

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de módulo almacenador para una línea de producción  
con fines didácticos**

Trabajo de graduación presentado por Edgar René Ramírez Gonzalez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,

2020



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Diseño de módulo almacenador para una línea de producción  
con fines didácticos**

Trabajo de graduación presentado por Edgar René Ramírez Gonzalez  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,

2020



Vo.Bo.:



(f) \_\_\_\_\_  
MAEB. Otto Girón

Tribunal Examinador:



(f) \_\_\_\_\_  
MAEB. Otto Girón



(f) \_\_\_\_\_  
MSc. Carlos Esquit



(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Kurt Kellner

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de Junio de 2020.



<b>Lista de figuras</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>XIV</b>
<b>Resumen</b>	<b>XV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1. Máquina empacadora . . . . .	3
2.2. FarmBot . . . . .	4
2.3. Impresoras 3D . . . . .	5
2.4. Control Numérico Computarizado - CNC . . . . .	5
<b>3. Justificación</b>	<b>7</b>
<b>4. Objetivos</b>	<b>9</b>
4.1. Objetivo general . . . . .	9
4.2. Objetivos específicos . . . . .	9
<b>5. Alcance</b>	<b>11</b>
<b>6. Marco teórico</b>	<b>13</b>
6.1. Automatización Industrial . . . . .	13
6.2. Línea de producción . . . . .	14
6.3. Instrumentación electrónica . . . . .	14
6.4. PLC . . . . .	15
6.5. Mecanismo piñón cremayera . . . . .	16
6.6. Motores eléctricos . . . . .	16
6.7. Servomotores AC . . . . .	17
6.7.1. Servomotores AC R88M-G de la marca OMRON . . . . .	17
6.7.2. Servo Driver SMARTSTEP-2 R88M-G/R7D-BP de la marca OMRON . . . . .	20

6.8.	Motores paso a paso(Stepper) . . . . .	22
6.8.1.	Unipolares . . . . .	22
6.8.2.	Bipolares . . . . .	23
6.9.	Motor paso a paso NEMA 23 . . . . .	23
6.10.	Encoder . . . . .	25
6.11.	Sistemas de agarre y colocación ( <i>Pick and Place</i> ) . . . . .	25
6.12.	Mecanismos de agarre: garra(gripper) . . . . .	26
6.12.1.	Tipos de pinzas y garras de sujeción . . . . .	27
6.12.2.	Tipos de accionamiento de pinzas y garras . . . . .	28
6.13.	Efecto Venturi . . . . .	29
6.13.1.	Tobera Venturi . . . . .	29
6.14.	Vacuómetro . . . . .	31
6.15.	Válvulas . . . . .	31
<b>7.</b>	<b>Diseño mecánico</b>	<b>33</b>
7.1.	Definición de propuesta . . . . .	33
7.2.	Montajes . . . . .	34
7.2.1.	Versión 1 . . . . .	34
7.2.2.	Versión 2 . . . . .	34
7.2.3.	Versión 3 . . . . .	35
7.2.4.	Versión 4 . . . . .	35
7.2.5.	Versión 5 - Final . . . . .	36
7.3.	Objeto a manipular . . . . .	37
7.4.	Garra . . . . .	38
7.4.1.	Versión 1 . . . . .	38
7.4.2.	Versión 2 . . . . .	39
7.4.3.	Versión 3 . . . . .	40
7.4.4.	Versión 4 - Final . . . . .	41
7.4.5.	Versión gripper de vacío - Final . . . . .	42
7.5.	Recibidor . . . . .	43
7.5.1.	Versión 1 . . . . .	43
7.5.2.	Versión 2 - Final . . . . .	44
7.6.	Base de bandeja . . . . .	45
7.6.1.	Versión 2 - Final . . . . .	46
7.7.	Movimiento eje x y eje y . . . . .	47
7.7.1.	Versión 1 . . . . .	47
7.7.2.	Versión 2 . . . . .	48
7.7.3.	Versión 3 . . . . .	48
7.8.	Movimiento eje z . . . . .	50
7.9.	Mecanismos de movimiento eje X, Y y Z - Final . . . . .	51
7.9.1.	Eje X: . . . . .	53
7.9.2.	Eje Y: . . . . .	54
7.9.3.	Eje Z: . . . . .	54
7.10.	Especificaciones técnicas del diseño, versión 3 . . . . .	56
7.10.1.	Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento eje X y Y . . . . .	56
7.10.2.	Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento Z . . . . .	57
7.10.3.	Eficiencia del módulo . . . . .	60
7.11.	Especificaciones técnicas del diseño, versión final . . . . .	62

