posteriores de esta. Se utilizan para almacenar el programa del usuario, ni bien haya sido convenientemente depurado. [3] [5]
 - **Memorias EEPROM.** Estas memorias son reprogramables y únicamente de lectura. Para poder ser reprogramadas se deben de usar medios eléctricos, lo que se traduce a que no necesitan ser extraídas del circuito para poder reprogramarse. Las memorias EEPROM combinan la no volatilidad de las memorias ROM y EPROM, con la reprogramación que se puede hacer con las memorias RAM, la cuál se puede modificar directamente desde el circuito. Las memorias EEPROM generalmente son utilizadas para almacenar los programas, aunque cada vez se utiliza una combinación entre la memoria RAM y EEPROM, dejando estas últimas como respaldo para los datos que contiene la memoria RAM. [3] [5]

Además podemos contar con otra clasificación de memorias de trabajo en el PLC, las cuales son las siguientes:

- **Memorias internas.** Se encarga de guardar datos intermedios de cálculo y variables que no aparecen directamente enlazadas a una salida, también almacena la imagen de los últimos estados leídos de las señales de entrada o últimos datos enviados en los puertos de salida. La memoria interna puede clasificarse dependiendo el tipo de variable que almacena [3] [5]:
 - Posiciones de 1 bit. Aquí encontramos datos como memoria imagen de entradas y salidas, relés internos y relés auxiliares o relés especiales. [3] [5] v
 - Posiciones de 8 bits, 16 bits o más. Se refiere a datos como temporizadores, contadores y otros registros de uso general. [3] [5]

Los datos que se almacenan en la memoria interna pueden ser revisados continuamente, si hablamos del espacio de la memoria imagen de entradas y salidas, como su nombre lo dice aquí se encuentran los datos de las últimas señales leídas en la entrada y datos o señales enviadas a la salida. [3] [5]

Al ejecutar el programa, el CPU ordena el intercambio de valores en entradas y salidas, junto con la memoria de imagen, esto se refiere que los estados que el programa considera para entrada y salida no son los que presenta la planta en tiempo real (actuales), sino los datos que están presentes en la memoria imagen del ciclo anterior. [3] [5]

De esta misma manera pasa con los resultados de las operaciones del programa, ya que no van directamente a las salidas, sino que se dirigen a la memoria imagen para posteriormente trasladar esos datos a las salidas. [3] [5]

El resto de la memoria interna se utiliza como memoria de datos, relés internos y otros registros internos, como lo pueden ser temporizadores y contadores. [3] [5]

- **Memoria de programa.** Esta memoria generalmente es externa al CPU, se encarga de resguardar el programa escrito por el usuario para la ejecución, también puede almacenar datos alfanuméricos, textos variables e información parametrizada sobre el sistema. [3] [5]

Interfaces de entrada y salida

Se encargan de la comunicación del PLC con la planta o el estado de esta, para esto se conecta con las señales de la planta con los bornes, también se puede realizar esto con el bus interno del PLC. [3] [5]

Ya que se tiene una gran cantidad de diferentes representaciones de señales de proceso, también existe un a gran grupo de tipos de interfaces de entrada y salida, dichas interfaces pueden clasificarse de distinta manera, según se muestra a continuación [3] [5]:

- Por el tipo de señal.
 - Digitales de 1 bit.
 - Digitales de varios bits.
 - Analógicas.
- Por la tensión de alimentación.
 - De corriente continua (24/110 V_{CC}).
 - De corriente continua a colector abierto (PNP o NPN).
 - De corriente alterna (60,110,220 V_{AC}).
 - Salidas por relé.
- Por el aislamiento.
 - Con separación galvánica (opto-acopladores).
 - Con acoplamiento directo.
- Por la forma en la comunicación con la unidad central.
 - Comunicación en serie.
 - Comunicación en paralelo.
- Por la ubicación.
 - Locales
 - Remotos

Al considerar PLCs de una gama más pequeña, las cantidad de interfaces que están disponibles es mucha más limitada, siendo estas [3] [5]:

- Entradas:
 - De corriente continua a 24 o 48 V_{CC} .
 - De corriente alterna a 110 o 220 V_{AC} .
 - Analógicas de 0-10 V y 4-20 mA.

- Salidas:
 - Por relé.
 - Estáticas por triac a 220 V_{AC} como máximo.
 - Colector abierto con 24 o 48 V_{CC} .
 - Analógicas de 0-10 V y 4-20 mA.

Fuente de alimentación

Se encarga de proporcionar el voltaje que requiere cada componente para el correcto funcionamiento de los distintos circuitos eléctricos del sistema, esto lo realiza a partir de una alimentación externa. En ciertas ocasiones se puede disponer de una batería conectada a esta fuente de alimentación, con el fin de mantener la información del estado del sistema almacenadas en las memorias de este. [3](#) [5](#)

Por estas razones es muy común que se tengan distintas fuentes, para obtener la alimentación adecuada, con mayor importancia en estos componentes [3](#) [5](#):

- Unidad Central de Proceso (CPU).
- Alimentación de Entradas.
- Alimentación de Salidas.

La alimentación del CPU puede ser con un voltaje de $24V_{CC}$ o también con voltaje alterno 110 o 220 V_{AC} . Para alimentar las entradas y salidas podemos hacerlo de dos maneras, con corriente alterna a 48,110,220 V_{AC} o continua a 12,24,48 V_{CC} . [3](#) [5](#)

6.3. Funcionamiento del PLC

Los PLCs son dispositivos o máquinas secuenciales que ejecutan las instrucciones indicadas por el programa del operador o usuario el cual se almacena en la memoria, generando órdenes de mando con base en señales obtenidas de la planta, al detectar cambios en las entradas, el PLC reacciona dependiendo el programa en la memoria hasta obtener las instrucciones de salida necesarias. La secuencia de operación se puede clasificar en tres fases, las cuales son [3](#) [5](#):

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.

- Escritura de las señales en la interfaz de salidas.
- Procesado del programa para obtener las señales de control.

6.3.1. Modos de operación

Al estar alimentado, el PLC puede estar en dos estados de funcionamiento [3](#) [5](#):

- **RUN.** El PLC ejecuta normalmente el programa hecho por el usuario, las salidas pueden actualizarse a ON/OFF según se ordene en el programa hacerlo, los temporizadores y contadores operan normalmente. [3](#) [5](#)
- **STOP.** En este estado se detiene la ejecución del programa, todas las salidas pasan al estado de OFF, los temporizadores y contadores mantienen su estado. [3](#) [5](#)
- **ERROR.** El PLC detiene la ejecución del programa por un error de funcionamiento y queda bloqueado hasta que se corrige el error que lo causa. [3](#) [5](#)

6.3.2. Ejecución del programa en línea

Se ejecutan en línea las instrucciones de control, las cuales están almacenadas en la memoria de programa. Cuando se ejecutan todas las líneas de instrucción, estas se ejecutan nuevamente desde el inicio. Esto es lo que comúnmente se llama ciclo de operación, el tiempo que un PLC necesita para ejecutar completamente las instrucciones una vez se denomina tiempo de ciclo. [3](#) [5](#)

6.3.3. Estructura de ejecución del programa

Un programa mucho más complejo se subdivide y se reorganiza en pequeños bloques de programa. La ventaja de esto es que los subprogramas se pueden testear y unir por medio de funciones. [3](#) [5](#)

Hay que tomar en cuenta que, previo a ejecutar el programa del usuario, debe de haber ocurrido la secuencia de inicialización y de no aparecer errores el PLC entra en el ciclo de operación, que está compuesto por operaciones que se ejecutan cíclicamente, para ejemplificar esta situación tenemos distintos bloques principales [3](#) [5](#):

- Proceso inicial.
- Proceso común.
- Ejecución del programa del usuario y entrada de datos.
- Servicio a periféricos.

6.4. Interfaces de entrada y salida

Las entradas pueden ir desde un switch o final de carrera, hasta señales más complejas de medición de una magnitud física, como lo pueden ser: temperatura, presión, desplazamiento y demás medidas. Al hablar de las señales de salida, estas pueden ir desde salidas simples como encendido y apagado si estamos hablando de relés y otros actuadores electromecánicos, también existen señales de salida analógicas o digitales, las cuales son más complejas y se pueden utilizar para visualizar el estado de los sensores. [3][5]

6.4.1. Entradas y salidas digitales

Las entradas y salidas digitales están relacionadas con procesos binarios (Encendido o Apagado, 1 o 0, Verdadero o Falso), o incluso grupos de señales binarias, almacenándolas en bytes. [3][5]

Este tipo de señal se relaciona con componentes de entrada como contactos electromecánicos (interruptores, finales de carrera, etc.) y en las salidas generalmente con bobinas. Una característica importante es que suelen ser alimentadas con voltajes de corriente alterna (24 y 220 V_{AC}) o con corriente continua (24 a 120 V_{CC}). [3][5]

6.4.2. Entradas lógicas

En las entradas de señales binarias, se pueden distinguir los siguientes tipos [3][5]:

- *Dependiendo del voltaje de alimentación* [3][5]:
 - De corriente continua, los valores más comunes son 12, 24, 48 y 110 V_{CC} .
 - De corriente alterna, los valores más comunes son 12, 24, 48 y 110 V_{AC} .
- *En el caso de CC, dependiendo de la polaridad de la fuente de alimentación* [3][5]:
 - PNP: Común de alimentación a negativo.
 - NPN: Común de alimentación a positivo.
- *Dependiendo del aislamiento* [3][5]:
 - Aislamiento galvánico: Las alimentaciones están totalmente separadas de las entradas/salidas y la lógica interna.
 - Acoplamiento directo: No cuentan con aislamiento galvánico, por tal razón se necesita unir el común de la alimentación de entradas/salidas con el cero de la lógica interna.

6.4.3. Salidas lógicas

Las salidas lógicas están relacionadas con accionamientos de componentes como electroválvulas, relés, entre otros. Según las distintas características se pueden clasificar en diferentes grupos [3] [5]:

- Dependiendo del componente utilizado como salida [3] [5]:
 - *Interfaces de salida estática*: Se caracterizan por utilizar un semiconductor para activar la salida, dependiendo del voltaje de salida podemos tener dos grupos:
 - De corriente continua. Según la polaridad pueden ser NPN o PNP.
 - De corriente alterna. El componente generalmente puede ser un triac.
 - *Interfaces de salida por relé*: Esta tipo de salida se caracteriza por ser indiferente a trabajar con corriente continua o alterna.

6.4.4. Entradas y salidas analógicas

Al hablar de módulos de entradas y salidas analógicas, el PLC procesa los valores analógicos en forma binaria. Para las señales analógicas de entrada son convertidas a una señal digital. Los módulos de salidas analógicas alimentan las cargas y actuadores con voltaje e intensidad esto se realiza al convertir las señales digitales en una señal analógica. [3] [5]

La resolución de los valores que se pueden obtener están en función del módulo analógico y su parametrización. Ya que el CPU estará trabajando con señales digitales tenemos dos conversiones principales de las señales, las cuales son [3] [5]:

- **Conversión D/A**. La conversión D/A se trata de transformar datos digitales, como un byte o una variable expresada en forma de bits, en un voltaje o una corriente equivalente al valor numérico de dicho dato. [3] [5]
- **Conversión A/D**. En la conversión analógica a digital, la idea es lograr convertir la señal analógica (voltaje o corriente) en código binario, para lograr esto se debe de aprovechar al máximo la resolución del convertidor y mantener constante la señal analógica, mientras se realiza la transformación o conversión. [3] [5]

6.4.5. Entradas y salidas especiales

Las entradas y salidas especiales están hechas para permitir elementos que solo reciben (actuadores) o generan (sensores) señales específicas, ya sea por su forma o por la aplicación que puedan tener. Las interfaces de estas entradas y salidas están disponibles en módulos de expansión para PLCs modulares, aunque actualmente también pueden considerarse para PLCs compactos. Entre la clasificación de entradas y salidas especiales podemos encontrar [3] [5]:

- Entradas y salidas multiplexadas.

- Detectores de umbral analógico.
- Medidas de temperatura.
- Contadores rápidos.
- Adaptadores de señal.
- Convertidores binarios (BCD).
- Interfaces con señales ACII.

6.5. Instrumentos de medición

En la gran mayoría de procesos industriales es necesario un sistema de control para fabricar distintos productos. Los procesos son muy variados e incluyen muchos productos como fabricación de productos derivados del petróleo, productos alimenticios, distintos productos en la industria textil, industria automovilística, productos de higiene y limpieza, etc. [6]

Para cada uno de los productos o industrias mencionadas, es sumamente importante controlar distintas magnitudes, como el peso, presión, temperatura, conductividad, humedad, tamaño, color, etc. Por tal razón los instrumentos de medición son una herramienta indispensable que nos permite el control de dichas magnitudes o constantes, para posteriormente poder ser reguladas por algún actuador. [6]

La evolución de los instrumentos ha permitido que se fabriquen productos mucho más complejos y con mayor calidad, que en otras condiciones o con otros instrumentos no podrían realizarse. Los procesos industriales pueden clasificarse en dos categorías. [6]:

- Procesos continuos.
- Procesos discontinuos.

En ambos procesos lo que se desea hacer es ya sea mantener la variable de medición en un valor fijo o un valor variante en el tiempo con cierta periodicidad o amplitud deseada. Aquí es donde es necesario un sistema de control, dicho sistema de control necesita un instrumento de medición (donde se considera la unidad de medida) y un efector o actuador, el conjunto de estos elementos es lo que se llama un lazo o bucle, que comúnmente se denomina como lazo de control, El cual puede tener dos categorías. [6]:

- **Lazo abierto.** En este caso el operador ajusta el actuador manualmente, con el fin de obtener el resultado que necesita, esto requiere de varias iteraciones para obtener el resultado ideal. [6]
- **Lazo cerrado.** Para este caso una vez ajustado el instrumento de medición, el propio sistema de control se encargará de ajustar el actuador, para mantener la salida como el operario la definió. [6]

6.5.1. Instrumentos de medición y control

- **Campo de medida.** Es el espectro de la variable medida que se encuentra dentro de los límites (superior e inferior) de la capacidad de recepción o transmisión del instrumento.. [6]
- **Alcance.** Se refiere a la diferencia algebraica entre los valores de los límites (superiores e inferiores) del campo de medida del instrumento.. [6]
- **Error.** El error se refiere a la desviación que presentan las medidas proporcionada por el instrumento, en relación con el valor teórico, eso puede darse por las imperfecciones o datos parásitos en el mismo. Hay distintos tipos de errores que se calculan de la siguiente manera. [6]:

$$Error = Valor\ leído\ por\ el\ instrumento - Valor\ ideal\ de\ la\ variable \quad (1)$$

$$Error\ absoluto = Valor\ leído - Valor\ verdadero \quad (2)$$

$$Error\ relativo = \frac{error\ absoluto}{error\ verdadero} \quad (3)$$

- **Incertidumbre.** La incertidumbre es la dispersión de los datos que pueden ser dados por el instrumento de medición, esto se puede dar por distintos factores. [6]:
 - Influencia de la condición del ambiente.
 - Variación en las observaciones de los datos en condiciones aparentemente idénticas.
 - Lecturas diferentes de instrumentos analógicos realizadas por operadores.

Ya que es un factor de mucha importancia, existen distintas normas para calcular la incertidumbre de los instrumentos. [6]:

- ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- G-ENAC-09 Rev 1 Julio 2005: Guía para la expresión de la incertidumbre en los ensayos narrativos.
- C-ENAC-LC/02 Expresión de la Incertidumbre de Medida en las Calibraciones.
- EAL-R2 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1995.
- GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement), conocida también como ISO/TC 213 N 659.

Para calcular la incertidumbre se utilizan un el término mensurado, que se refiere a la magnitud particular objeto de la medición, puede ser medido de forma directa o indirecta. [6].

Existen dos tipos incertidumbres presentes en la medición, que son A y B . La incertidumbre A está relacionada con fuentes de error aleatorias (se pueden evaluar mediante

distribuciones estadísticas), en cambio las incertidumbres B están relacionadas con los errores sistemáticos y corresponden a la incertidumbre del calibrador, resolución del instrumento e influencia de otros elementos en el ambiente, como temperatura, humedad, etc. Ya teniendo los valores de la incertidumbre A y B , se procede a calcular la incertidumbre combinada. [6]:

$$u_c = \sqrt{(u_{\text{tipo } A})^2 + (u_{\text{tipo } B})^2} \quad (4)$$

Posterior a esto se calcula la incertidumbre extendida:

$$u_{\text{Expandida}} = K \times u_c \quad (5)$$

Donde K es el factor de cobertura o seguridad, que está relacionado con el nivel de confianza de la incertidumbre, encontrado con la Tabla [1, 6]

N°de observaciones	Grados de libertad (n-1)	Nivel de confianza					
		99 %	98 %	95.45 %	90 %	80 %	68 %
2	1	63.66	31.82	13.97	6.31	3.08	1.82
3	2	9.92	6.96	4.53	2.92	1.89	1.31
4	3	5.84	4.54	3.31	2.35	1.64	1.19
5	4	4.6	3.75	2.87	2.13	1.53	1.13
6	5	4.03	3.36	2.65	2.02	1.48	1.1
7	6	3.71	3.14	2.52	1.94	1.44	1.08
8	7	3.5	3	2.43	1.89	1.41	1.07
9	8	3.36	2.9	2.37	1.86	1.4	1.06
10	9	3.25	2.82	2.32	1.83	1.38	1.05
11	10	3.17	2.76	2.28	1.81	1.37	1.05
12	11	3.11	2.72	2.25	1.8	1.36	1.04
13	12	3.05	2.68	2.23	1.78	1.36	1.04
14	13	3.01	2.65	2.21	1.77	1.35	1.03
15	14	2.98	2.62	2.2	1.76	1.35	1.03
16	15	2.95	2.6	2.18	1.75	1.34	1.03
17	16	2.92	2.58	2.17	1.75	1.34	1.03
18	17	2.9	2.57	2.16	1.74	1.33	1.02
19	18	2.88	2.55	2.15	1.73	1.33	1.02
20	19	2.86	2.54	2.14	1.73	1.33	1.02

Tabla 1: Valores T para distintos niveles de confianza y grados de libertad

- **Incetidumbre A.** Esta se evalúa por un análisis estadístico, de observaciones que son independientes de la magnitud de la entrada. En una serie de medidas repetitivas el valor estimado está dado por la media aritmética o promedio de la variable [6]:

$$x = \frac{1}{n}x = \frac{1}{n} \sum (x_i) \text{ con } x_i (i = 1, 2, 3...n) \quad (6)$$

La mejor estimación de la varianza de la media aritmética, es la varianza experimental de la media aritmética entre n [6]:

$$s^2(x) = \frac{1}{n-1} S(x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

La raíz cuadrada positiva es la desviación típica experimental y equivale a la incertidumbre típica. [6]

$$U(\bar{x}) = s(\bar{x}) \quad (8)$$

- **Incertidumbre B.** Se determina mediante la información disponible de varias fuentes, como [6]:

- Datos de medidas anteriores.
- Conocimiento de los instrumentos.
- Especificaciones dadas por el fabricante.
- Incertidumbres de manuales técnicos.

Se asumen distribuciones: rectangular, triangular y normal según el criterio personal. La expresión de la distribución rectangular con un factor de cobertura de 1.65 para tener un nivel de confianza de 95

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{a^2 (\text{diferencia entre valores máximos y mínimos, etc.})}{12}} \quad (9)$$

En caso que se tengan los valores máximos y mínimos (a_1 y a_2), tenemos lo siguiente:

$$u_B^2(x_i) = \frac{(a_1 - a_2)^2}{12} \quad (10)$$

La distribución triangular, es propia de los instrumentos analógicos y se comporta de la siguiente manera [6]:

$$u(x_i) = \sqrt{\frac{a^2 (\text{diferencia entre valores máximos y mínimos, etc.})}{24}} \quad (11)$$

En el caso e la distribución normal tenemos:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

- **Exactitud.** La exactitud es la cualidad que posee el instrumento de medida por la que este tiende a dar lecturas cercanas al valor verdadero de la magnitud medida. Esta es la que define los límites de los errores cometidos, la exactitud está dada en términos de inexactitud, esto se refiere a que un instrumento puede fallar la medición por muy poco, siendo esa variación la que representa la exactitud del instrumento. La exactitud se puede expresar de varias formas [6]:

- Porcentaje del alcance. Ejemplo: un instrumento de temperatura puede desplegar un valor de 150°C con una exactitud de $\pm 1\%$
- Con un valor en unidades de medida, como ejemplo una exactitud de $\pm 1^\circ\text{C}$
- Porcentaje de la lectura efectuada. Ejemplo: una exactitud de $150^\circ\text{C} \pm 1\%$, que equivale a $\pm 1.5^\circ\text{C}$

- Porcentaje del valor máximo del campo de medida. Ejemplo: una exactitud de $\pm 1.5\%$ de $300^{\circ}C$ equivale a $\pm 1.5^{\circ}C$
 - Porcentaje de la longitud de escala. Ejemplo: Si tenemos un instrumento con una longitud de escala de $150mm$, con exactitud de $\pm 0.5\%$, esta representará $\pm 0.75mm$ en la medición.
- **Precisión.** La precisión es la característica de los instrumentos por la que se tiende a dar lecturas próximas unas de otras, esto se refiere al grado de dispersión que pueda tener el instrumento, ya que este puede tener una gran precisión, pero muy poca exactitud. [6]
 - **Zona muerta.** En los instrumentos es el campo de vectores de la variable que no hace cambiar la señal de salida del instrumento. [6]
 - **Sensibilidad.** Es la razón entre el incremento de la salida y el incremento de la variable que lo provoca, luego de alcanzar el reposo. [6]
 - **Repetibilidad.** Es la capacidad de poder reproducir la señal de salida del instrumento, al medir valores idénticos repetidamente, en las mismas condiciones. Esta se puede considerar un sinónimo de precisión, ya que entre mayor sea la repetibilidad, menor será la dispersión de los datos de medición. [6]
 - **Histéresis.** Se refiere a la diferencia máxima observable en los valores de salida del instrumento, para el mismo valor del campo de medida, esto al recorrer la escala de forma ascendente y descendente. [6]

6.5.2. Clasificación de los instrumentos

Los instrumentos de medición pueden ser clasificados de distinta forma, esto puede llevar a que cada clasificación tenga ventajas o desventajas, para este caso se considerarán dos clasificaciones principales: según la función del instrumento y la variable del proceso. [6]

- **En función del instrumento**
 - *Instrumentos ciegos.* Se caracterizan por no tener una indicación visible de la variable a medir, aquí se pueden incluir instrumentos de alarma, que poseen una escala exterior, con el fin de ajustar el punto de disparo de estos. [6]
 - *Instrumentos indicadores.* Estos disponen de un índice o escala graduada, en el cual puede verse el valor actual de la variable que se está midiendo. También pueden incluirse indicadores digitales, los cuales despliegan el valor de forma numérica. [6]
 - *Instrumentos registradores.* Estos se encargan de registrar a puntos o en un trazo continuo la variable que se está midiendo. Pueden ser circulares, con una gráfica rectangular o alargada, también pueden conectarse mediante una red LAN, con el fin de tener el acceso a la información de este. [6]

- *Transmisores.* Captan la variable a medir y la transmiten a distancia, usando una señal neumática (3 a 15psi) o una señal electrónica (4 a 20mA). Siendo la señal electrónica la más utilizada, ya que se puede utilizar para protocolos de comunicación. [6]
- *Transductores.* Reciben una señal de entrada y luego la convierten (en algunos casos no) a una señal de salida. Aquí podemos encontrar relés, convertidores *PP/I* (presión de proceso a intensidad), entre otros. [6]

■ **En función de la variable de proceso.**

Aquí se pueden encontrar distintos instrumentos dependiendo de la variable que se desea, como: caudal, presión, temperatura, humedad, velocidad, posición, fuerza, nivel, etc. Para poder designar un instrumento se utilizan clasificaciones expuestas anteriormente, siendo así que se pueden tener, transmisores ciegos de presión, receptores indicadores de nivel, etc. Podemos considerar los instrumentos de campo y de panel, siendo que los instrumentos de campo corresponden a los instrumentos que están localizados en el proceso o un lugar cercano, mientras que los instrumentos de panel están ubicados como su nombre lo dice en paneles situados en zonas aisladas. [6]

6.5.3. Códigos de identificación para los instrumentos

Para poder identificar los instrumentos de medición se emplean distintas normas que varían de industria a industria. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las organizaciones, indica la importancia y necesidad de una normalización universal. Distintas sociedades han hecho esfuerzos para esto, y entre ellas podemos encontrar la ISA *Instrument Society of America* y la DIN *Deutsches Institut für Normung*, cuyas normas establecen una designación de aplicación en industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc. [6]

A continuación se describen algunas de las normas más importantes para la designación de los instrumentos:

■ **Norma ISA-S5.1-84 (R-1992)** (Identificación y símbolos de instrumentación).