7.11.1. Descripción y características de los componentes utilizados . . . . .	62
7.11.2. Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento de ejes X, Y y Z . . .	67
7.11.3. Análisis estructural . . . . .	72
7.11.4. Validación gripper de vacío . . . . .	74
<b>8. Análisis de costos</b>	<b>77</b>
8.0.1. Componentes - Versión 1 . . . . .	77
8.1. Componentes - Versión final . . . . .	83
<b>9. Sistema eléctrico</b>	<b>85</b>
9.1. Primera versión . . . . .	85
9.1.1. Entradas y salidas del sistema . . . . .	85
9.1.2. PLC . . . . .	86
9.1.3. Servomotor . . . . .	87
9.1.4. Motor DC . . . . .	88
9.1.5. Servomotor AC . . . . .	89
9.2. Versión final . . . . .	91
9.2.1. Entradas y salidas del sistema . . . . .	91
9.2.2. PLC . . . . .	91
9.2.3. Motor paso a paso . . . . .	95
9.2.4. Driver de motor paso a paso M542 . . . . .	96
9.2.5. Motor DC . . . . .	100
9.2.6. Conexiones del sistema completo para mecanismos de movimiento . .	100
9.3. Sistema neumático para gripper de ventosa . . . . .	102
9.3.1. Electroválvula 5-2 . . . . .	102
9.3.2. Tobera de vacío venturi . . . . .	102
9.3.3. Ventosa . . . . .	103
9.3.4. Vacuómetro . . . . .	104
9.3.5. Conexión completa del sistema neumático para gripper de ventosa . .	105
<b>10. Impacto didáctico</b>	<b>107</b>
<b>11. Conclusiones</b>	<b>111</b>
<b>12. Recomendaciones</b>	<b>113</b>
<b>13. Bibliografía</b>	<b>115</b>
<b>14. Anexos</b>	<b>117</b>



---

## Lista de figuras

---

1.	Montaje de Farmbot Genesis . . . . .	4
2.	Ejemplo de una impresora 3D comercial. . . . .	5
3.	Ejemplo de una CNC comercial. . . . .	6
4.	Concepto general de un sistema instrumental. . . . .	14
5.	Estructura básica de un sistema electrónico de instrumentación. . . . .	15
6.	Mecanismo piñón cremayera . . . . .	16
7.	Datos de torque y velocidad de rotación. . . . .	18
8.	Especificaciones de medidas para Cuadro 2. . . . .	19
9.	Servomotor R88M-G y servo driver SMARTSTEP R88M-G/R7D-BP de la marca OMRON. . . . .	21
10.	Motor paso a paso NEMA 23. . . . .	24
11.	Medidas de motor paso a paso NEMA 23. . . . .	25
12.	Diagrama de funcionamiento de Tobera Venturi. . . . .	29
13.	Diagrama de funcionamiento de Tovera Venturi con ventosa. . . . .	30
14.	Diseño montaje versión 1 . . . . .	34
15.	Diseño montaje versión 2 . . . . .	34
16.	Diseño montaje versión 3 . . . . .	35
17.	Diseño montaje versión 4 . . . . .	35
18.	Diseño montaje versión 5, vista aerea. . . . .	36
19.	Diseño montaje versión 5 frontal. . . . .	37
20.	Objeto a manipular. . . . .	37
21.	Objeto a manipular en bandas. . . . .	38
22.	Diseño gripper versión 1 . . . . .	38
23.	Diseño gripper físico versión 1 . . . . .	39
24.	Diseño gripper versión 2 . . . . .	39
25.	Diseño gripper físico versión 2 . . . . .	40
26.	Diseño gripper versión 3 . . . . .	40
27.	Diseño gripper físico versión 3 . . . . .	41
28.	Diseño gripper versión final. . . . .	41
29.	Diseño gripper final vista 2. . . . .	42
30.	Diseño gripper de succión final. . . . .	42

31.	Diseño gripper de succión, montado en el diseño. . . . .	43
32.	Diseño de recibidor versión 1 . . . . .	44
33.	Diseño de recibidor versión final implementado en el diseño. . . . .	44
34.	Diseño de recibidor versión final. . . . .	45
35.	Diseño de base de bandeja versión 1. . . . .	45
36.	Diseño de base de bandeja versión 1. . . . .	46
37.	Diseño de base de bandeja versión final. . . . .	46
38.	Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 1. . . . .	47
39.	Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 2 . . . . .	48
40.	Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 3 . . . . .	48
41.	Perfiles de aluminio utilizados en la estructura de los mecanismos de movimiento	49
42.	Bases superiores del mecanismo de movimiento para los ejes x y y . . . . .	49
43.	Base superior impresa con PLA en impresora 3D. . . . .	50
44.	Diseño de movimiento eje z versión 1 . . . . .	50
45.	Diseño completo de mecanismos de movimiento versión final. . . . .	51
46.	Diseño de mecanismos de movimiento versión final. . . . .	52
47.	Diseño de mecanismos de movimiento versión final, vista posterior. . . . .	52
48.	Diseño de mecanismos de movimiento del eje X versión final. . . . .	53
49.	Diseño de mecanismos de movimiento del eje Y versión final. . . . .	54
50.	Diseño de mecanismos de movimiento del eje Z versión final. . . . .	55
51.	Parámetros de tornillo sin fin. . . . .	57
52.	Gráfica de tiempo vs etapa para un ciclo. . . . .	60
53.	Ejemplificación de movimiento eje Z. . . . .	61
54.	Dimensiones de perfil de aluminio 80mmx40mm. . . . .	62
55.	Dimensiones de perfil de aluminio 80mmx40mm. . . . .	62
56.	Básico funcionamiento de tornillo de bola contra tornillo convencional de rosca.	63
57.	Dimensiones de tornillo de bola, unidades en milímetros. . . . .	63
58.	Dimensiones de SFU1605. . . . .	64
59.	Eficiencia mecánica de tornillo de bola. . . . .	65
60.	Dimensiones de BK12. . . . .	65
61.	Dimensiones de BF12. . . . .	66
62.	Dimensionamiento de guías HGH20CA y riel linear HGR20. . . . .	66
63.	Indicaciones del punto cero de la máquina. . . . .	70
64.	Gráfica de tiempos vs etapa para el almacenamiento de un objeto. . . . .	72
65.	Análisis de deformación para la mesa de trabajo, aplicándole una tonelada de peso. . . . .	73
66.	Análisis de deformación aplicándole una fuerza de 981N. . . . .	74
67.	Fuerza de retención teórica horizontal. . . . .	75
68.	Perfil de aluminio 80x90cm físico y diseñado. . . . .	79
69.	Perfil de aluminio 45x45cm físico y diseñado. . . . .	79
70.	Perfil de aluminio 40x80cm físico y diseñado . . . . .	79
71.	Cojinetes lineales ensamblados y físicos. . . . .	80
72.	Motor DC 24V para movimiento eje z. . . . .	80
73.	Servomotor diseñado y físico ensamblado. . . . .	81
74.	Servo motor AC físico y diseñado. . . . .	81
75.	Servo driver AC. . . . .	82
76.	Ejes de movimiento. . . . .	82