- Cada instrumento debe de identificarse con un código alfanumérico o un número de tag, que proporcione el número de identificación de lazo. Como se puede observar en la Tabla 2 [6]:

TIC	103	Identificación del instrumento
T	103	Identificación del lazo
	103	Número de lazo
TIC		Identificación funcional
T		Primera letra
IC		Letras sucesivas

Tabla 2: Identificación de instrumentos

- El número de letras funcionales para instrumentos, debe de ser mínimo, no excediendo en 4, para esto se recomienda disponer las letras en subgrupos. [6]

- La numeración en bucles puede ser paralela o en serie.
 - La numeración en paralelo inicia una nueva secuencia numérica por cada nueva primera letra.
 - La numeración en serie identifica los bucles o secciones del proyecto con una única secuencia numérica.
 - Si un bucle tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, se recomienda añadir un sufijo, para esto debe emplearse una letra mayúscula.
 - Un instrumento que pueda realizar dos o más funciones puede identificarse o designarse por todas sus funciones.

La representación de las señales a emplear en planos se muestran en la Figura 4:

	1. Alimentación de instrumentos o conexión a proceso *
	2. Señal sin definir
	2. Señal neumática**
	3. Señal eléctrica
	4. Tubo capilar
	5. Señal hidráulica
	6. Señal electromagnética *** o sónica (sin hilo ni tubo)

Figura 4: Representación de señales

Primera letra			Letras sucesivas		
	Variable media o inicial	Letra de modificación	Lectura o función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, combustión		Libre	Libre	Libre
C	Libre			Control	
D	Libre	Diferencial			
E	Tensión (f.e.m)		Sensor		
F	Caudal	Relación			
G	Libre		Vidrio, dispositivo de visión		
H	Manual				Alto
I	Corriente (eléctrica)		Indicador		
J	Potencia	Exploración			
K	Tiempo, programación tiempo	Variación de tiempo		Estación de control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	Libre	Momentáneo			Medio, intermedio
N	Libre		Libre	Libre	Libre
O	Libre		Orificio, restricción		
P	Presión, vacío		Punto (ensayo), conexión		
Q	Cantidad	Integrar, totalizar			
R	Radiación		Registro		
S	Velocidad, frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisión	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	
V	Vibración, análisis mecánico			Válvula, regulador, persiana	
W	Peso, fuerza		Vaina, sonda		
X	Sin clasificar	Eje X	Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Evento, estado o presencia	Eje Y		Relé, cálculo, conversión	
Z	Posición, dimensión	Eje Z		Motor, actuador, elemento final de control sin clasificar	

Tabla 3: Código de identificación de instrumentos según ISA-S5.1-84 (R-1992)

- Norma ISA-S5.2-76 (R-1992)** (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos).
 En esta norma es donde se listan símbolos lógicos que representan sistemas secuenciales para arranque, centrales de potencia, aire acondicionado y operaciones con enclavamientos binarios, estas operaciones pueden realizarse para hardware, eléctrico, neumático, electrónico, mecánico, manual, hidráulico, entre otros. [6]
- Norma ISA-S5.3-1983 (R-1992)** (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados). [6]

La representación de distintos instrumentos, como la ubicación y posición de estos se puede observar en las siguientes tablas^[6]:

Instrumento discreto	
Display compartido, control compartido	
Función de computadora	
Control lógico programable	

Tabla 4: Símbolos de instrumentos

Significado	Símbolo
Montado en campo o localmente	
Montado en el panel principal, está accesible al operador	
Montado detrás del panel o consola de instrumentos (no está accesible para el operador)	
Montado en un tablero o panel auxiliar de instrumentos	
Montado en un panel auxiliar (no es accesible para el operador)	

Tabla 5: Ubicación de instrumentos

	Montado en tablero	Montado en campo	Ubicación auxiliar
	Es normalmente accesible para el operador		Es normalmente accesible para el operador
Instrumento discreto o aislado			
Display compartido, control compartido			
Función de computadora			
Control lógico programable			

Tabla 6: Posición de instrumentos

- **Norma ISA-S5.4-1991** (Diagramas de lazo de instrumentación).
 Los diagramas de lazo de control son utilizados en la industria, presentando en una hoja toda la información necesaria para la instalación, comprobación, puesta en marcha y mantenimiento de todos los instrumentos, esto reduce la los costos previstos. 6
- **Norma ISA-S5.5-1985** (Símbolos gráficos para visualización de procesos).
 Establece el estándar de colores de visualización de procesos:

Color	Significado genérico	Elementos asociados
Negro	Emergencia	a) Paro
		b) Alarma de prioridad muy alta
		c) Cerrado
		d) Desconectado
Amarillo	Precaución	a) Condición anormal
		b) Alarma de prioridad secundaria
Verde	Seguridad	a) Operación normal
		b) Arranque
		c) Abierto
		d) Conectado
Azul claro	Estático y significativo	a) Equipo de proceso en servicio
		b) Tarjetas principales
Azul	No esencial	a) Equipo de proceso en reserva
		b) Tarjetas, tags, etc.
Magenta	Radiación	a) Alarmas de radiación
		b) Valores dudosos
Blanco	Datos dinámicos	a) Información de medida y de estado
		b) Mensaje del sistema
		c) Tendencias
		d) Paso secuencial activo

Tabla 7: Colores de procesos en panel

■ Normas DIN e ISO

- DIN 19227-1 Se encarga de proporcionar símbolos gráficos y letras de identificación en el control de procesos. [6]
- DIN 19227-2 Proporciona símbolos gráficos y letras de identificación en el control de procesos, representación de detalles. [6]
- DIN V 44366:2004-12. Especificaciones de ingeniería de control de procesos en los diagramas *P&I* e intercambio de datos entre *P&ID* y *PCE – CAE*. [6]

Las normas ISO son muy similares a las ISA-S5.1:

- ISO 3511 *Industrial process measurement control functions and instrumentation* - Symbolic representation: Parte 1 (año 77), parte 2 (año 84), parte 3 (año 84), parte 4 (año 85). [6]
- ISO 14617-1 al 15 *Graphical symbols for diagrams*, año 2002 al 2005. [6]

6.5.4. Detectores de proximidad

- *Sensores inductivos*. Estos sensores se caracterizan por el hecho de que detectan la proximidad de piezas metálicas en un rango de 1mm hasta 30mm, con una resolución de décimas de milímetro. [3]
- *Sensores capacitivos*. Estos sensores se caracterizan por poder detectar elementos ya sean metálicos o no, pero hay que tomar en cuenta que su sensibilidad se ve afectada

por el tipo de material que detecte y parámetros como la humedad ambiental y del objeto por detectar. [3]

- *Sensores ópticos.* Estos sensores funcionan principalmente con fotocélulas, generalmente actúan mediante la reflexión de luz por parte del objeto al sensor, otros trabajan mediante una barrera de luz los cuales están predispuestos para detectar objetos en mayores distancias. El problema de estos sensores es cuando se necesita detectar objetos traslúcidos o transparentes. [3]
- *Sensores ultrasónicos.* Estos sensores se basan en la emisión y recepción de ondas ultrasónicas, actúan de tal manera que cuando el objeto interrumpe el haz la recepción se ve afectada y el receptor detecta esta variación y a diferencia de los sensores ópticos, con los sensores ultrasónicos se pueden detectar objetos transparentes como plástico, cristal y otros objetos traslúcidos. [3]

6.6. Actuadores

6.6.1. Accionamientos eléctricos

- **Relés y contactores.** Son componentes electromagnéticos que conectan o desconectan un circuito, la diferencia entre un relé y un contactor radica en la cantidad de potencia que puede llegar a transmitir, en específico un relé tiene una capacidad para trabajar con valores inferiores a 1kW mientras que los contactores pueden trabajar con valores en el rango de kilo-Voltios.

Los relés son utilizados con el fin de accionar componentes como electroválvulas, entre otros y es un componente que nos permite poder separar el circuito de control con la parte de accionamientos. [3]

- **Motores AC.** Para los motores de corriente alterna se pueden encontrar motores asíncronos y síncronos. Los motores asíncronos no se recomiendan para sistemas que necesiten cierto grado de precisión debido al desplazamiento que puede presentar. En cambio los motores síncronos son utilizados para mayor precisión debido a que no presentan deslizamiento. [3]

7.1. Banda transportadora

Para la banda transportadora se seleccionó el modelo CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-B proporcionado por Misumi, la cual además de ser una parte fundamental de la máquina, es un componente estandarizado que cuenta con las siguientes especificaciones:

Especificaciones	Valor
Ancho de la banda [B] (mm)	150
Carga máxima de la banda (kg.)	10
Diámetro de rodillo de cola (mm)	70
Potencia del motor (W)	6
Tipo de motor	[SCM] Velocidad variable
Especificaciones de la banda estándar	Propósito general - Verde [H]
Longitud de la banda [L] (mm)	1000
Velocidad máxima de la correa (m/min)	26.4
Diámetro de rodillo impulsor (mm)	70
Voltaje del motor [Monofásico] (V)	110
Fabricante del motor [B]	Oriental Motors

Tabla 8: Especificaciones de la banda transportadora.

La banda CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-B consta de distintas dimensiones, mencionadas en la Tabla 8, las dimensiones de la banda transportadora se muestran a continuación en la Figura 5.

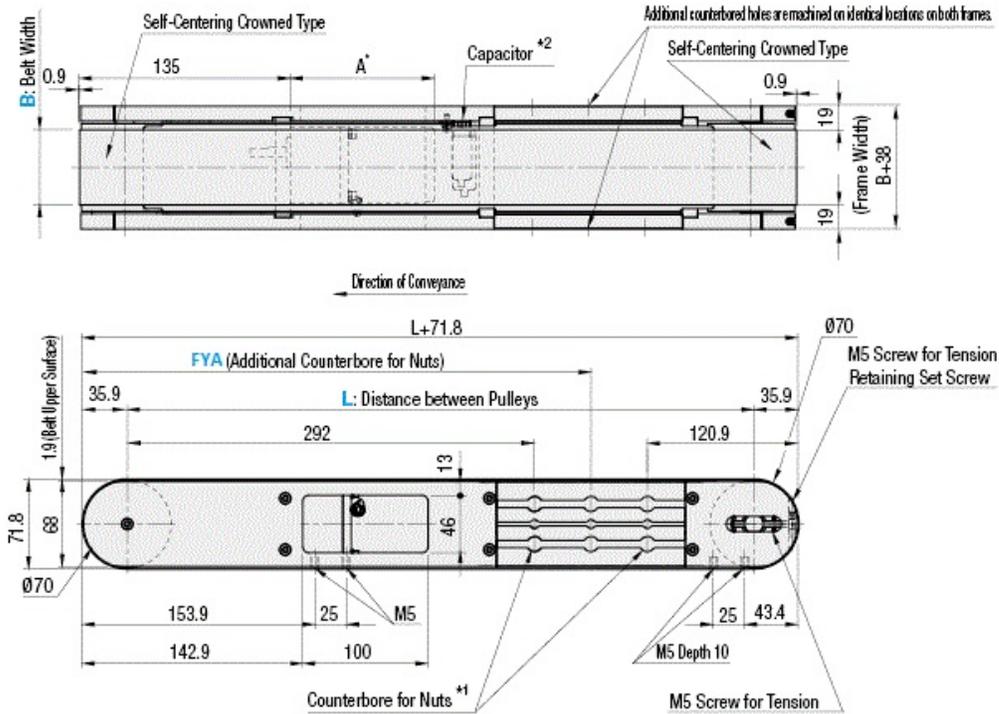


Figura 5: Dimensiones de la banda transportadora.

Este modelo de banda se caracteriza por tener un perfil de aluminio que permite la adaptación de componentes en los laterales de esta, facilitando la configuración de componentes para el diseño de la máquina, dicho perfil se muestra en la Figura 6:

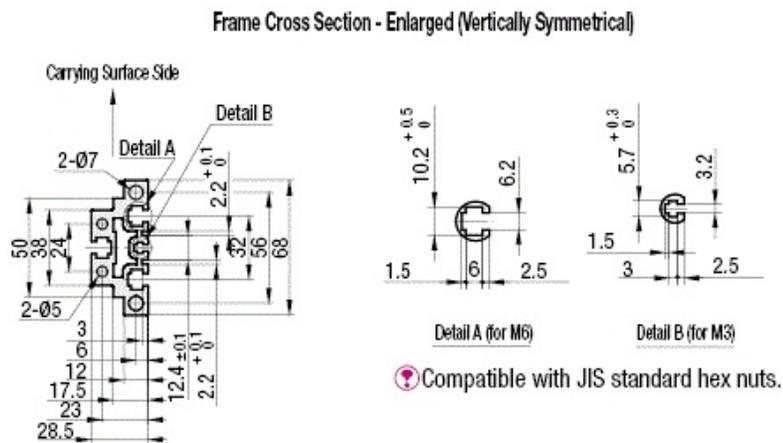


Figura 6: Perfiles laterales de la banda.

El modelo exacto de la banda transportadora se puede observar en la Figura 7:

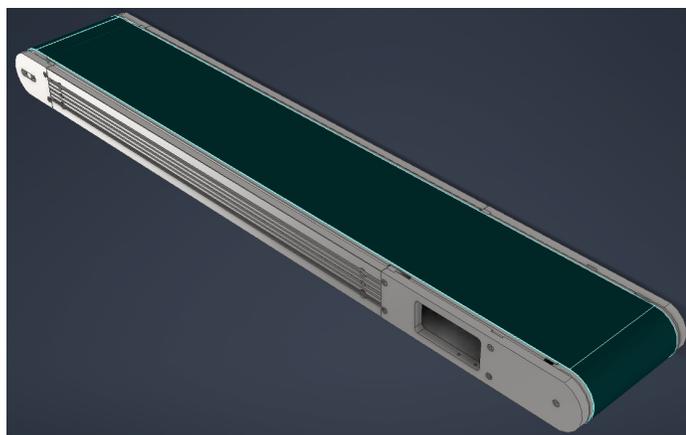


Figura 7: Modelo CAD de banda transportadora.

7.1.1. Motor eléctrico

La banda transportadora se puede seleccionar con un motor y su correspondiente controlador, el primer problema es que dicho controlador cuenta con un potenciómetro que se encarga de controlar la velocidad, haciendo que nunca se utilice el PLC. Para cubrir esto se implementó el controlador DSCD6UA que sí permite la comunicación con el PLC, con su respectivo motor SCM26EC-15 de Oriental Motor. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 9.

Especificación	Valor
Tipo de motor	Motor AC
Motor	Inducción
Tamaño del marco (mm)	60
Potencia de salida (W)	6 (1/125W)
Fuente de alimentación (VAC Monofásico)	110/115
Frecuencia (Hz)	60
Corriente (A)	0.28
Alimentación del control	24 Vcc, 0.15A min
Relación de los engranes	15:1
Diámetro del eje de salida(mm)	9.52
Torque admisible	0.68 N·m
Rango de velocidad variable (r/min)	6~106
Inercia de carga admisible kg.m ²	110x10 ⁻⁴
Carga en voladizo admisible	10 mm. desde el extremo = 150 N 20 mm desde el extremo = 200 N
Carga de empuje permitida (N)	40
Rango de temperatura del ambiente	0°C ~50°C [Controlador] -10°C ~40°C [Motor]
Grado de Protección	IP20

Tabla 9: Especificaciones técnicas del motor y su controlador.

Además de las especificaciones técnicas, también se necesitan saber las dimensiones tanto del controlador, como del motor, las cuales se pueden observar en las Figuras 8 y 9:

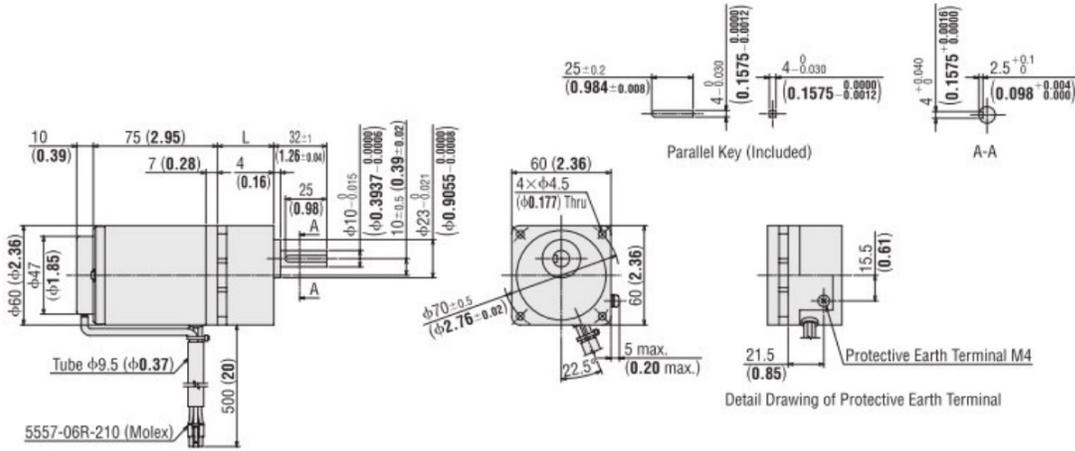


Figura 8: Dimensiones del motor.

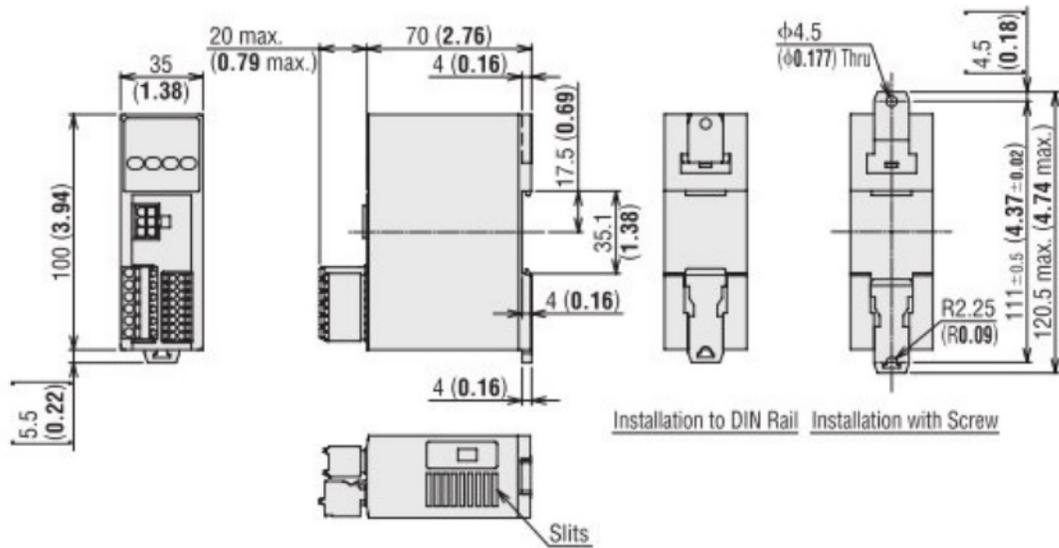


Figura 9: Dimensiones del controlador.

El modelo digital de tanto el motor, como el controlador lo podemos observar en las figuras [10](#) y [11](#).

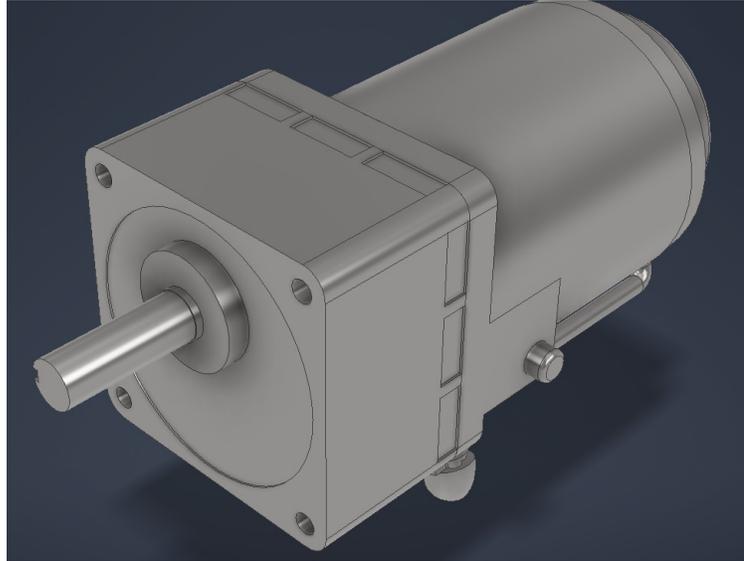


Figura 10: Modelo digital del motor.