77.	PLC que se utilizará. . . . .	86
78.	Circuito controlador de servomotor. . . . .	87
79.	Diseño de placa del circuito controlador de servomotor. . . . .	87
80.	Circuito controlador del motor DC. . . . .	88
81.	Diseño de placa del circuito controlador del motor DC. . . . .	88
82.	Conexión de Servomotor AC. . . . .	89
83.	Descripción de los puertos del servo driver. . . . .	90
84.	Conexión de servomotor AC con servo driver. . . . .	90
85.	PLC que se va a utilizar. . . . .	92
86.	Diagrama de cableado y de bloques de módulo de entradas digitales. . . . .	93
87.	Diagrama de cableado y de bloques de módulo de salidas digitales. . . . .	94
88.	Diagrama de cableado y de bloques de módulo FM353. . . . .	95
89.	Diagrama de conexiones para el motor NEMA 23. . . . .	96
90.	Imagen física del driver M542. . . . .	97
91.	DIP switch para configurar resolución del driver M542. . . . .	99
92.	Conexión típica de driver M542. . . . .	99
93.	Diagrama de conexión de los componentes electrónicos. . . . .	100
94.	Conexión del motor paso a paso NEMA 23 con Driver M542. . . . .	101
95.	Electroválvula 5/2 a utilizar, con su diagrama. . . . .	102
96.	Tobera a utilizar, con su diagrama. . . . .	103
97.	Ventosa a utilizar, con su forma redondo plano. . . . .	104
98.	Vacuómetro a utilizar, con su diagrama. . . . .	104
99.	Diagrama de conexión del sistema neumático para gripper de vacío. . . . .	105
100.	Montaje de módulo almacenador final. . . . .	109
101.	Niveladores para mesa de trabajo. . . . .	113



---

## Lista de cuadros

---

1.	Especificaciones servomotor AC. . . . .	18
2.	Especificaciones para medidas servomotor AC. . . . .	19
3.	Especificaciones generales del servo driver.[9] . . . . .	21
4.	Especificaciones de rendimiento del servo driver.[9] . . . . .	22
5.	Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje X. . . . .	53
6.	Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje Y. . . . .	54
7.	Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje Z. . . . .	55
8.	Velocidades del mecanismo dependiendo las <i>rpm</i> a las que gire el servomotor. . . . .	56
9.	Tiempos en recorrer la distancia total los mecanismos de movimiento del eje X y Y. . . . .	57
10.	Velocidad del mecanismo de movimiento del eje z dependiendo la velocidad del motor. . . . .	58
11.	Tiempos que se tarda en subir o bajar el mecanismo de movimiento del eje Z. . . . .	58
12.	Tiempos seleccionados para cada mecanismo de movimiento. . . . .	60
13.	Especificaciones de perfil de aluminio 80mmx40mm . . . . .	62
14.	Especificaciones de perfil de aluminio 80mmx80mm . . . . .	62
15.	Especificaciones de tornillo de bola, dimensiones en milímetros. . . . .	64
16.	Especificaciones de SFU1605. . . . .	64
17.	Dimensiones de BK12 en milímetros. . . . .	65
18.	Dimensiones de BJ12 en milímetros. . . . .	66
19.	Dimensiones de guía lineal HGH20CA mostrado en Figura 62, en milímetros. . . . .	67
20.	Dimensiones de riel lineal HGR20 mostrado en Figura 62, en milímetros . . . . .	67
21.	Resoluciones teóricas variando los pulsos por revolución en el driver del motor. . . . .	68
22.	Velocidades lineales teóricas variando los pulsos por segundo en el PLC. . . . .	68
23.	Velocidades lineales teóricas variando los pulsos por revolución y pulsos. . . . .	69
24.	Tiempos en que se tarda en cada etapa el mecanismo a una velocidad de $312.5mm/s$ . . . . .	71
25.	Propiedades físicas de la mesa. . . . .	73
26.	Descripción de costos de los componentes y material utilizado. . . . .	78
27.	Análisis de costos versión final . . . . .	84

28.	Entradas con su símbolo y descripción del sistema. . . . .	85
29.	Salidas con su símbolo y descripción del sistema. . . . .	86
30.	Especificaciones servomotor convencional. . . . .	87
31.	Especificaciones servomotor convencional. . . . .	88
32.	Especificaciones servomotor AC. . . . .	89
33.	Entradas con su símbolo y descripción del sistema versión final. . . . .	91
34.	Salidas con su símbolo y descripción del sistema versión final. . . . .	91
35.	Especificaciones técnicas del módulo de entradas digitales SM321. . . . .	92
36.	Especificaciones técnicas del módulo de salidas digitales SM322. . . . .	93
37.	Especificaciones técnicas del módulo FM353. . . . .	94
38.	Especificaciones técnicas de motor paso a paso NEMA 23. . . . .	96
39.	Especificaciones técnicas de driver M542. . . . .	97
40.	Descripción del primer conector del driver M542. . . . .	98
41.	Descripción del segundo conector del driver M542. . . . .	98
42.	Especificaciones técnicas de motor DC. . . . .	100
43.	Especificaciones técnicas de electroválvula 5/2. . . . .	102
44.	Especificaciones técnicas de tobera de vacío Festo VN-05-H-T2-PQ1-VQ1-RQ1.103	
45.	Especificaciones técnicas de ventosa ESG-30-SN-HD-QS. . . . .	104
46.	Especificaciones técnicas de vacuómetro VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG. . . . .	105
47.	Links de proveedores para piezas 1. . . . .	132
48.	Links de proveedores para piezas 2. . . . .	133

Se diseñó una línea de producción a pequeña escala, con fines didácticos; dicha línea se divide en 4 módulos: un sistema de recirculación de agua, un seleccionador/rechazador clasificador y una almacenadora. La parte que se desarrolló en este trabajo de graduación será el módulo de la almacenadora.

El módulo almacenador consiste en recibir diferentes objetos previamente clasificados en el módulo anterior, se reciben los objetos de tres bandas transportadoras, cada uno de ellos tiene tres diferentes pesos, pero el mismo tamaño; y se van almacenando en un contenedor por medio de un sistema *pick and place*. Para el movimiento de la garra encargada de mover las piezas, se utilizó un mecanismo que se mueva en los 3 ejes X, Y y Z con la ayuda de motores paso a paso y un diseño mecánico estructurado con perfiles de aluminio, se logró posicionar de manera adecuada las piezas. Este es el módulo final de la línea de producción. Ya teniendo el contenedor lleno, se procede a retirarlo para poder regresar las piezas al principio de la línea. El área de trabajo que se posee para el módulo es de 1.25m x 1.25m. El módulo puede almacenar a una velocidad de 11 segundos por producto tomando parámetros promedio, para llenar el contenedor de 20 productos se tardaría 3 minutos con 40 segundos.

El módulo almacenador servirá para demostrar una parte del proceso de una línea de producción para la clase de Instrumentación y Automatización Industrial, la cual le será de gran utilidad al catedrático al momento de impartir el curso. Se pueden destacar dos impactos directos que tendría la creación de esta línea de producción al curso, el primero es que al catedrático se le daría una gran cantidad de material didáctico con la que podría ampliar y ejemplificar de mejor manera sus clases, ya que cada uno de los módulos se entrega con un manual de usuario y un manual eléctrico, con los cuales se podría basar para conocer a profundidad el funcionamiento de los módulos. Y el segundo es que ya no se perdería tiempo en los laboratorios al momento de realizar las conexiones de los aparatos a utilizar, y se tendría material de primera calidad al alcance de todos.



A small-scale production line was designed for teaching purposes; this line is divided into 4 modules: a water recirculation system, a sorting/rejecting sorter and a storage unit. The part that was developed in this graduation project will be the storage module.