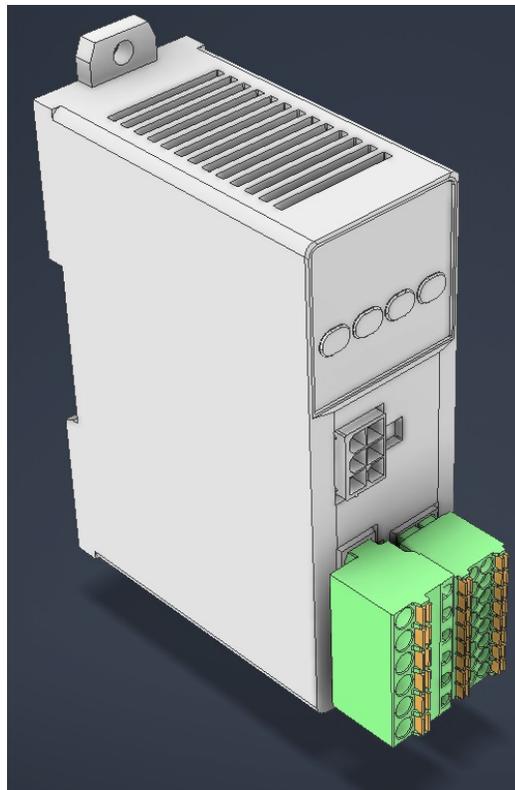


Figura 11: Modelo digital del controlador.

7.1.2. Diseño de extensión para acoplar el motor

Como se mencionó anteriormente, el motor que se seleccionó no es el incluido en la banda transportadora, por ese motivo hay ciertos componentes mecánicos que se tienen que adaptar, tal es el caso del eje de salida del motor, que es demasiado grande para el sistema de engranes que tiene la banda transportadora, por tal motivo se diseñó una pieza de extensión para resolver este problema, dicha pieza se muestra en la Figura [12](#):

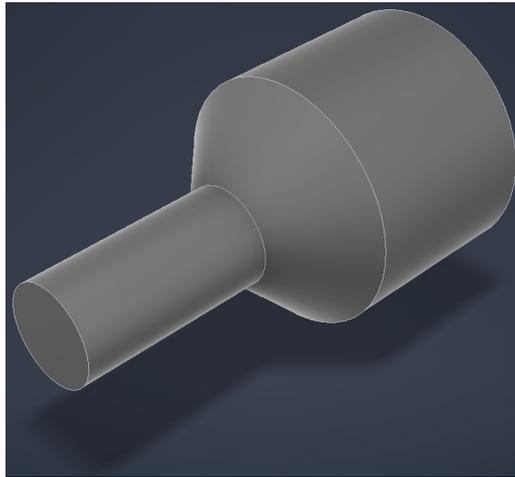


Figura 12: Extensión de eje de salida del motor.

7.1.3. Diseño del soporte del motor

En caso de los agujeros que sujetan al motor a la banda transportadora tenemos un espacio similar, ya que al agregar la extensión del eje de salida del motor, se tiene que desplazar el motor hacia atrás, por esta razón se tiene que compensar este desplazamiento con un soporte, dicho soporte se muestra en la Figura [13](#):

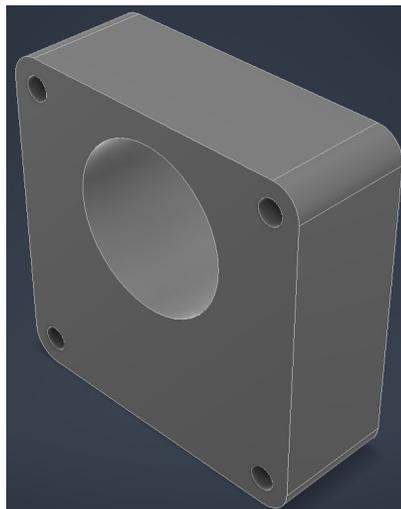


Figura 13: Pieza de compensación para sujetar el motor.

7.1.4. Selección de soportes para la banda

La banda por sí misma no cuenta con un sistema de soporte, por esto se procedió a implementar componentes que cumplan con esta función y estén a la altura definida para todas las máquinas modulares. El modelo necesario es el HFDANK6-SST, que está destinado al tipo de banda transportadora utilizado, este se muestra en la Figura 14.

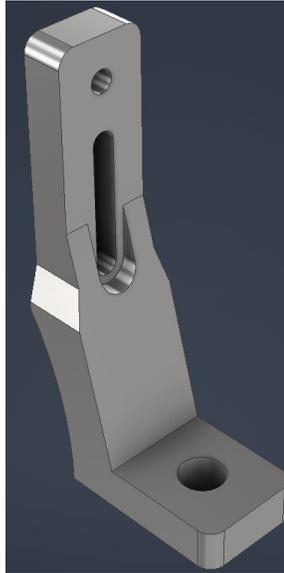


Figura 14: Piezas de soporte para la banda transportadora (HFDANK6-SST)

7.1.5. Cantidad de soportes para la banda

El ensamble de la banda transportadora con los soportes seleccionados se puede observar en la Figura 15.

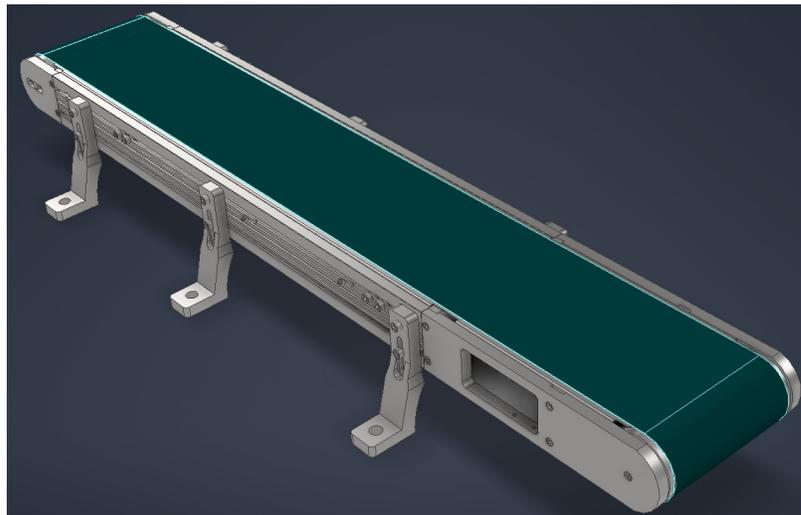


Figura 15: Ensamble de la banda transportadora con los soportes HFDANK6-SST.

Las especificaciones técnicas de perfil se muestran en la Figura 18:

Item	Increment	Antistatic Type	
Specific Gravity	-	0.94	
Tensile Strength	MPa	30.3	
Breaking Elongation	%	526.3	
Compression Strength	5% Deformed	MPa	18.2
	10% Deformed	MPa	23.5
Compressive Elasticity Modulus	MPa	714.9	
Bending Strength	MPa	21.0	
Flexural Modulus	MPa	729.3	
Izod Impact Strength	(Notched)	J/m	Does not break
Rockwell Hardness		R Scale	46.8
Deflection Temperature under Load	4.6kgf/cm ²	°C	119.4
	18.6kgf/cm ²	°C	47.9
Linear Expansion Coefficient	-30~30°C	x10 ⁻⁵ /°C	14.2
Specific Volume Resistivity	500V	Ω·cm	4.44x10 ⁹
Heat Resistance Temperature		°C	80
Strong Acid Resistance		-	⊙
Alkali Resistance		-	⊙
Organic Solvent Resistance		-	⊙

Figura 18: Figura de NLA

El ensamble de la banda transportadora con los componentes para ambos rieles, se puede evidenciar en la Figura 19:

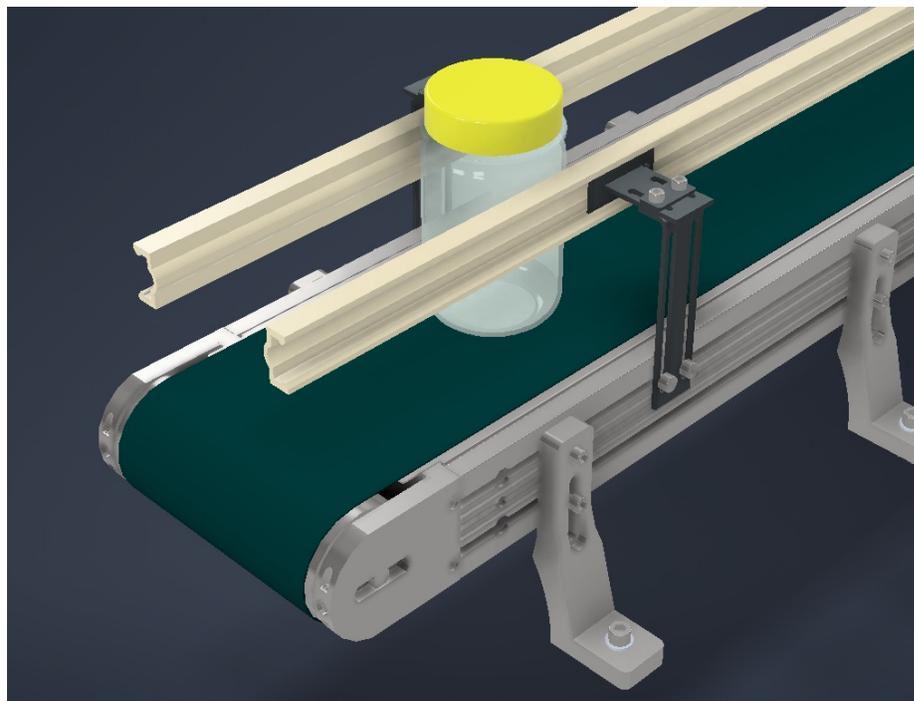


Figura 19: Ensamble de los rieles con la banda transportadora

El sensor para la detección de colores que se implementó es el 45CLR ColorSight de Allen-Bradley (Figura 21). Este cuenta con 3 canales de control encargados de detectar 3 distintos colores y 3 salidas PNP para comunicarse directamente con el PLC. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 20.



Figura 20: Sensor 45CLR Color-Sight

General Specifications

Certifications	cULus and CE marked for all applicable directives
Light Source	White LED
Sensing Range [mm (in.)]	45CLR-5JPC1-D8: 12...32 (0.47...1.26) 45CLR-5JPC2-D8: 15...30 (0.59...1.18) 45CLR-5JPC3-D8: 18...22 (0.70...0.86)
Sensing Range Tolerance	45CLR-5JPC1-D8: ± 6 mm 45CLR-5JPC2-D8: ± 5 mm 45CLR-5JPC3-D8: ± 2 mm
Spot Size [mm (in.)]	45CLR-5JPC1-D8: 4 (0.15) round @ 22 (0.86) 45CLR-5JPC2-D8: 2 x 2 (0.07 x 0.07) @ 22 (0.86) 45CLR-5JPC3-D8: 5 x 1 (0.19) @ 22 (0.86)
Supply Voltage	18...28V DC
Current Consumption	≤40 mA @ 24V DC
Protection Type	Short circuit, overload, false pulse, transient noise, reverse polarity
Output Type	Discrete: 3 PNP outputs (N.O.)
Output Rating	100 mA max per channel output
Response Time	Output: Normal Teach mode (CH1,CH2,CH3): 1 mS External Teach mode (CH3): 2 mS
Housing Material	Plastic ABS
Lens Material	PMMA
Connection Type	8-Pin DC Micro, 270° Rotatable
Accessory	Cordsets, Mounting Brackets
Enclosure Type Rating	IP67
Vibration	10...55 Hz, 1.5 mm amplitude; 3 planes; meets or exceeds IEC 60947-5-2
Shock	30 g; 11 ms; meets or exceeds 60947-5-2
Operating Temperature—C (F)	-10...+55° (14...131°)

Figura 21: Ensamble de los rieles con la banda transportadora

El conector del sensor tiene una entrada/salida especial con una configuración de colores para identificar cada una de las salidas y alimentación de dicho sensor, el tipo de conector es M12, el cual se muestra en la Figura 22 y Tabla 10.

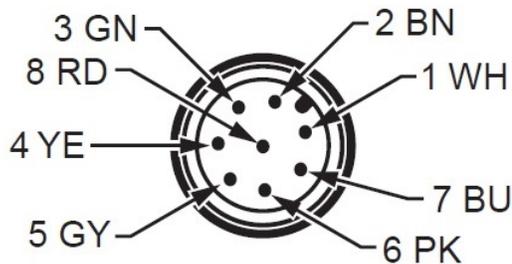


Figura 22: Conector de 45CLR Color-Sight

Pin	Color	Conexión
1	Blanco	Entrada de la compuerta
2	Marrón	V+ 12...28V DC
3	Verde	Salida 1
4	Amarillo	Salida 2 / Confirmación de aprendizaje
5	Gris	Bloqueo del botón de aprendizaje
6	Rosado	Salida 3 / Aprendizaje remoto
7	Azul	V- 0V DC
8	Rojo	Sin conectar

Tabla 10: Conector del sensor 45CLR.

Las dimensiones aproximadas del sensor se pueden observar en el siguiente plano (Figura 23):

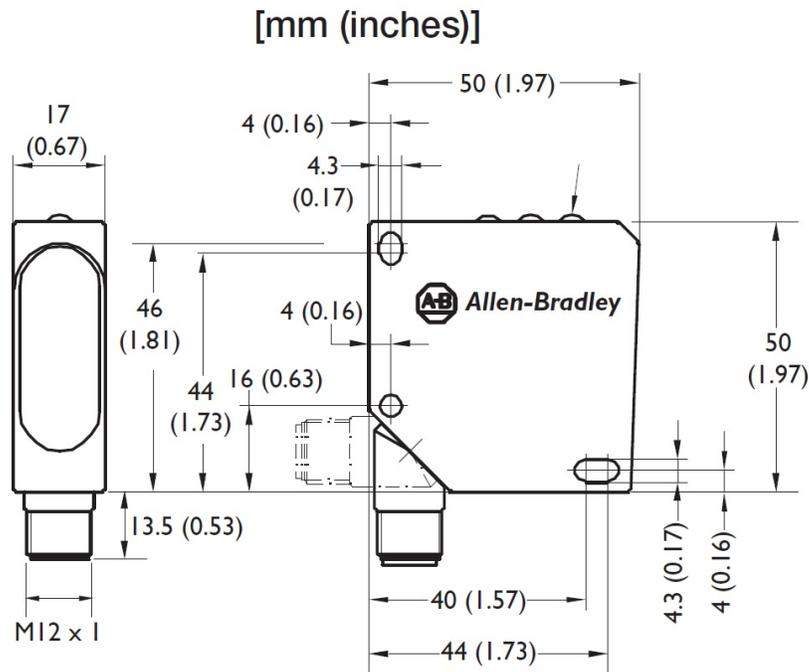


Figura 23: Dimensiones de sensor 45CLR Color-Sight

8.1. Montaje del sensor en la máquina

Para colocar el sensor sobre la máquina se diseñó un soporte especial que sitúa al sensor sobre la trayectoria de los frascos. Dicho diseño se puede observar en la Figura 24.



Figura 24: Pieza de montaje para 45CLR Color-Sight

El diseño del soporte para el montaje del sensor aprovecha el perfil lateral de la banda para que este se pueda colocar a lo largo de esta y ajustarse a la distancia que se desee. El montaje del sensor a la máquina se puede observar en la Figura [25](#).

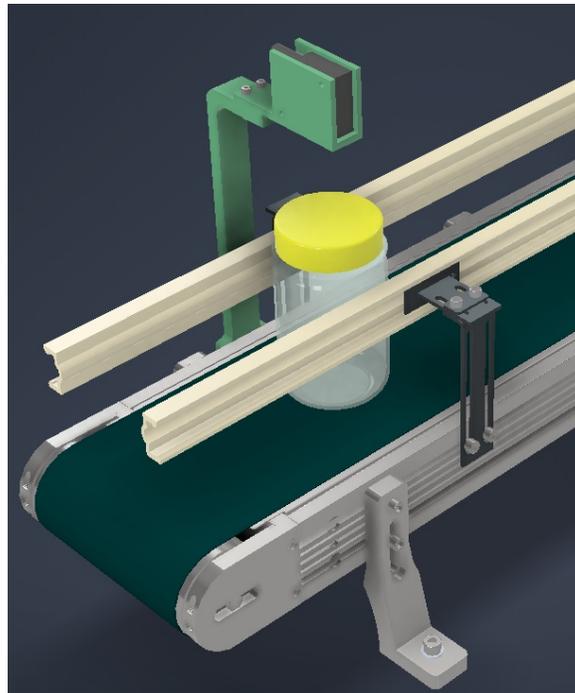


Figura 25: Montaje del sensor a la banda transportadora

9.1. Componentes utilizados

Para crear la estructura de la mesa se utilizaron extrusiones de aluminio de tipo GFS8-4040 de Misumi, los cuales se pueden observar en la figuras [26](#) y [27](#).

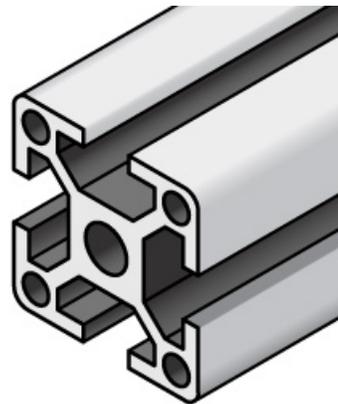


Figura 26: Perfil GFS8-4040.

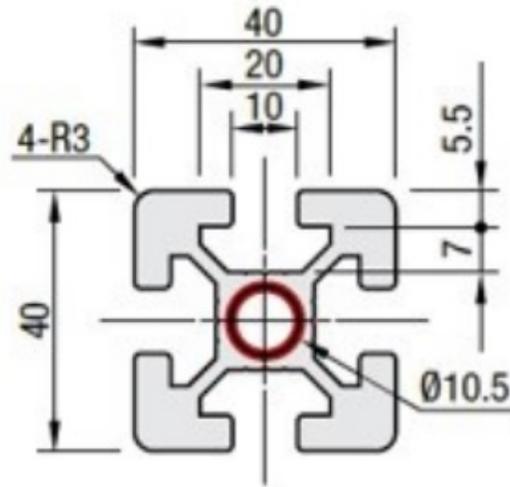


Figura 27: Dimensiones de perfil GFS8-4040

Para aprovechar el tipo de perfil lateral que posee la estructura, se utilizaron las piezas HBLFSNF8-C-SST, los cuales permiten unir las piezas perpendicularmente, esta pieza se puede observar en la Figura [28](#).[8](#)

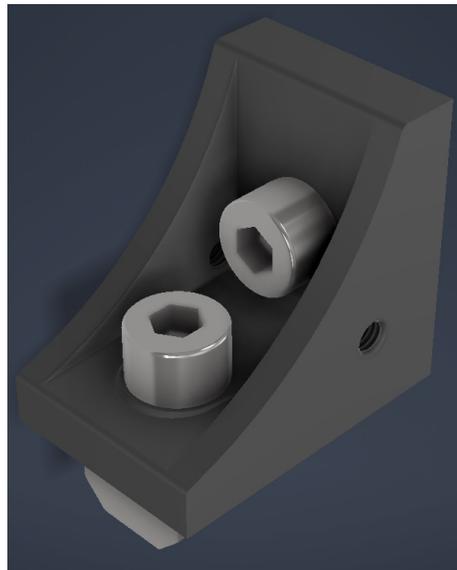


Figura 28: Componente HBLFSNF8-C-SST.

Para formar la estructura también se necesitan tuercas para la ranura en T de las extrusiones, estas están divididas en tuercas de preensamblado y post-ensamblado. El modelo HNTTSS8-8 (Figura [29](#)) pertenece a las tuercas de ensamblado para tornillos M8 y los modelos HNTAJ8-8 (Figura [30](#)) y HNTAP8-5 (Figura [31](#)) a las tuercas de post-ensamblado para tornillos M8 y M5 respectivamente.

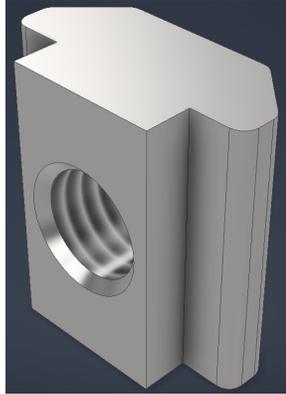


Figura 29: Componente HNTTSS8-8. [9](#)

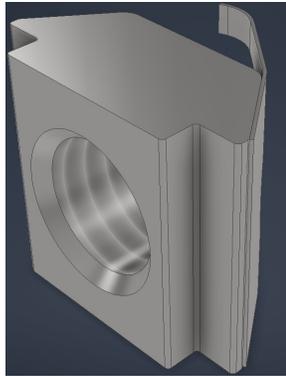


Figura 30: Componente HNTAJ8-8. [10](#)

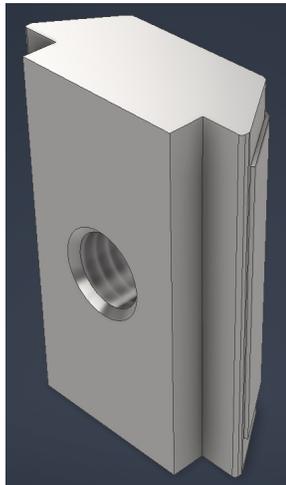


Figura 31: Componente HNTAP8-5. [11](#)

El ensamble final de la mesa cuenta con soportes transversales en los cuales va a ir sujeta la banda transportadora y los soportes para el mecanismo de clasificación, esto se puede observar en la Figura [32](#).



Figura 32: Ensamble de la mesa con sus soportes transversales

10.1. Planteamiento de mecanismo de clasificación

El mecanismo de clasificación para los frascos es una adaptación de uno de los mecanismos utilizados para el movimiento de impresoras 3D y máquinas CNC. Se utiliza un perfil 20x20 en V para construir un actuador lineal, y realizar el movimiento lineal mediante la rotación de un motor DC. [12]

Luego de definir el mecanismo para el movimiento lateral, se procedió a realizar un mecanismo con bisagras, con el objetivo de guiar el frasco a la posición que se desea. Para esto se utilizaron cojinetes lineales y cojinetes radiales, que se encargan de compensar el movimiento lateral. Todo esto se puede observar en la Figura [33].

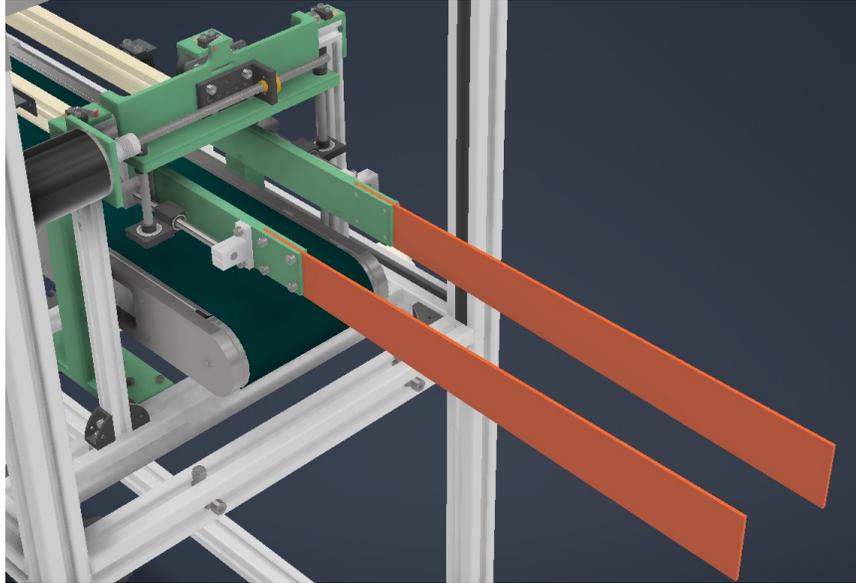


Figura 33: Mecanismo de clasificación

10.2. Componentes utilizados

10.2.1. Guía lineal

Para poder utilizar el mecanismo de una impresora 3D o máquina CNC, es importante seleccionar una guía lineal adecuada. Se utilizó un perfil de aluminio en V diseñado y fabricado por Open Builds. Este tipo de perfil está diseñado con el fin de utilizarse en máquinas con ejes deslizantes, dichos perfiles tienen una dimensión de 20x20mm donde se coloca una o varias placas. Estas constan principalmente de cuatro ruedas que se acoplan al perfil en V para armar de esta manera una guía lineal. El ensamble se puede observar en la Figura [34](#). [13](#) [14](#)

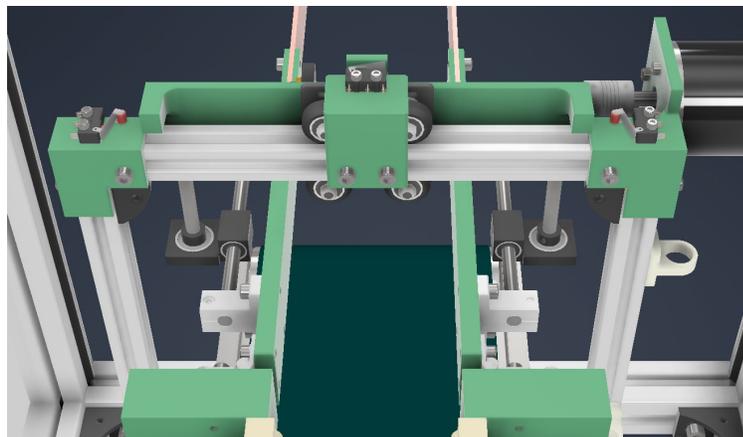


Figura 34: Ensamble de la guía lineal utilizada en el mecanismo

10.2.2. Motor

Una vez resuelto el movimiento lateral, se implementó el acople de un motor DC de 24V. Un acople flexible, tornillo sin fin y una tuerca T convierten el sistema en un actuador lineal (Figura 35).

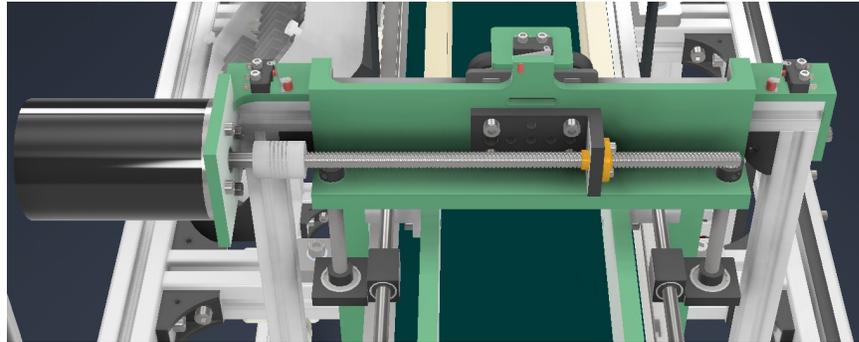


Figura 35: Ensamble del motor y el tornillo sin fin

10.2.3. Bisagras

Ya teniendo el mecanismo que va a generar el movimiento para el seleccionador, se procedió a diseñar dos guías que serán las que se encarguen de desplazar el frasco hacia donde el PLC lo indique. Para esto se diseñó un mecanismo como una puerta común, utilizando como pivote una bisagra para ambas guías, como se observa en la Figura 36. 15

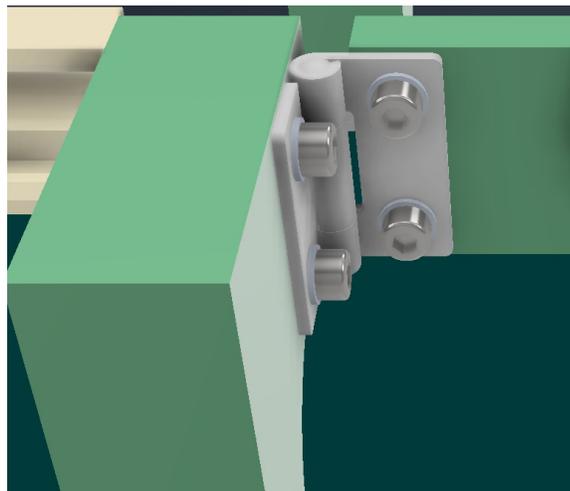


Figura 36: Pivotes para las guías del mecanismo

10.2.4. Sistema de ejes

El siguiente paso es crear un sistema que permita convertir el movimiento traslacional generado por el motor a un movimiento angular, agregando las piezas que van a guiar al

frasco. Para esto, se diseñó un sistema que consta de dos ejes (ambos con 8mm), uno vertical que tendrá un cojinete radial encargado compensar el movimiento a lo largo de este. Un eje horizontal, que se encuentra paralelo de la pieza que funcionará como guía, y contará con un cojinete lineal para compensar el movimiento a lo largo de este. Todo esto lo podemos observar en la Figura [37](#), [16](#) [17](#)

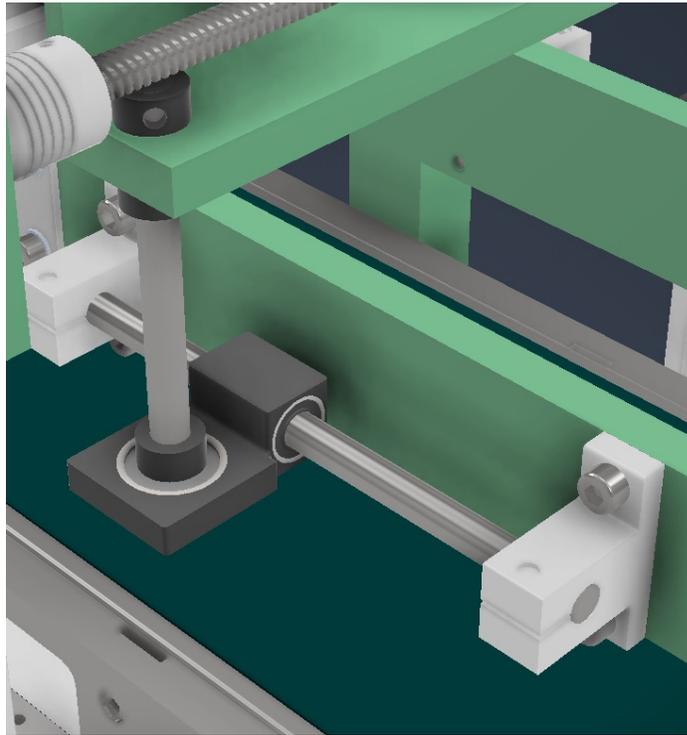


Figura 37: Sistema de ejes para compensación de movimiento

La idea detrás de este sistema de ejes perpendiculares, es que compensen traslaciones, tanto a lo largo de la pieza, como el movimiento rotacional que pueda presentar. Por lo cual se diseñó una pieza que será impresa en 3D, que mantendrá a los cojinetes sujetos perpendicularmente. A cada uno de los ejes se le pusieron topes, para mantenerlos en su sitio y definir los límites del movimiento.

10.2.5. Extensiones para la clasificación

Al necesitar colocar una bandeja después de la banda transportadora, se vió la necesidad de colocar dos extensiones para aumentar el alcance del carril del mecanismo de clasificación. Estos están sujetos con tornillos M5 a las piezas piezas del carril original de clasificación (Figura [38](#)).

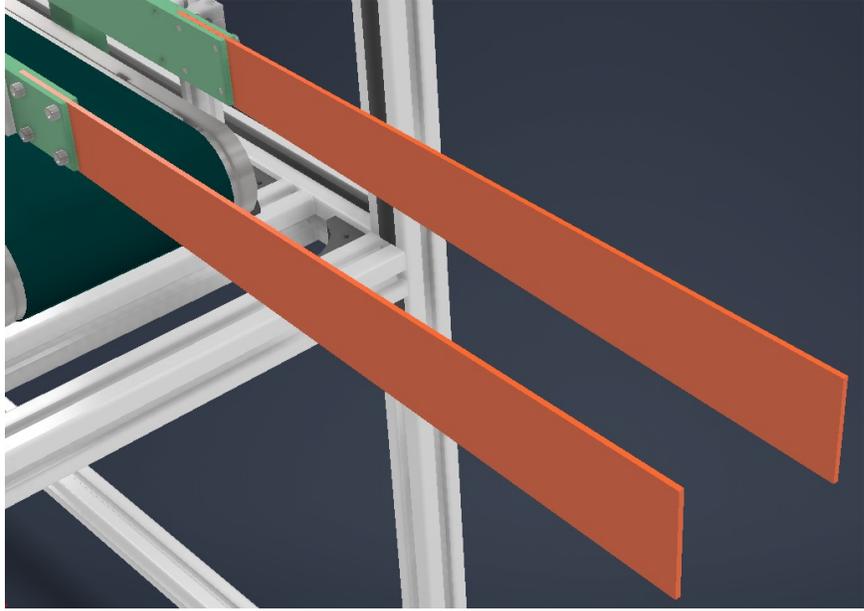


Figura 38: Sistema de ejes para compensación de movimiento

Esta máquina es la última de la línea de producción completa, por tal motivo es de suma importancia que tenga una rampa y/o bandeja donde puedan estar los frascos ya clasificados, luego de salir de esta. Además cuenta con una función extra, que es de ser un método de comunicación entre la línea de producción actual, con otra máquina o línea de producción futura que necesite trabajar con los frascos ya clasificados.

11.1. Primer prototipo

Para el primer prototipo de la rampa y bandeja, se optó por diseñar dos soportes mediante el plegado de lámina, dicha lámina consta de 1 mm de grosor. La estructura principal de esta parte se diseñó para seguir utilizando extrusiones de aluminio, pero en este caso se utilizarán los perfiles de 20x20mm, el resultado se puede observar en la Figura [39](#).

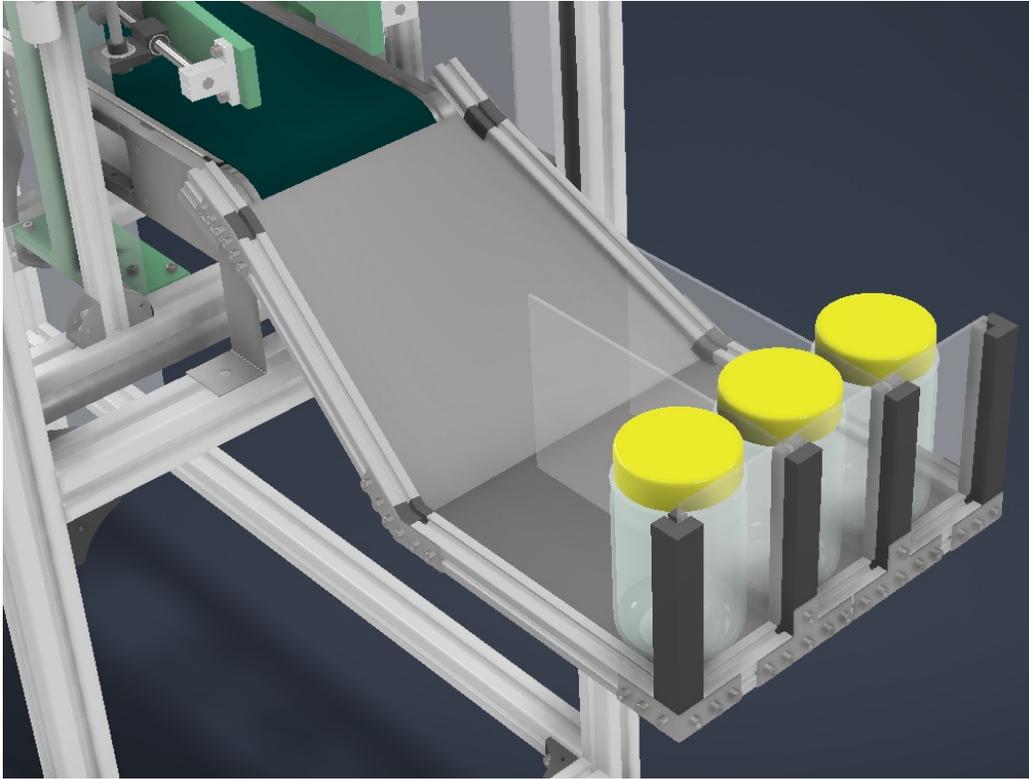


Figura 39: Rampa para los frascos

Además se utilizaron piezas impresas en 3D para complementar cambios de ángulos en la rampa y para colocar paneles de acrílico para marcar la división en los frascos (Figura 39 y Figura 40). Estas piezas están sujetas con pequeñas placas de metal de 1mm de grosor (Figura 41), el mismo material es utilizado para la plancha de la bandeja.

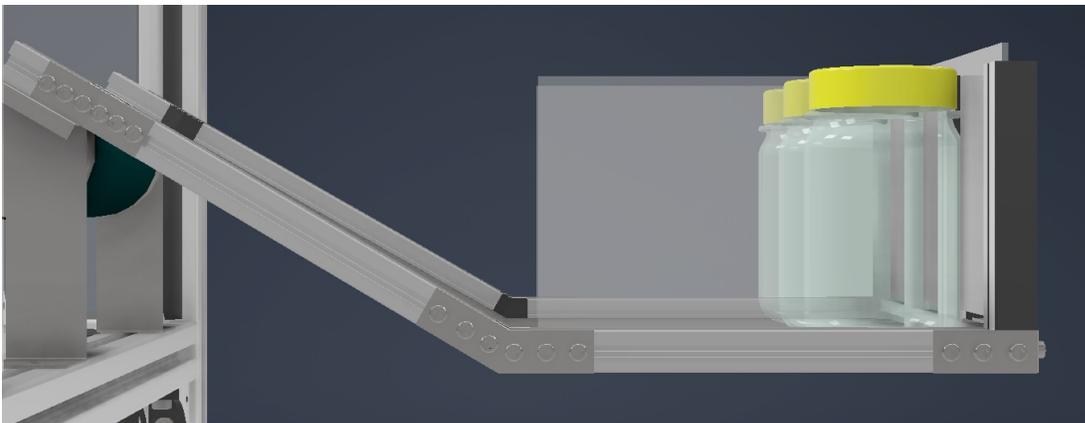


Figura 40: Vista lateral de rampa y bandeja

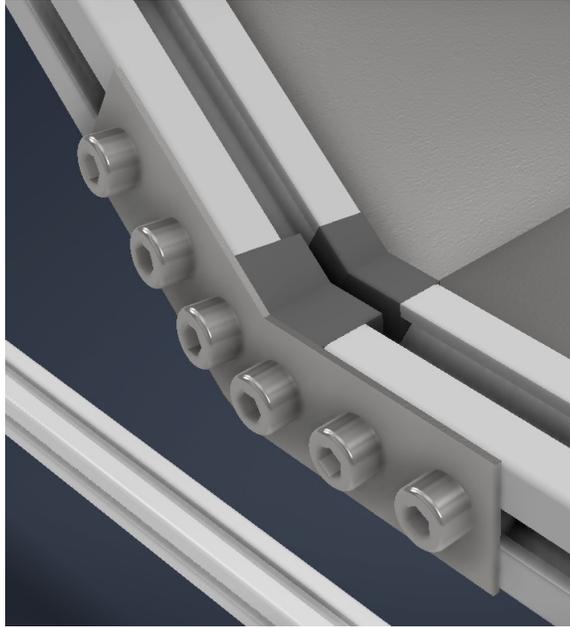


Figura 41: Sujeción de las partes de la bandeja

11.2. Diseño final

11.2.1. Rampa

En el diseño final de la rampa, se utiliza la idea de bandas de rodillos locos, los cuales fueron diseñados con varillas de acero de 8mm de grosor. La idea principal es que estas varillas giren una a una, con respecto a la velocidad que lleve cada uno de los frascos, al salir de la banda transportadora. Para lograr este movimiento se utilizaron los rodamientos 608zz, los cuales están sujetos con varias piezas fabricadas mediante impresión 3D (Figura 42).

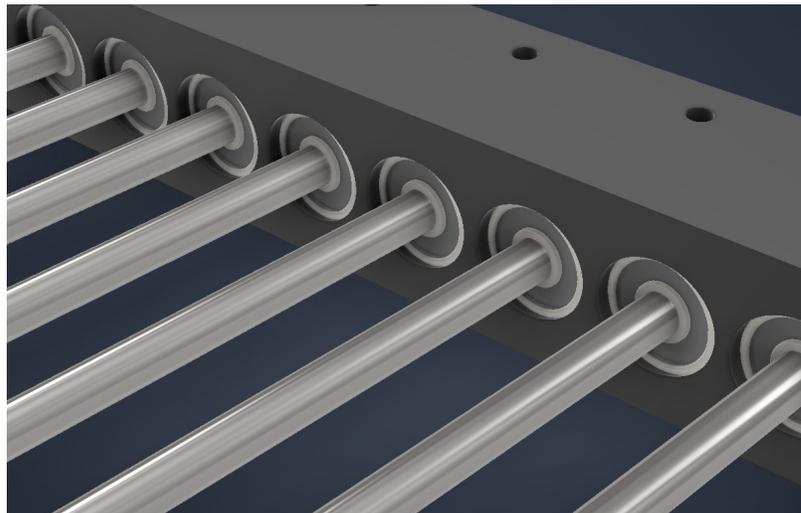


Figura 42: Cojinetes 608zz y piezas de sujeción

La estructura principal de la rampa es una extrusión de aluminio de 20x20mm, para darle un soporte rígido a las piezas de impresión 3D y no dejar todo el esfuerzo sobre estas piezas (Figura 43). [18]

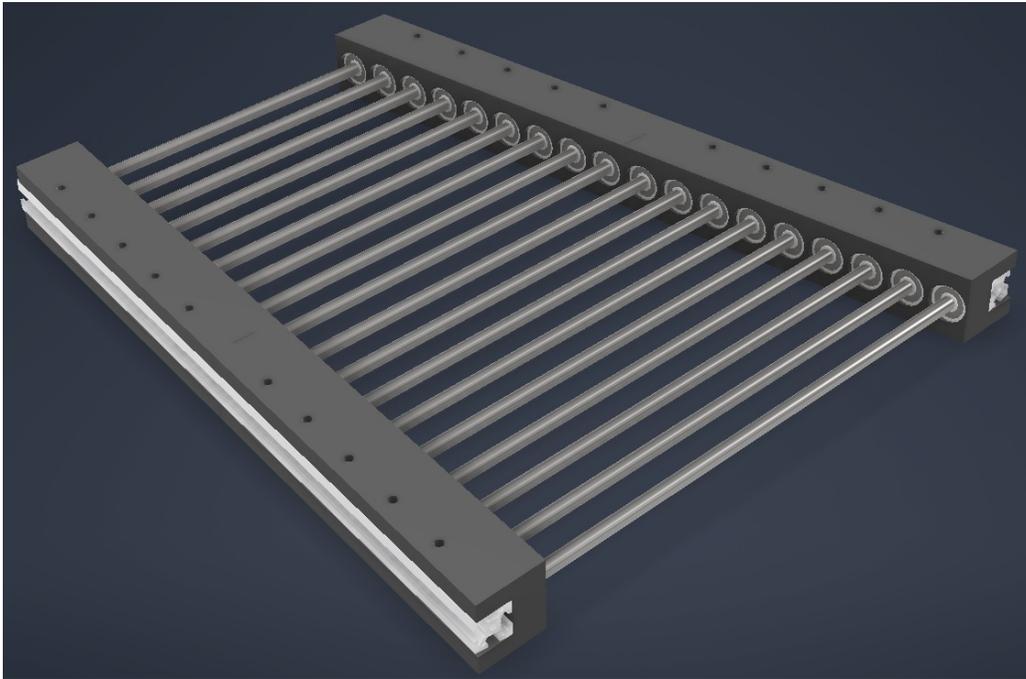


Figura 43: Estructura de la rampa

11.3. Soporte

Para el soporte estructural se diseñaron dos piezas que consisten en una pieza de metal de 1mm de grosor plegada hidráulicamente, con el fin de que sea la pieza encargada de soportar las fuerzas generadas al pasar cada uno de los frascos.

Estas piezas cuentan con agujeros a lo largo de su estructura, para sujetar las extrusiones de aluminio utilizadas tanto en la rampa como en la bandeja. También tiene dos pliegues diseñados para acoplarse a una extrusión de aluminio de 40x40, que corresponde a las medidas utilizadas en la estructura principal de la máquina (Figura 44).

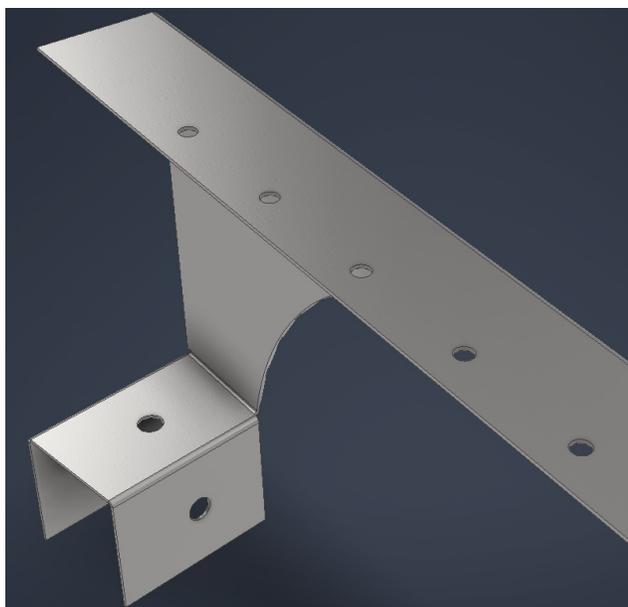


Figura 44: Soporte estructural de la rampa y la bandeja

El soporte estructural cuenta con 2 grados de inclinación para colocar la rampa de rodillos locos, con el fin de que no se quede atascada ninguno de los frascos, además de la distribución necesaria para soportar la bandeja de frascos(Figura 45).

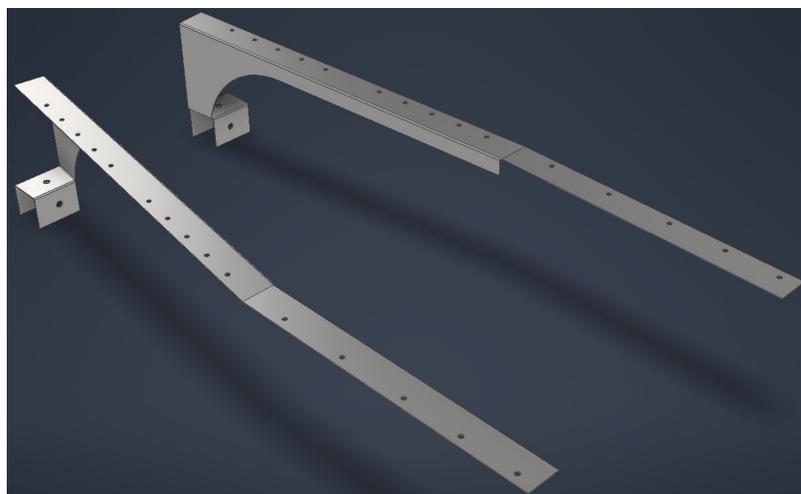


Figura 45: Soporte estructural de la rampa y la bandeja

11.4. Bandeja

La bandeja está diseñada con tres casillas (que corresponde a tres tipos de clasificación), que a su vez pueden almacenar hasta tres frascos, dando un total de 9 frascos clasificados (Figura 46). Esta pieza está siendo sostenida por el soporte estructural de metal (Figura 45).

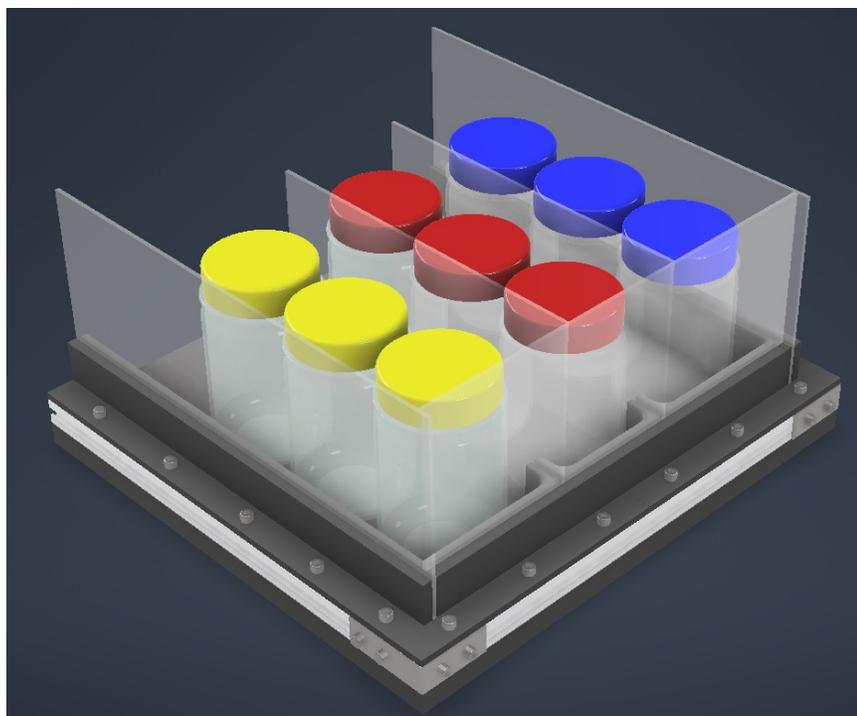


Figura 46: Almacenamiento de frascos en la bandeja

La bandeja está compuesta por una estructura interna que son tres extrusiones de aluminio de 20x20, que a su vez sujetan una pieza superior e inferior, diseñadas para ser impresas en 3D (Figura 47). Las piezas superiores se encargan de sujetar paneles de acrílico, para diferenciar las tres clasificaciones y las piezas inferiores una lámina de 1mm de grosor, que es la base inferior de la bandeja (Figura 48).

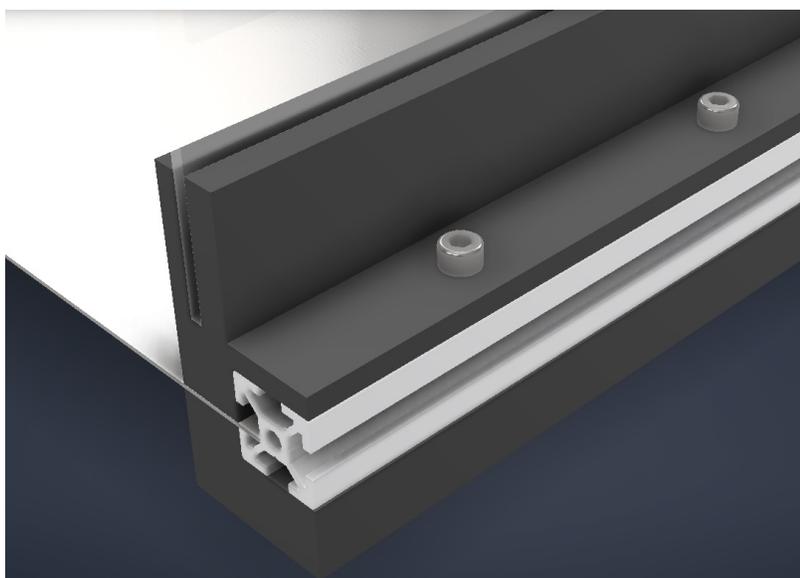


Figura 47: Estructura de la bandeja

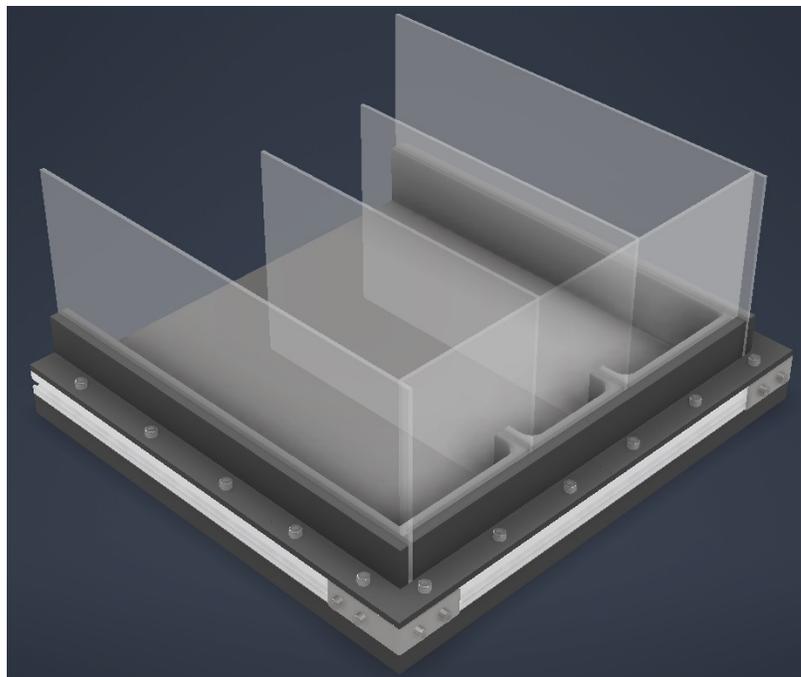


Figura 48: Estructura de la bandeja

Esta pieza está sujeta por tornillos M5 tipo Allen y las tuercas HNTTSN5-5, los cuales son necesarios para los perfiles 20x20, y tornillos M8 con las tuercas HNTAJ8-8 utilizados para sujetar la rampa y bandeja a la estructura principal de la máquina, el ensamble completo se puede observar en la Figura [49](#).

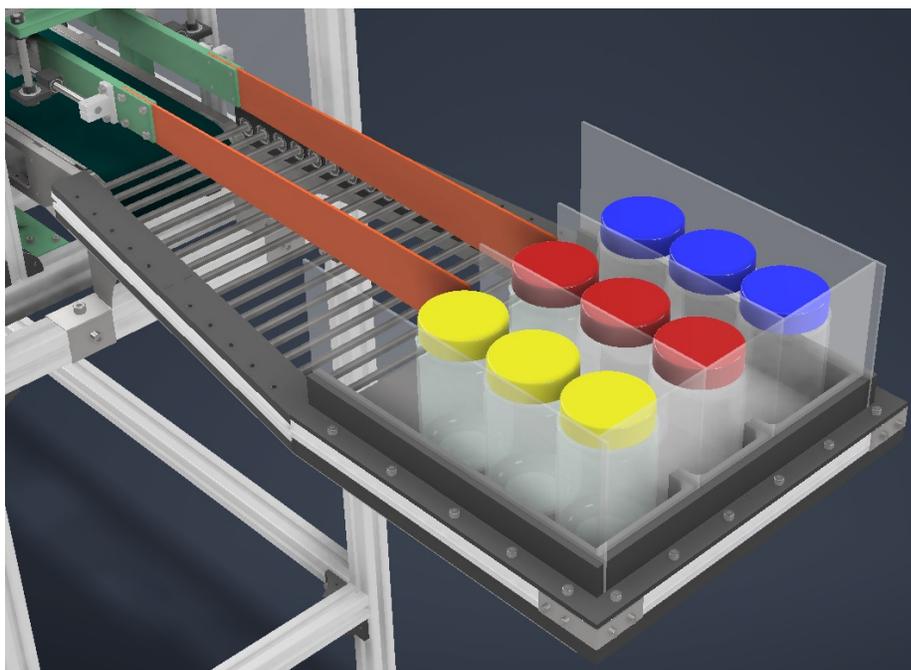


Figura 49: Ensamble de la bandeja con la máquina

12.1. Puertas

Para la cabina de seguridad se eligió un tipo de puerta que aprovecha perfectamente la ranura T en la extrusión de aluminio. Puede deslizarse a lo largo de este y no obstaculizar con los componentes internos de la máquina, dichas puertas son el modelo HHUA8L-AC3-980-500 (Figura 50). 19

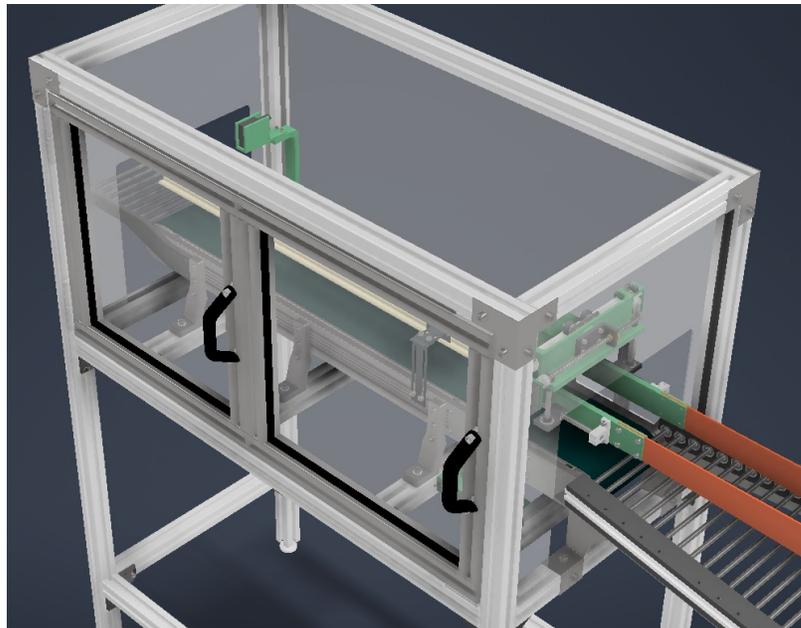


Figura 50: Puertas modelo HHUA8L-AC3-980-500

Este tipo de puerta ayuda en optimizar el espacio y la visualización del estudiante. Ambas puertas al abrirse son desplazadas al lado izquierdo de la estructura, lo que permite tener un acceso más amplio a la máquina y emulen la cobertura de una máquina CNC (Figura 51).

19

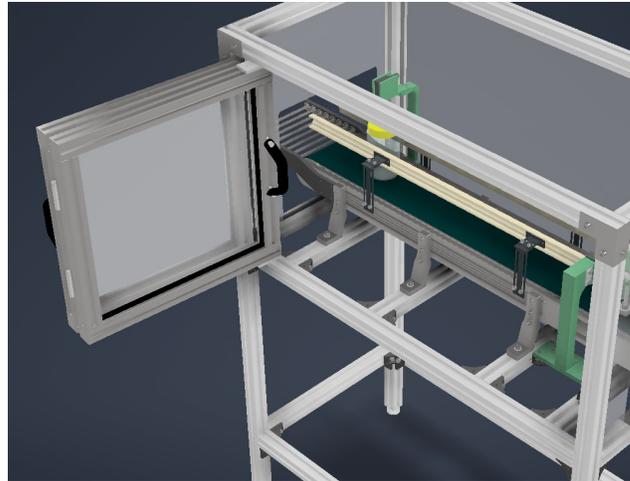


Figura 51: Puertas abiertas

12.2. Estructura

La idea es aprovechar la estructura principal de la máquina (Figura 32) para armar la cabina alrededor de esta. Utilizando extrusiones de aluminio de 40x40 como travesaños y completar la estructura. (Figura 52).

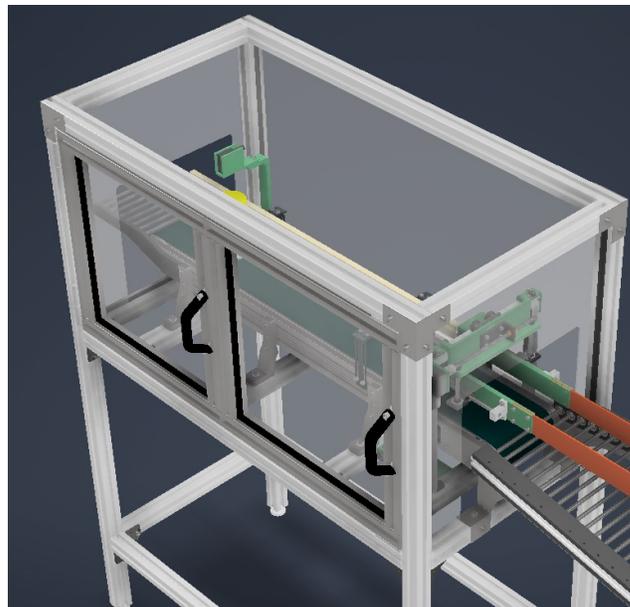


Figura 52: Estructura de la cabina de protección

Para ensamblar las extrusiones se utilizaron piezas de metal de 1mm de grosor con tuercas modelo HNTTSS8-8 para tornillos M8, con el fin de no desperdiciar las ranuras en T internas (Figura 53).

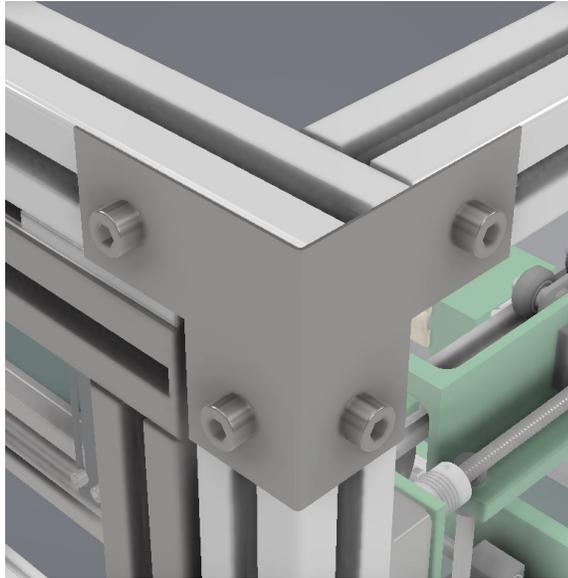


Figura 53: Piezas de sujeción de la cabina

Además de la estructura realizada con las extrusiones, se instalaron distintos paneles de acrílico de 3mm de grosor, para completar la estructura de seguridad de la máquina. Estos paneles están sujetos con piezas seleccionadas específicamente para sujetarlos bajo presión. Estos componentes son el modelo HSCP7H-B-L (dónde L es el largo de la pieza), garantizando así el completo cierre de seguridad de la máquina (Figura 52 y Figura 54). 20

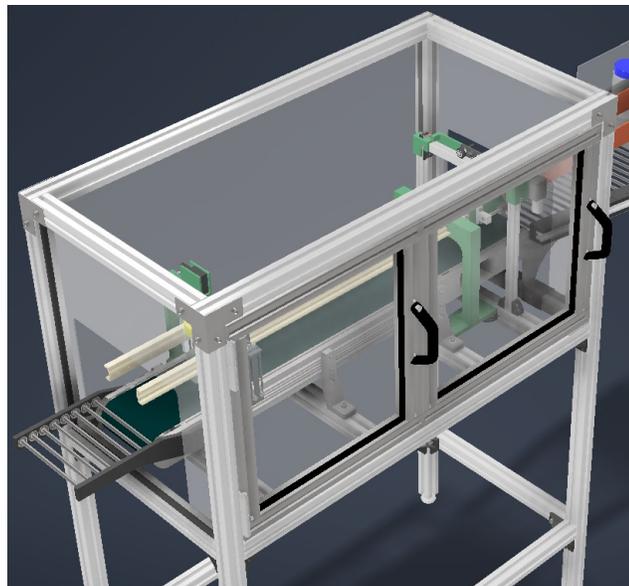


Figura 54: Cabina de seguridad completa

13.1. Caja de conexiones eléctricas didácticas

La idea detrás de la máquina es proporcionar a los estudiantes de herramientas necesarias para obtener cierta experiencia en el manejo de maquinaria industrial (a menor escala), mediante la programación de PLCs. Para esto se optó por equipar dicha máquina con una caja de conexión eléctrica que permitiera a los estudiantes tener una interacción directa, sin la necesidad de cambiar las conexiones internas de esta.

Para cumplir con estos criterios, se optó por seleccionar las cajas eléctricas del modelo SPCM181808T. Este modelo en específico cuenta con una tapadera transparente que permite ver las conexiones eléctricas internas, se puede observar en la Figura [55](#) [21](#)



Figura 55: Caja de conexión SPCM181808T

A la vez que permite seleccionar ciertos tipos de borneras con distintos polos, dependiendo de la cantidad de polos que necesite la máquina. Dicha variación entre borneras se realiza mediante distinta colocación de estas, las cuales se pueden observar en la Figura [56](#):

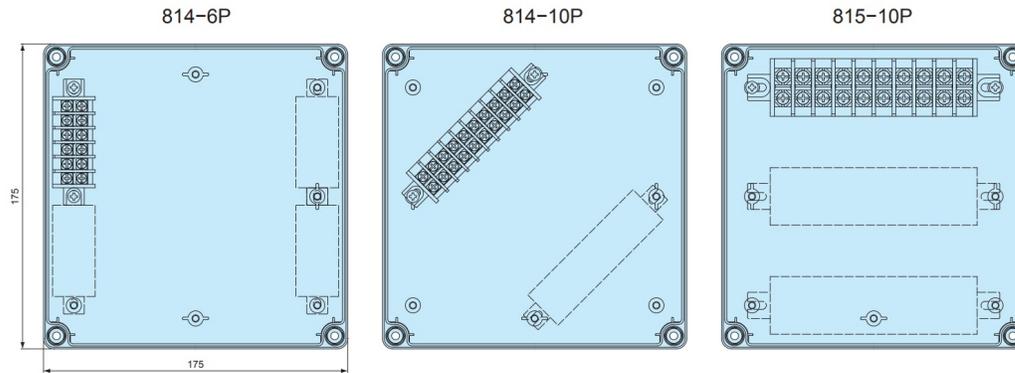


Figura 56: Configuraciones posibles para la caja de conexión SPCM181808T

Para poder acoplar la caja de conexiones al modelo CAD de la máquina, se procedió a realizar el modelo 3D con las medidas proporcionadas por el fabricante en los planos del componente (Figura 57). 22

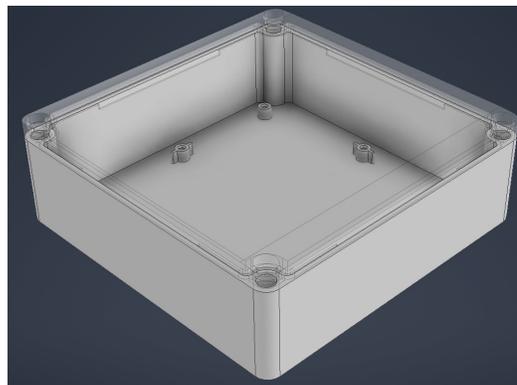


Figura 57: Modelo CAD de caja de conexión SPCM181808T

El siguiente paso es diseñar las borneras con los planos proporcionados por el fabricante. Para esto se diseñaron las borneras pertinentes para el modelo de caja SPCM181808T, los cuales son: STB 814-10P y STB 815-6P, las cuales se observan en las figuras 58 y 59. 23

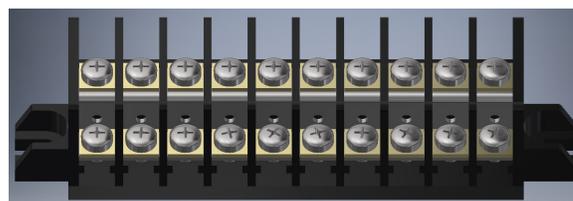


Figura 58: Bornera STB 814-10P

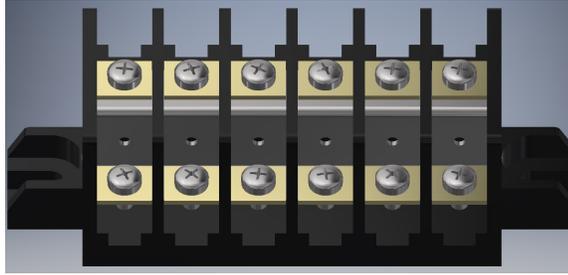


Figura 59: Bornera STB 815-6P

El resultado es la caja SPCM181808T con sus polos, que en este caso se eligió trabajar con las borneras de diez polos, por la cantidad de conexiones que posee la máquina desde el punto de vista del sistema de control (Figura 60).

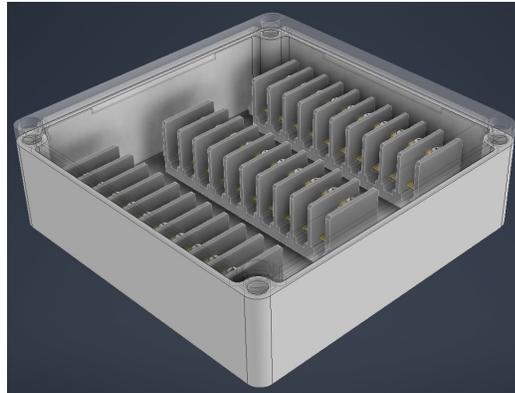


Figura 60: Modelo CAD de caja de conexión SPCM181808T completa

Para las conexiones del sistema de potencia del control AC, se decidió separar la etapa de control de la de potencia, y por lo tanto se necesita otra caja de distribución eléctrica. El modelo escogido para la etapa de potencia es el SPCM081306T (Figura 61). 24

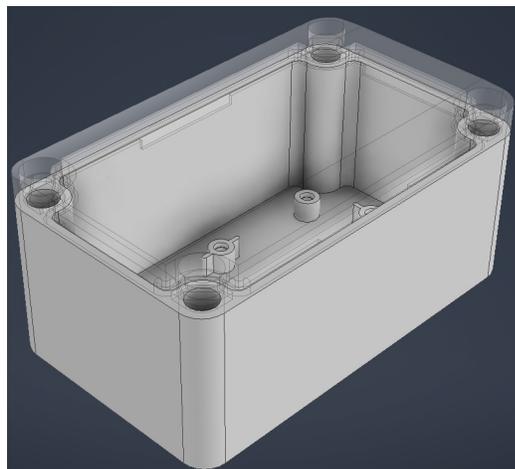


Figura 61: Modelo CAD de caja de conexión SPCM081306T

Esta caja utiliza modelo de borneras STB-814, en este caso se seleccionó trabajar con las que poseen tres polos, para aprovechar la distribución de la caja (Figura 62).

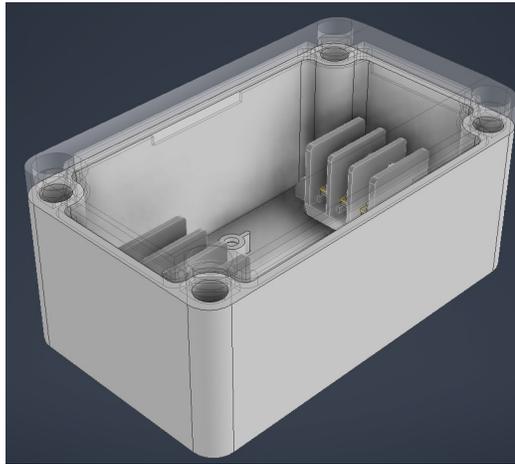


Figura 62: Modelo CAD de caja de conexión SPCM081306T completa

13.2. Circuito de control del motor de la banda transportadora

Para controlar la velocidad y dirección de giro del motor de la banda transportadora se seleccionó el controlador de modelo DSCD6UA, el cual se puede utilizar para motores de 6 W (1/125 HP) monofásicos de 110/115 VAC. Este componente se puede observar en la Figura 63.

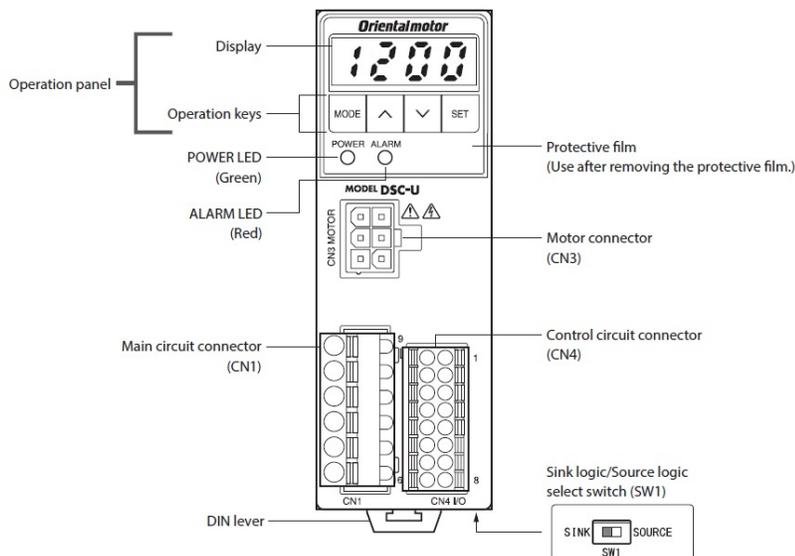


Figura 63: Controlador DSCD6UA

Como se observa en la Figura 63, existen 3 borneras o puertos de salida que son: CN1, CN3 y CN4. Donde CN1 es donde el controlador será alimentado con la etapa de potencia, CN3 corresponde al puerto donde se conecta el motor de 110 VAC y CN4 corresponde a la etapa de control.

13.2.1. Conector CN1

Este conector es el modelo FKC 2,5/ 6-ST-5,08 (Figura 64) el cual cuenta con 6 contactos distribuidos en una fila, pudiendo trabajar hasta con 320V y una corriente máxima de 12A. Permite conectar cables de calibre 24 a 12 AWG.

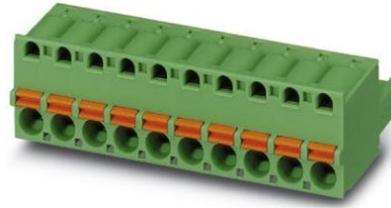


Figura 64: Conector CN1

La distribución de los contactos y componentes a conectar en este puerto se pueden observar en la Figura 65, cada uno de estos puertos son descritos de una mejor manera en la Tabla 11. Como esta es la etapa de potencia, se utilizará la caja SPCM081306T con 6 polos para la conexión interna. 26

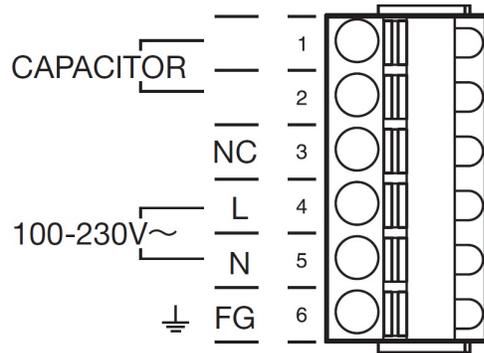


Figura 65: Distribución del puerto CN1

Pin No.	Nombre	Descripción
1	Capacitor	Conexiones para el capacitor
2		
3	N/A	Sin conexión
4	Conexión de alimentación AC	Conexión de la línea
5		Conexión de neutro
6	GND	Conexión de tierra

Tabla 11: Especificaciones del conector CN1.

13.2.2. Conector CN3

Este conector corresponde al modelo 5557-06p-210 (Molex), el cual se encarga de alimentar al motor AC con las señales necesarias para cambiar el sentido de giro, la velocidad de rotación y el voltaje de alimentación Figura [66](#). [26](#)

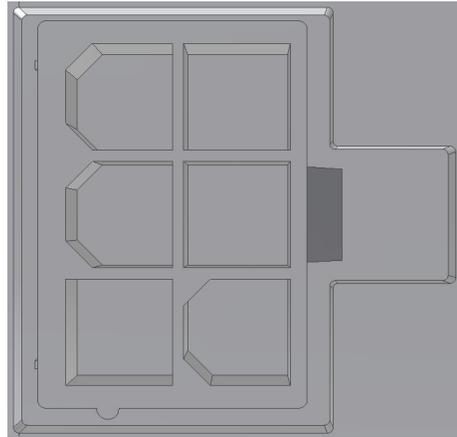


Figura 66: Conector CN3

13.2.3. Conector CN4

Este conector corresponde al modelo DFMC1,5/8-ST-3,5 (Figura [67](#)) y cuenta con una capacidad de 16 contactos distribuidos en dos filas. Pudiendo soportar un voltaje máximo de 160V y una corriente de 8A. El tipo de conexión es mediante un resorte que empuja y sujeta al cable, pudiendo conectar cables de calibre 24 a 16 AWG.

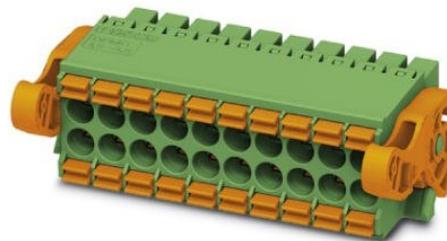


Figura 67: Conector CN4

La distribución de los contactos y componentes a conectar en este puerto se pueden observar en la Figura [68](#), cada uno de estos puertos son descritos de una mejor manera en la Tabla [12](#). [26](#)

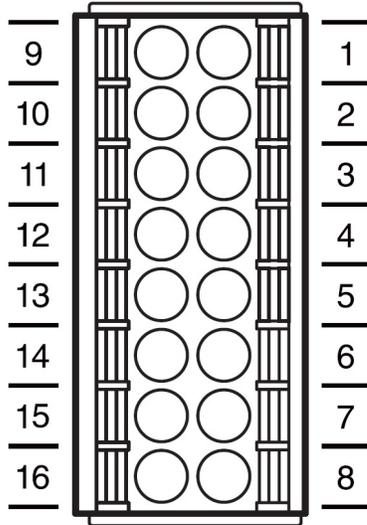


Figura 68: Distribución del puerto CN4

Pin No.	Señal	Función	Descripción
1	+24V	Proporciona la alimentación DC	Conecte la alimentación de 24VDC para el circuito de control.
2	GND		
3	IN0	[FWD]	El motor gira positivamente, mientras la señal esté en .°N".
4	IN1	[REV]	El motor gira negativamente, mientras la señal esté en .°N".
5	IN2	[M0]	Se utiliza para seleccionar los datos de operación.
6	IN3	[M1]	Se utiliza para seleccionar los datos de operación.
7	IN4	[ALARM-RESET]	Esta señal se utiliza para resetear las alarmas.
8	IN5	[FREE]	Si la entrada FREE se pone en .°N" mientras el motor está en funcionamiento, el motor se detendrá por inercia. Mientras la entrada FREE está en .°N", el motor no girará incluso si la entrada FWD o la entrada REV están en .°N".
9	VH	Entrada de configuración de velocidad	Se conectan cuando la velocidad se controla externamente con un potenciómetro o un voltaje DC externo.
10	VM		
11	VL		
12	N/A	-	Sin conectar
13	OUT0+	[Salida de Velocidad]	Emite 12 pulsos con cada revolución del eje del motor.
14	OUT0-		
15	OUT1+	[Salida de Alarma]	Emite una señal al momento de generarse una alarma.
16	OUT1-		

Tabla 12: Especificaciones del conector CN4.

13.3. Conexión del motor y controlador

Ya teniendo en cuenta el tipo de conexión y señal que tiene cada uno de los puertos, la conexión que se necesita realizar para poder controlar el motor utilizando los PLCs del laboratorio se puede observar tanto en la Figura 69, como en la Figura 70. 26

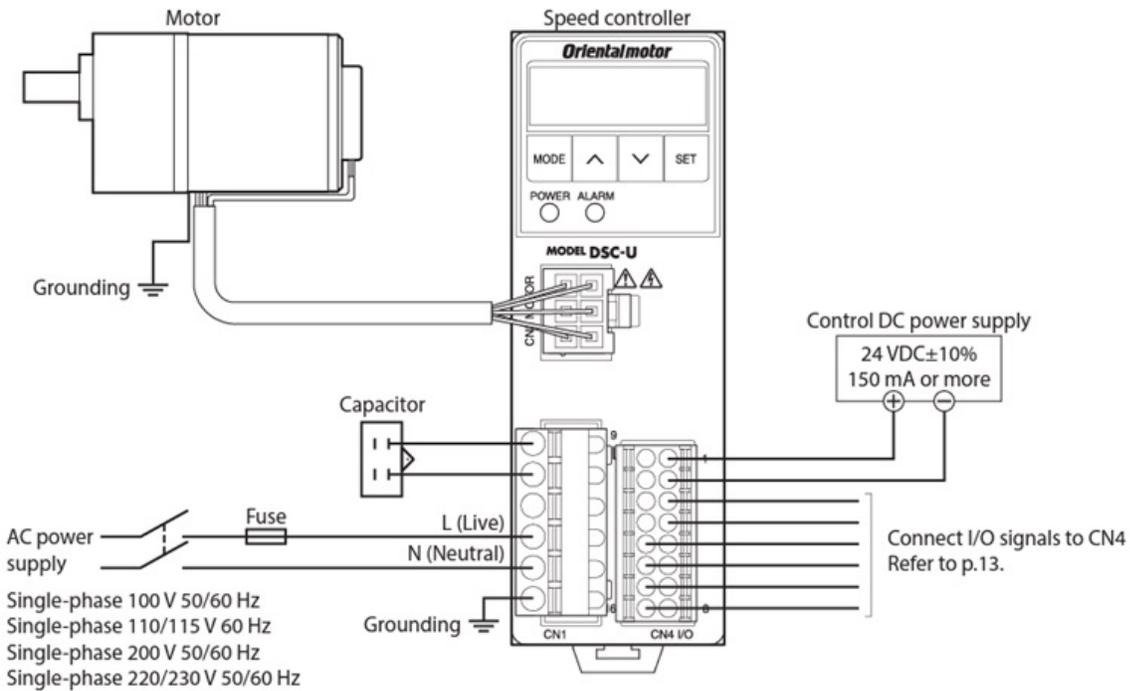


Figura 69: Circuito de conexión del motor de 110VAC

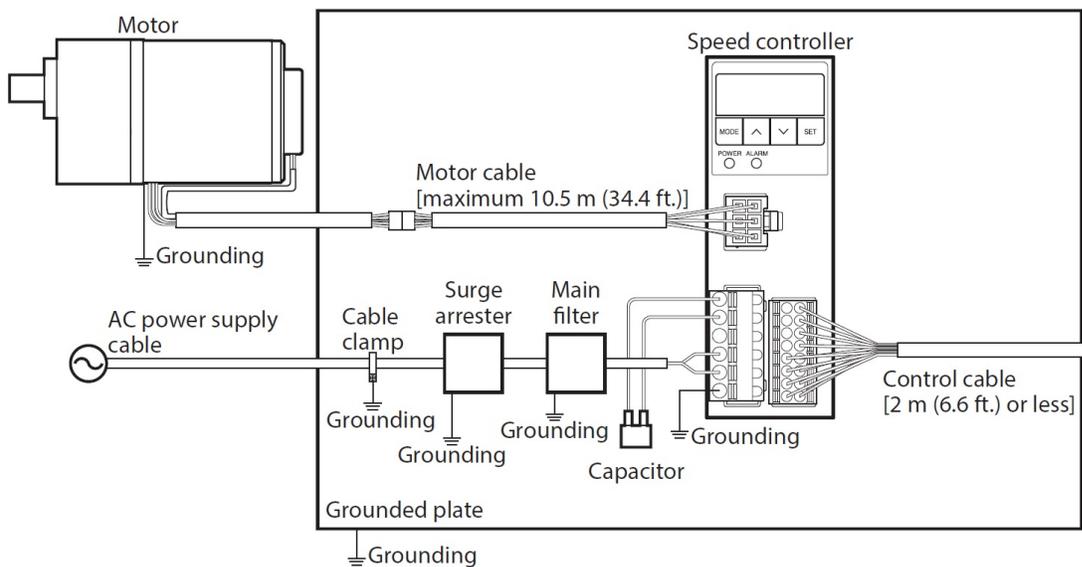


Figura 70: Circuito de conexión alternativo del motor de 110VAC

13.4. Selección de calibre de cables para la conexión eléctrica

Una parte importante del sistema eléctrico es elegir correctamente el calibre de cable que se va a utilizar para la alimentación de los distintos componentes. Se tiene el motor de la banda transportadora, el motor para el mecanismo y otros elementos como el sensor. Para lograr esto es necesario conocer ciertas características de cada uno de los componentes mencionados, como el voltaje y corriente que estos necesitan para funcionar correctamente.

En la Tabla 13 se pueden observar las especificaciones tanto de los voltajes, como de las corrientes de cada uno de los componentes necesarios para el funcionamiento de la máquina. También se pueden observar las especificaciones de las salidas digitales y analógicas del PLC Siemens.

Componente	Corriente	Voltaje
Motor (110V AC)	0.28 A	110 V
Salida Controlador (Motor 110V AC)	40 mA	24 V
Entrada Controlador (Motor 110V AC)	0.5 A	4.5 a 30 V
Salidas Digitales PLC	0.5 A	24 V
Alimentación del Sensor	40 mA	24 V
Salidas Sensor	0.1 A	24 V
Motor (24V DC)	2 A	24 V
Controlador de motor DC (24V)	0.5 A	24 V
Micro-Switch	0.5 A	24 V

Tabla 13: Cantidad de corriente necesaria por componente

Como se mencionó anteriormente la Tabla 13 contiene únicamente las especificaciones nominales de corrientes y voltajes necesarias para el funcionamiento de la máquina. Dichas especificaciones necesitan ser multiplicadas por un factor de carga, el cual depende tanto del tipo de uso del componente, como del tiempo que se utilizará este mismo. Por lo tanto, el factor de carga utilizado será de 1.25, dando como resultado las nuevas especificaciones proporcionadas en la Tabla 14.

Componente	Corriente	Voltaje
Motor (110V AC)	0.35 A	110 V
Salida Controlador (Motor 110V AC)	50 mA	24 V
Entrada Controlador (Motor 110V AC)	0.625 A	4.5 A 30 V
Salidas Digitales PLC	0.625 A	24 V
Alimentación del Sensor	50 mA	24 V
Salidas Sensor	0.125 A	24 V
Motor (24V DC)	2.5 A	24 V
Controlador de motor DC (24V)	0.625 A	24 V
Micro-Switch	0.625 A	24 V

Tabla 14: Especificaciones eléctricas con factor de carga

Además de las especificaciones eléctricas, también se necesita saber las propiedades del

conductor que se puede utilizar, estas son proporcionadas por el NEC. Sabiendo que se tienen voltajes de 110V AC y 24V DC se utilizó como referencia el rango de calibres proporcionado por el fabricante del motor y controlador de la banda transportadora (Oriental Motors), este rango va de 22 AWG a 18 AWG.

En la Tabla 15 se recompilaron las especificaciones proporcionadas por el NEC de los conductores en el rango de 24 AWG a 16 AWG. En dicha tabla se puede encontrar tanto la ampacidad, como la resistencia y el área transversal de cada uno de los calibres.

Calibre de cable (AWG)	Ampacidad	
	60°C	75°C
24	2	2
22	3	3
20	5	5
18	7	7
16	10	10

Tabla 15: Ampacidad de distintos calibres de cables eléctricos

Hay que tomar en cuenta que las propiedades físicas de los conductores dependen de distintos factores como la temperatura. Para este caso el NEC proporciona una tabla con los distintos factores que se aplican a los conductores dependiendo de la temperatura a la que se encuentra este, dichos datos se pueden encontrar en la Tabla 16.

Temperatura ambiente (°C)	Clasificación de la temperatura del conductor			Temperatura ambiente (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 o menos	1.29	1.2	1.15	50 o menos
11 - 15	1.22	1.15	1.12	51 - 59
16 - 20	1.15	1.11	1.08	60 - 68
21 - 25	1.08	1.05	1.04	69 - 77
26 - 30	1.00	1.00	1.00	78 - 86
31 - 35	0.91	0.94	0.96	87 - 95
36 - 40	0.82	0.88	0.91	96 - 104
41 - 45	0.71	0.82	0.87	105 - 113
46 - 50	0.58	0.75	0.82	114 - 122
51 - 55	0.41	0.67	0.76	123 - 131
56 - 60	-	0.58	0.71	132 - 140
61 - 65	-	0.47	0.65	141 - 149
66 - 70	-	0.33	0.58	150 - 158
71 - 75	-	-	0.50	159 - 167
76 - 80	-	-	0.41	168 - 176
81 - 85	-	-	0.29	177 - 185

Tabla 16: Factor de temperatura para ampacidad

Teniendo en cuenta el factor de temperatura con una temperatura ambiente en el rango de 21°C a 25°C , se calculó la nueva ampacidad para cada una de los conductores, esto se puede observar en la Tabla [17](#).

Calibre de cable (AWG)	Ampacidad	
	60°C	75°C
24	2.16	2.10
22	3.24	3.15
20	5.40	5.25
18	7.56	7.35
16	10.80	10.50

Tabla 17: Ampacidad modificada por el factor de temperatura

Con la nueva ampacidad, se determinó el calibre del conductor necesario para soportar la corriente eléctrica para cada uno de los componentes, dicha elección se encuentra en la Tabla [18](#).

Componente	Calibre (AWG)
Motor (110V AC)	18
Salida Controlador (Motor 110V AC)	20
Entrada Controlador (Motor 110V AC)	24
Salidas Digitales PLC	24
Alimentación del Sensor	24
Salidas Sensor	24
Motor (24V DC)	24
Controlador de motor DC (24V)	24
Micro-Switch	24

Tabla 18: Selección de calibres de cables

Para corroborar que la elección del calibre es la correcta, se procedió a determinar la caída de voltaje que se iba a generar en cada uno de los conductores. Esto se realizó mediante la resistencia que tendría cada uno de estos, dependiendo de su área transversal y la longitud de cada una de las conexiones. Ya que lo que se espera es no tener una caída exponencial de voltaje entre el emisor y el receptor de la señal. Para esto las distancias de las conexiones se encuentran en la Tabla [19](#) y el cálculo de la caída de voltaje en la Tabla [20](#).

Componente	Distancia
Motor (110V AC)	0.807 m
Salida Controlador (Motor 110V AC)	0.741 m
Entrada Controlador (Motor 110V AC)	0.741 m
Alimentación del Sensor	1.189 m
Salidas Sensor	1.189 m
Motor (24V DC)	1.895 m
Controlador de motor DC (24V)	1.158 m
Micro-Switch	1.380 m

Tabla 19: Distancia de conexiones eléctricas

Componente	Voltaje	ΔV	%
Motor (110V AC)	110	0.01	0.01
Salida Controlador (Motor 110V AC)	24	1.28	5.33
Entrada Controlador (Motor 110V AC)	24	0.04	0.17
Alimentación del Sensor	24	5.30	22.09
Salidas Sensor	24	0.01	0.06
Motor (24V DC)	24	0.21	0.88
Controlador de motor DC (24V)	24	0.06	0.27
Micro-Switch	24	0.08	0.32

Tabla 20: Caída de voltaje

13.5. Selección de terminales de conexión

Para poder realizar las conexiones eléctricas en las cajas de distribución se seleccionaron terminales acordes a los bornes. Las terminales de anillo (Figura 71) son para las conexiones internas de la máquina, ya que son conexiones fijas. Las terminales abiertas (Figura 72) son para las conexiones provenientes del PLC, ya que estas son más fáciles de quitar y colocar en la caja de distribución.



Figura 71: Terminal RV

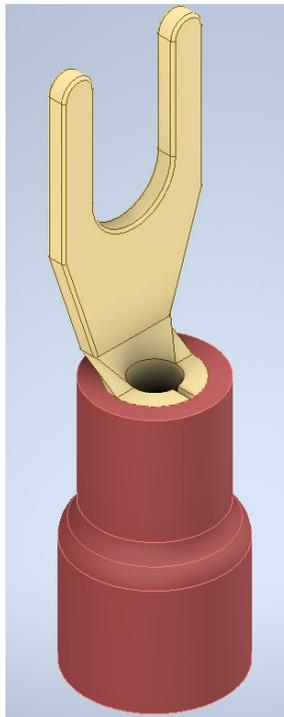


Figura 72: Terminal SV

13.6. Caja de distribución eléctrica

Como se mencionó anteriormente la caja seleccionada para realizar la distribución eléctrica del control de la máquina es el modelo SPCM181808T. Este cuenta con un máximo de distribución de conexiones equivalente a 30, para corroborar que estas son suficientes para

las conexiones, en la Tabla 21 se puede observar la cantidad necesaria de conexiones en la caja de distribución, para cada uno de los componentes.

Componente	Uso	Cantidad
Controlador de motor (110V AC)	Control	16
	Potencia	3
Mecanismo	Finales de carrera	4
	Controlador (24V)	5
Sensor	Control / Alimentación	7
Total (sin la etapa de potencia)		32

Tabla 21: Cantidad de borneras necesarias en la caja eléctrica

El total de la cantidad de conexiones necesarias (Tabla 21), está calculado sin tomar en cuenta la etapa de potencia, ya que esta estará ubicada en otra caja específica para esto. Además se tomó en cuenta la cantidad de conexiones a tierra que tiene cada componente y pensando en tener como mínimo una conexión con referencia a tierra, se generó la Tabla 22, en la cual se pueden observar la cantidad total de conexiones a tierra, divididas por componente.

Componente	Cantidad
Control (110V AC)	1
Finales de carrera	2
Controlador (24V)	1
Sensor	1
Total	5

Tabla 22: Cantidad de conexiones a tierra

Ya con la cantidad de conexiones a tierra, como las conexiones de control y tomando en cuenta que como mínimo se necesitarían al menos una conexión a tierra. Se procedió a generar la nueva cantidad de conexiones necesarias en la caja de distribución eléctrica que se puede observar en la Tabla 23.

Componente	Uso	Cantidad
Controlador de motor (110V AC)	Control	16
	Potencia	3
Mecanismo	Finales de carrera	4
	Controlador (24V)	5
Sensor	Control / Alimentación	7
Total (sin la etapa de potencia)		30

Tabla 23: Cantidad modificada de borneras necesarias en la caja eléctrica

Estas 30 conexiones necesarias, nos indican el mínimo que debe de poseer la caja de distribución para funcionar, tomando en cuenta un único borne de conexión a tierra para el

control de la máquina. En la Tabla 24 se pueden observar dos modelos similares de cajas de distribución, con el máximo número de bornes en cada una de ellas.

Modelo	Bornes Máx.
SPCM131806T	27
SPCM181808T	30

Tabla 24: Cantidad bornes en las cajas de distribución

De esta manera se puede corroborar que el modelo de caja SPCM181808T cumple con la cantidad de conexiones necesarias para el funcionamiento de la máquina, incluso con una conexión de tierra general para los componentes.

14.1. Análisis de esfuerzos de la estructura

Para saber si la estructura sería la adecuada para soportar todo el peso de la banda y los otros componentes de la máquina, se procedió a realizar un análisis de esfuerzos, dependiendo de las fuerzas ejercidas por el peso de todos los componentes y los frascos. El primer paso fue hacer el análisis de tensión de Von Mises para ver si la estructura soportará (Figuras 74 y 73).

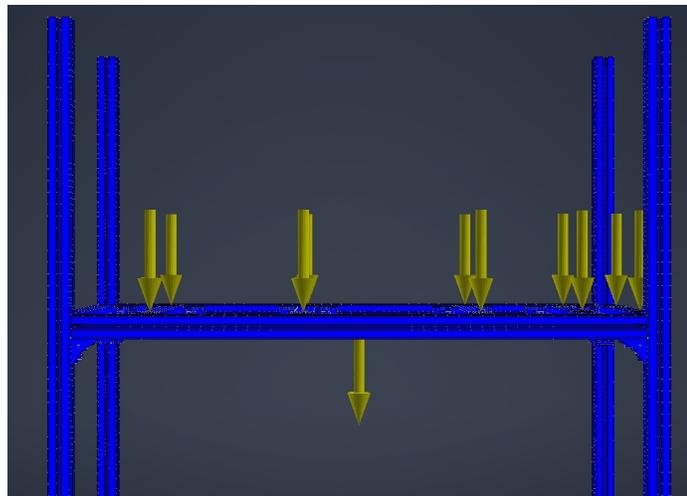


Figura 73: Distribución de fuerzas sobre la mesa

En los resultados tenemos un esfuerzo máximo de 25.51 MPa. En las propiedades me-

cánicas del aluminio tenemos que soporta un valor máximo de 70 MPa, por lo tanto la estructura está a un 36.42% de su capacidad máxima (Figura 74).

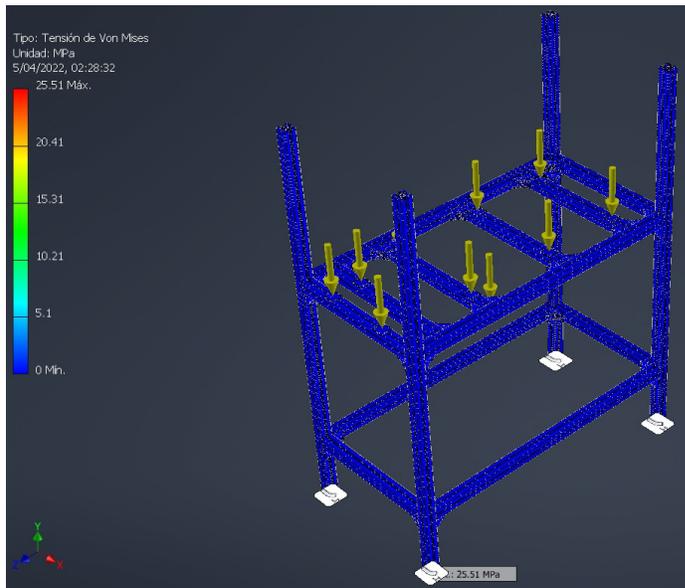


Figura 74: Esfuerzos máximos de Von Mises

Al realizar el análisis de tensión en el ensamble se obtuvo un valor máximo de 10.84 MPa, que corresponde al 15.5% de la capacidad máxima (Figura 75).

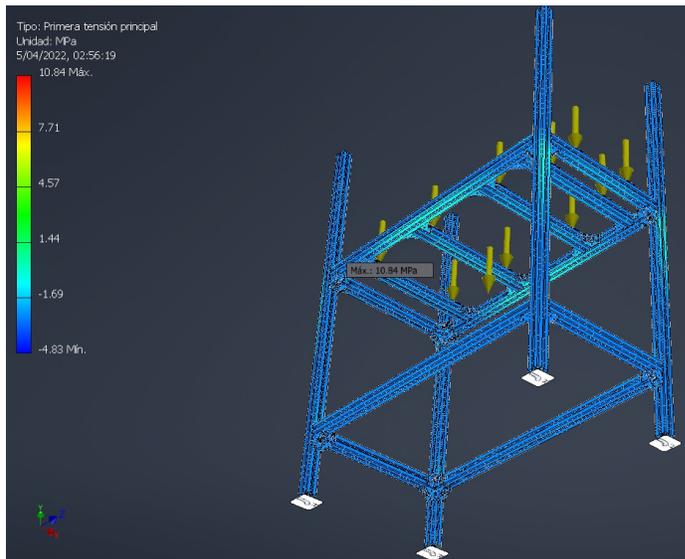


Figura 75: Análisis de tensión en la estructura

También se analizó la presión por contacto que puede existir en la estructura, dando un valor máximo de 27.74 MPa, equivalente al 39.6% de la capacidad del material (Figura 76).

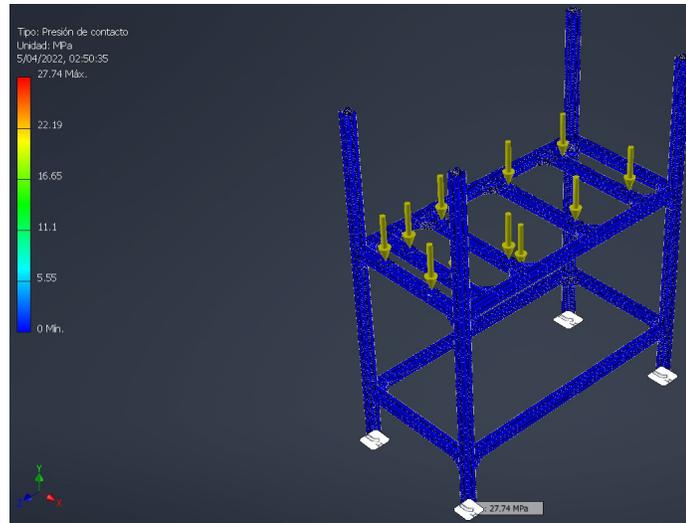


Figura 76: Análisis de presión por contacto

14.2. Análisis de esfuerzos para la bandeja

Luego de corroborar que la estructura principal de la máquina es lo suficientemente fuerte, para soportar su propio peso y el de todos los componentes, se procedió a analizar la rampa y bandeja donde estarían los frascos llenos. Realizando nuevamente con el esfuerzo de Von Mises (Figura 77).

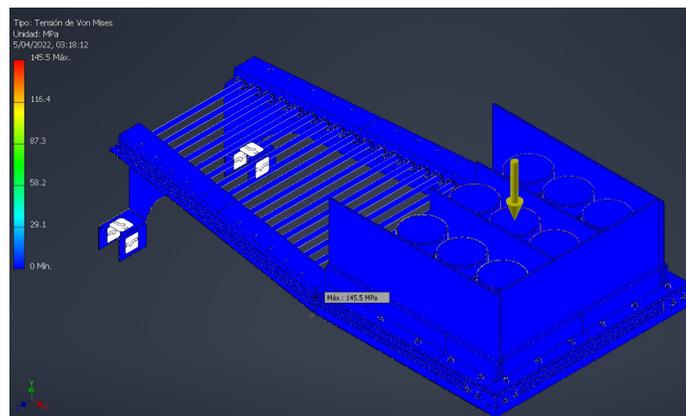


Figura 77: Tensión de Von Mises para la bandeja

14.3. Modelado de conexiones eléctricas

Para poder ver las conexiones eléctricas en el diseño CAD, se utilizó Autocad Electrical, por su versatilidad de exportar componentes y conexiones de un plano eléctrico a Autodesk Inventor. De esta manera se puede observar cómo serían las conexiones y la distribución al ensamblar la máquina.

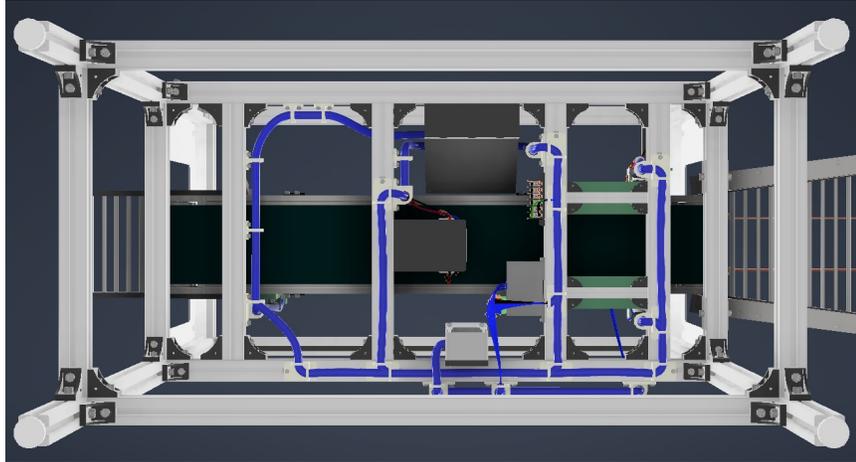


Figura 78: Vista inferior del cableado

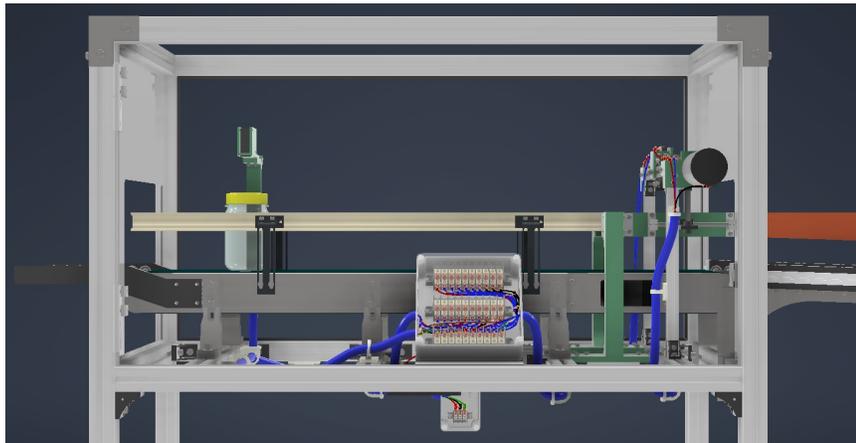


Figura 79: Vista frontal del cableado

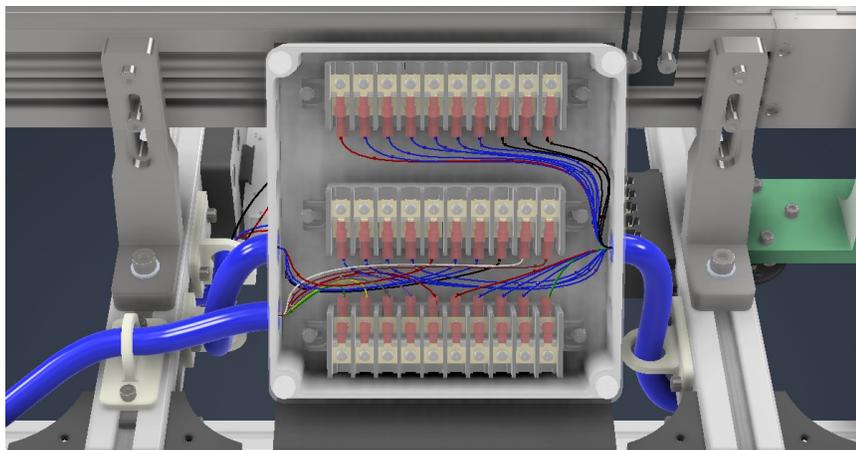


Figura 80: Distribución de conexiones en SPCM181808T

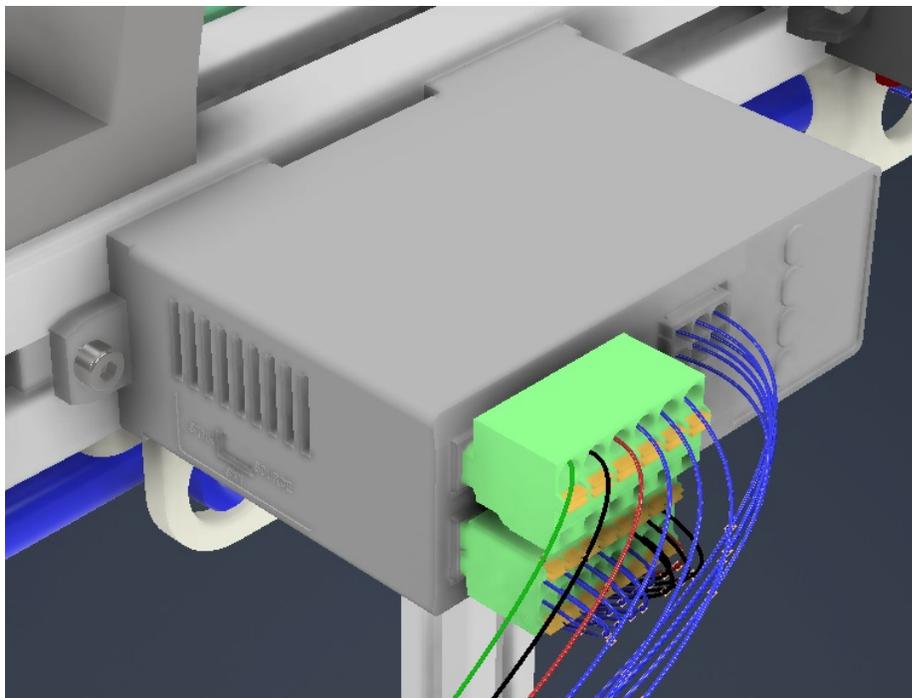


Figura 81: Cableado de controlador DSCD6UA

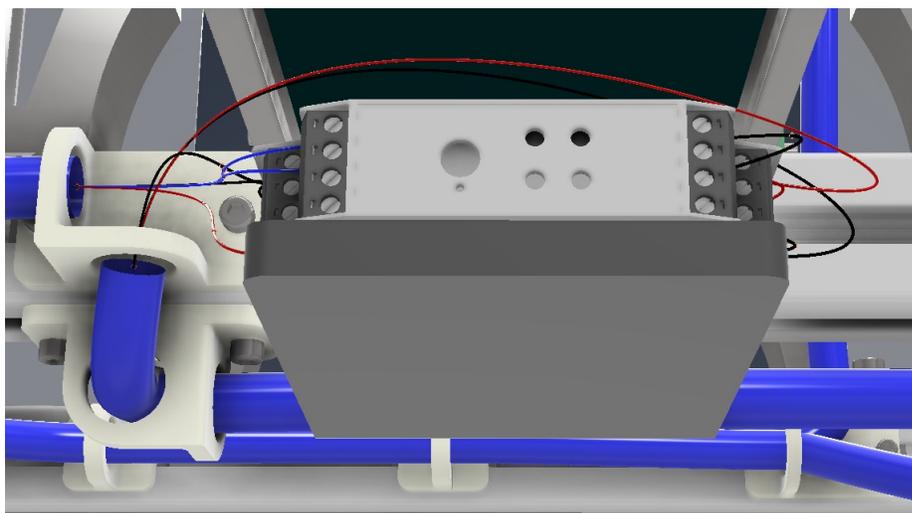


Figura 82: Cableado de controlador BMD-20DIN

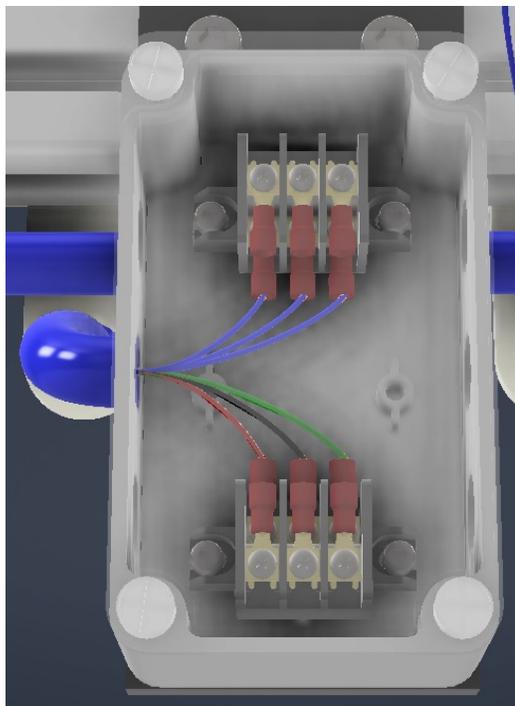


Figura 83: Distribución de conexiones en SPCM081306T

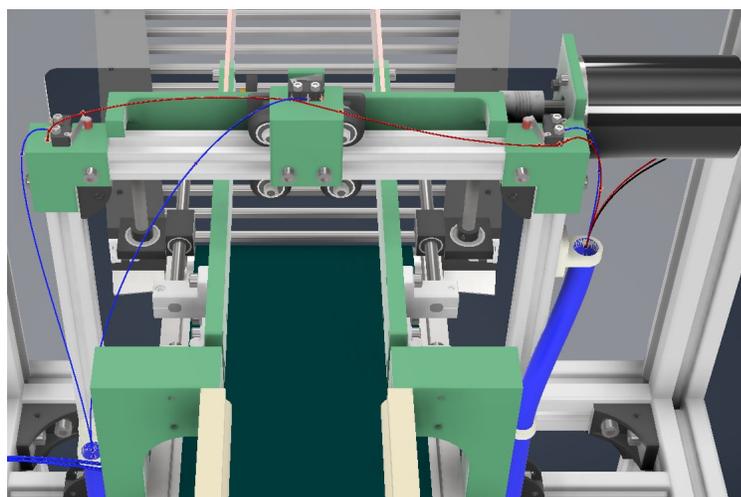


Figura 84: Cableado de mecanismo de clasificación

14.4. Ensamble final de la máquina

El ensamble final de la máquina cuenta con cada uno de los componentes tanto prefabricados, como diseñados a medida para el funcionamiento óptimo de esta.

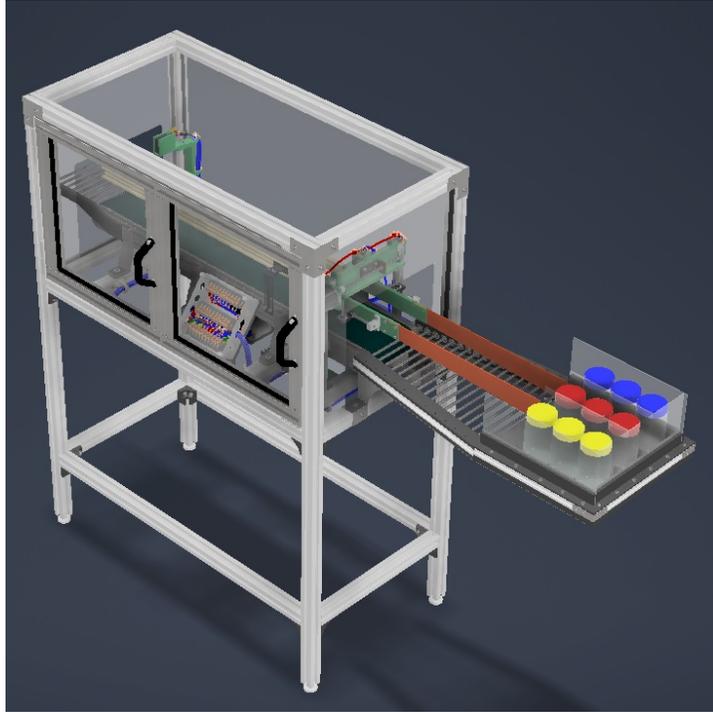


Figura 85: Estado actual de la máquina

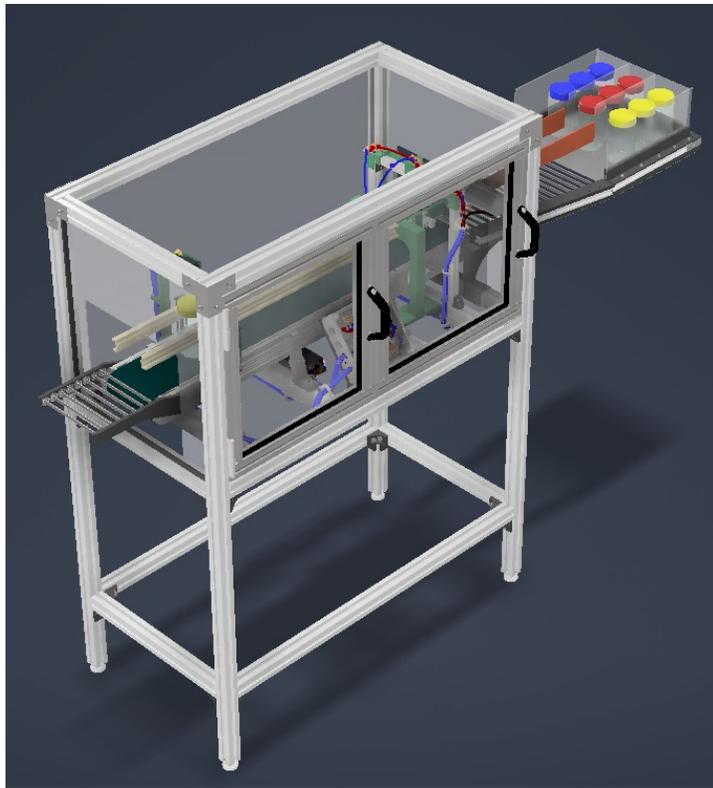


Figura 86: Estado actual de la máquina

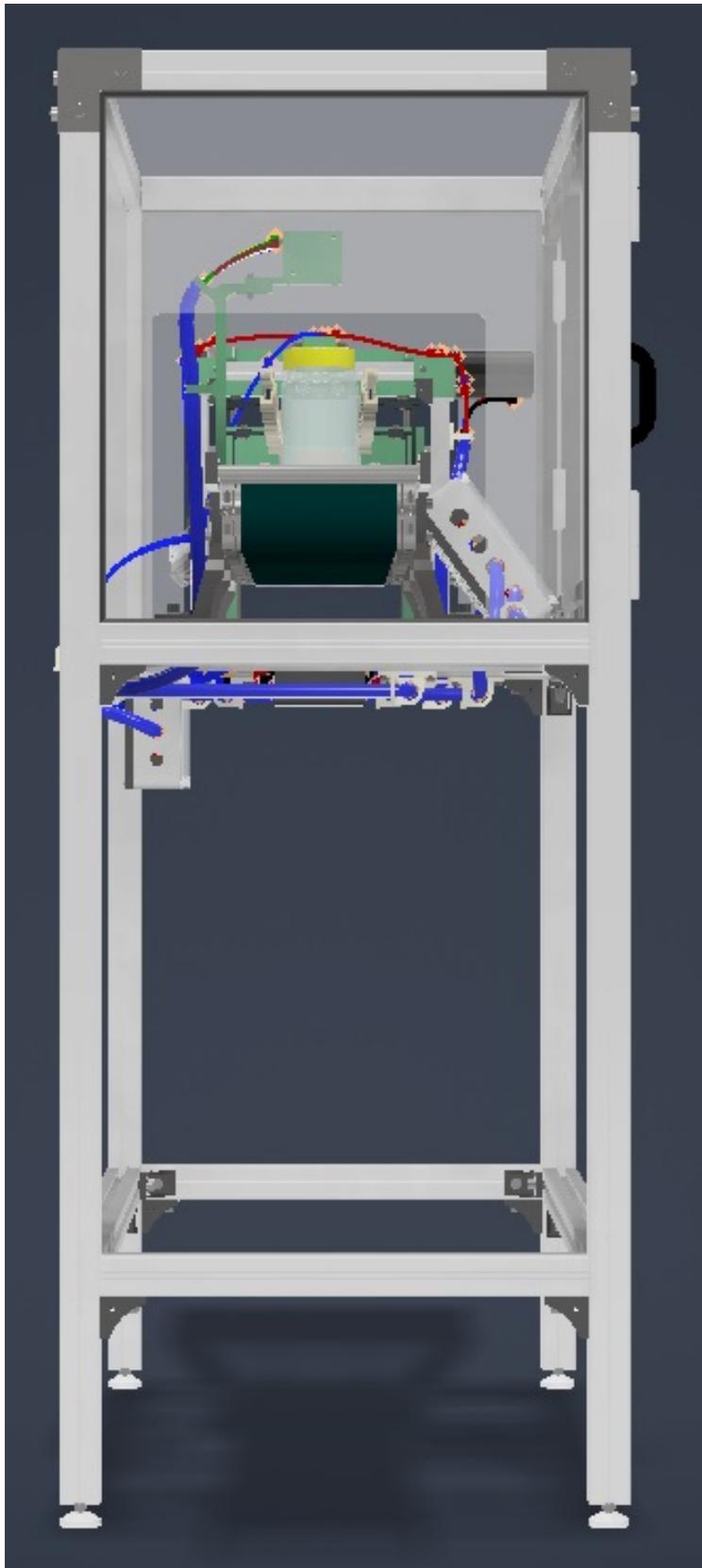


Figura 87: Estado actual de la máquina

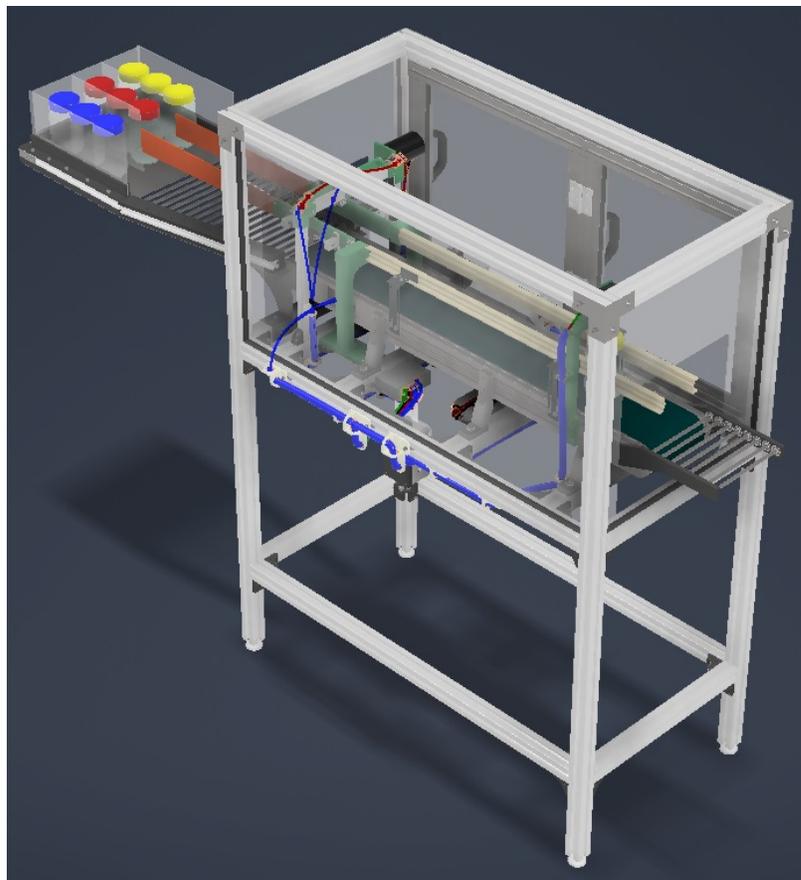


Figura 88: Estado actual de la máquina

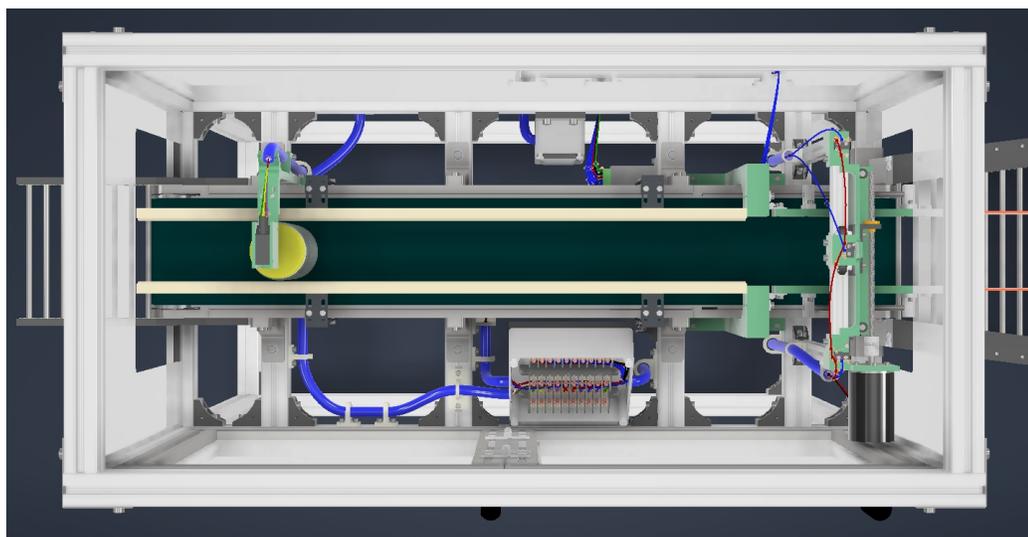


Figura 89: Estado actual de la máquina

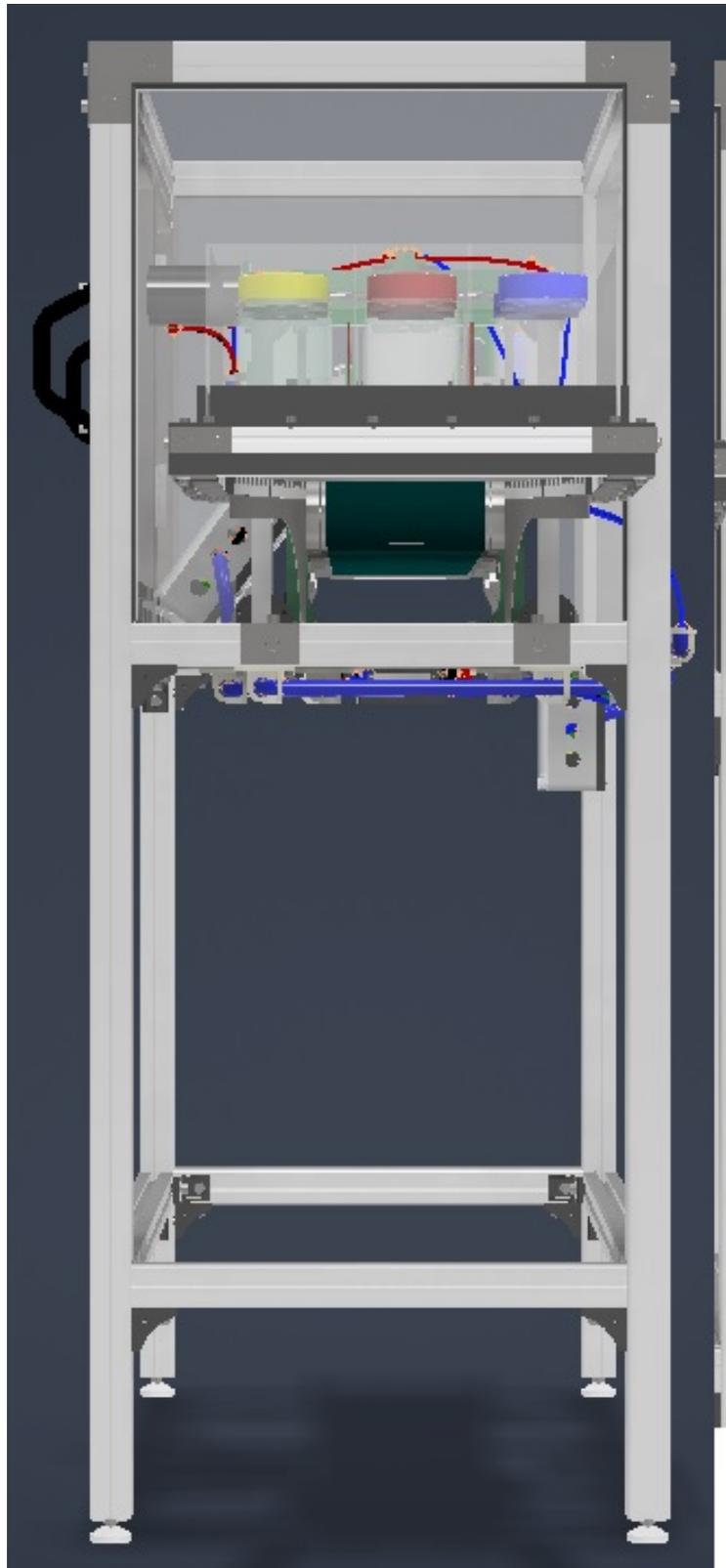


Figura 90: Estado actual de la máquina

- Los componentes fueron seleccionados por su compatibilidad de poder trabajar con los PLCs que posee el laboratorio de automatización industrial. Se trabajó con la banda transportadora CVSMA-150-1000-6-TA220-SCM-15-H-B de Misumi, con el fin de aprovechar la versatilidad de adaptarse a distintas estructuras y componentes. El diseño estructural de la máquina se basa en utilizar extrusiones de aluminio de 40x40, las cuales facilitan hacer modificaciones y mejoras al diseño.
- El diseño asistido por computadora se dividió en cinco clasificaciones: estructura principal, banda transportadora, cabina de seguridad, sistema de clasificación y la bandeja. Cada componente perteneciente a estas clasificaciones se diseñó y sometió a cálculos de esfuerzo, para asegurar que soportaran las fuerzas a las que estarían sometidos al funcionar la máquina.
- Se realizaron planos de fabricación de cada uno de los componentes diseñados, incluyendo el material propuesto para cada uno de ellos.
- En la realización del diagrama unifilar de la máquina se calculó el consumo eléctrico de cada componente y el calibre adecuado para cada conexión, así como la distribución del cableado en el modelo CAD.
- El listado de las piezas y componentes necesarios para la fabricación de la máquina, cuenta con distintos distribuidores, tanto en Guatemala, como internacionales. Por lo tanto, cuenta con la cantidad exacta de cada componente, su distribuidor y su precio.

- Para poder trabajar en cada una de las máquinas de la línea de producción se necesita de conocimiento en tres áreas principales:
 - **Instalaciones eléctricas:** Se necesitan conocimientos básicos de la utilización del NEC, para calcular los calibres de cables adecuados al consumo de cada componente. Además de conocimiento necesario de normas para la realización de los planos eléctricos de la máquina.
 - **Automatización industrial:** Como la máquina está diseñada para el uso en el laboratorio de automatización industrial, que trabajan con PLCs, se debe de tener conocimiento acerca del funcionamiento de estos, métodos de comunicación, entradas y salidas, cómo límites físicos y eléctricos de los PLCs del laboratorio.
 - **Diseño asistido por computadora:** Para trabajar con el diseño CAD de esta máquina se necesita saber diseñar pieza, ensambles y restricciones en Autodesk Inventor, como trabajar Autocad Electrical. Para poder vincular y trabajar simultáneamente el diseño mecánico y eléctrico de la máquina.
 - **Diseño mecánico:** La gran mayoría de los componentes diseñados y seleccionados, necesitan de un análisis de esfuerzos, donde se toma en cuenta Von Mises, análisis de flexión, compresión. También se necesita tener conocimiento básico de las propiedades mecánicas de los materiales y fabricación de las piezas diseñadas.
- En el diseño del buffer y la rampa para la bandeja de los frascos clasificados, se utilizaron varillas de 8mm de acero. Como el costo de esas varillas se puede elevar demasiado se puede buscar un sustituto, se puede optar por varillas impresas o de otro material. Esto puede realizarse ya que las varillas no tienen que soportar muchos esfuerzos de flexión. Incluso se puede encontrar una alternativa en el uso de materiales autolubricados como el NYLAMID, lo cual eliminaría la necesidad de utilizar rodamientos 608zz.
- La máquina fue diseñada para permanecer en el laboratorio, si se desea agregar un mecanismo de desplazamiento con ruedas para exposiciones. Se puede aprovechar el perfil en T de las extrusiones de aluminio para diseñar un mecanismo que se deslice a

lo largo del perfil. Esto con el fin de que no se afecte la estabilidad de la máquina al permanecer en su lugar.

- Al diseñar la rampa y bandeja de clasificación, no se podía diseñar con las medidas que la siguiente máquina necesitaría. Aquí se podría aumentar la cantidad de frascos, la altura a la que está ubicada la bandeja o utilizar otro material para las divisiones.
- El sensor escogido es el modelo 45CLR-5JPC2-D8 de Allen-Bradley, el cual cuenta con 3 salidas PNP y se caracteriza por ser un sensor que no cuenta con un protocolo de comunicación como tal. Existe otro modelo que es el: 45CLR-5LPS1-D8 que es más sofisticado y necesita del protocolo RS-485 para comunicarse con el PLC.

Como las conexiones del sistema de control están en la caja de distribución eléctrica, se puede explorar la opción de trabajar con el sensor 45CLR-5LPS1-D8. La ventaja de utilizar este sensor es que la configuración, aprendizaje, recepción y envío de información es mediante el protocolo de comunicación. Trabajando hasta con cinco canales y distintas formas de aprendizaje.

A pesar de las diferencias de comunicación de ambos sensores, estos tienen las mismas dimensiones físicas y el mismo puerto de conexión eléctrica, variando en el uso de cada una de las conexiones. Facilitando la opción de optar por otro modelo.

- La idea principal del diseño del mecanismo de clasificación es tener listos los frascos para una siguiente etapa. Se puede explorar otro tipo de mecanismo, como lo puede ser tener actuadores lineales a lo largo de la banda transportadora. Estos desplazarían lateralmente a los frascos, los cuales caerían en una rampa distinta dependiendo de su color, esta puede diseñarse para terminar en el frente de la máquina y existan distintas bandejas para cada clasificación.
- Para el mantenimiento de la máquina se recomienda mantener buena lubricación en las piezas móviles. Como las bisagras del mecanismo de clasificación y la puerta de la cabina de seguridad, también revisar los cojinetes del mecanismo de clasificación y la rampa.
- Para una siguiente máquina en la línea de producción, se puede considerar un módulo *pick and place* que pueda distribuir los frascos clasificados a otro módulo para etiquetarlos o empacarlos.

- [1] Festo, *Estaciones MPS*, 2021. dirección: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/automatizacion-de-fabricas-e-industria-4.0/modulos-de-la-fabrica-para-la-ensenanza/estaciones-mps/?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjIwLjYwNg&page=1&offset=0&showitems=128>.
- [2] J. Castillo y M. Garcia, *Automatismos industriales*, ép. Ciclos Formativos. Editorial Editex, 2009, ISBN: 9788497715348. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=PargwAEACAAJ>.
- [3] J. Balcells, J. L. Romeral y J. L. R. Martinez, *Autómatas programables*. Marcombo, 1997, vol. 1089.
- [4] E. M. Pérez, J. M. Acevedo y C. F. Silva, *Automatas programables y sistemas de automatizacion/PLC and Automation Systems*. Marcombo, 2009.
- [5] S. I. T. Connect, S. T. C. TPA y D. Drawings, “Programmable Logic Controllers S7-300 Module Data,” 2004.
- [6] A. C. Solé, *Instrumentación industrial*. Marcombo, 2010.
- [7] MISUMI, *GFS8-4040*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3rpT034>.
- [8] —, *HBLFSNF8-C-SST*, 2022. dirección: <https://bit.ly/2ZeaHYf>.
- [9] —, *HNTTSS8-8*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3uG0PDI>.
- [10] —, *HNTAJ8-8*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3xsiLUB>.
- [11] —, *HNTAP8-5*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3JIIytA>.
- [12] O. Builds, *V-Slot 20x20 Linear Rail*, 2022. dirección: <https://openbuildspartstore.com/v-slot-20x20-linear-rail/>.
- [13] G. Digital, *Industrial Combination*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3oqc7Yy>.
- [14] O. Builds, *V-Slot Gantry Kit 20mm*, 2022. dirección: <https://openbuildspartstore.com/v-slot-gantry-kit-20mm/>.
- [15] MISUMI, *136-ST-40-40-C*, 2022. dirección: <https://bit.ly/30kgoVr>.
- [16] G. Digital, *608 ZZ*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3KXQPvv>.

- [17] L. Electrónica, *Cojinete Lineal LM8UU*, 2022. dirección: <https://bit.ly/2YI9Ajq>.
- [18] MISUMI, *HFS5-2020-452*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3JFyuBG>.
- [19] —, *HHUA8L-AC3-980-500*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3roJBJ3>.
- [20] —, *HSCP7H-B-6*, 2022. dirección: <https://bit.ly/3rrA3wZ>.
- [21] T. E. Enclosure, *Dust Proof Polycarbonate Box, SPCM Model*, 2022. dirección: <https://www.takachi-enclosure.com/products/SPCM>.
- [22] —, *SPCM181808T*, 2022. dirección: <https://www.takachi-enclosure.com/assets/attachments/images/SPCM181808T.pdf>.
- [23] —, *Terminal Block - STB series*, 2022. dirección: <https://www.takachi-enclosure.com/products/STB>.
- [24] —, *SPCM081306T*, 2022. dirección: <https://www.takachi-enclosure.com/assets/attachments/images/SPCM081306T.pdf>.
- [25] O. Motor, *SCM26UA-15A / DSCD6UA*, 2022. dirección: <https://catalog.orientalmotor.com/item/dsc-series-ac-speed-control-motors/6w-dsc-speed-control-motors/scm26ua-15a-dscd6ua>.
- [26] —, *AC Speed Controller - DSC Series*, 2022. dirección: <https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/opmanuals/HP-5075-5E.pdf>.
- [27] D. Reyes, *Anexos del trabajo de graduación*, 2022. dirección: <https://sites.google.com/view/maquina-clasificacion/p%C3%A1gina-principal>.

Tanto el diseño completo de la máquina de clasificación realizada en Autodesk Inventor, como los planos de fabricación de cada una de las piezas, los planos unifilares realizados en Autocad Electrical y la lista completa de cada uno de los componentes (con link directo al distribuidor), como archivos complementarios, se encuentran en un repositorio online.



Figura 91: Código QR de la base de datos. [27](#)