The storage module consists on receiving different objects that were classified in the previous module, the objects are received from three conveyor belts, each of them has three different weights, but the same size; and are stored in a container by means of a pick and place system. For the movement of the claw in charge of moving the parts, a mechanism was used that moves on the 3 axes X, Y and Z with the help of step-by-step motors and a mechanical design structured with aluminum profiles, the pieces were positioned in an appropriate way. This is the final module of the production line. Once the container is full, it is removed so that the pieces can be returned at the beginning of the line. The working area available for the module is 1.25m. The module can store at a speed of 11 seconds per product by taking average parameters, to fill the container of 20 products would take 3 minutes with 40 seconds.

The storage module will serve to demonstrate a part of the process of a production line for the Industrial Instrumentation and Automation class, which will be very useful to the professor at the time of teaching the course. Two direct impacts that the creation of this production line could have on the course can be highlighted, the first is that the professor would be given a large amount of teaching material with which he could better extend and exemplify his classes, since each one of the modules is delivered with a user manual and an electrical manual, with which it could be based to know in depth the operation of the modules. And last but not least, time would no longer be wasted in the laboratories when making the connections of the devices to be used, there would be top quality material available to everyone.



En la actualidad muchas industrias poseen procesos, herramientas ingenieriles y mecanismos que se basan en tecnologías antiguas y dependientes de recursos humanos, por lo que los vuelve susceptibles a errores o fallos en la producción. Debido a la constante evolución de la industria se ve obligada a cambiar dichos procesos para poder ser mas competitivos y poder satisfacer las necesidades que se requieren en la actualidad.

La Instrumentación y Automatización Industrial es la ciencia del control y medición automatizados. La implementación de esta ciencia es de vital importancia para poder desarrollar y fabricar nuevos productos en la industria que cada día es más exigente y competitiva. Dicha ciencia ayuda a que el producto satisfaga más las necesidades y requerimientos del consumidor, ya que el producto final tiene muchas ventajas como la velocidad de producción, mayor calidad, se posee mayor normalización, higiene, costos más bajos entre otros.

En este proyecto se plantea el diseño de una línea de producción a pequeña escala, con fines didácticos; en dicha línea se tendrán diferentes módulos que simularán el funcionamiento de una en la vida real. La línea se divide en 4 módulos: movimiento de fluidos, rechazadora, clasificadora y una almacenadora; en la cual se incluirán diversos actuadores, sensores y motores, al igual se incluirán diferentes mecanismos que se usan en la industria, como bandas transportadoras, perfiles de aluminio, tanques de agua, resbaladores, entre otros; con el fin de poder tener diferentes componentes que puedan apoyar tanto al catedrático como a los estudiantes para poder aprender acerca de diversos temas en el área de automatización.

El módulo que se desarrolló en este proyecto de graduación fue el de la almacenador; dicho modulo se diseño para que se puedan almacenar objetos previamente clasificados para colocarlos en un contenedor de manera autónoma, reduciendo a lo mínimo la intervención humana.



Para el proceso de diseño de este proyecto se tomaron en cuenta diferentes ideas y proyectos que ayudaron a estructurar de mejor manera y a darle forma a el módulo de almacenamiento de una línea de producción. Se describirá a detalle cuales fueron dichas ideas o proyectos principales que aportaron de manera significativa a la creación del diseño.

## 2.1. Máquina empacadora

El departamento de Ingeniería Electrónica nos facilitó diferentes megaproyectos relacionados a la automatización industrial que podrían ayudarnos a tomar ideas para realizar este proyecto; uno de ellos fue el Megaproyecto: *Diseño de sistema que automatice el proceso de embalaje de envases de insecticida agroquímico en una planta de producción en Guatemala, específicamente el módulo de sistema de manipulación de envases de insecticida*. En la fase I, presentaron una propuesta de diseño de un sistema que automatice el proceso de embalaje de producto terminado, según los requerimientos de la planta, ya que la línea de producción que tenía la planta, varias tareas eran realizadas por operarios, lo que limitaba la productividad de la máquina.

En la segunda fase II llamado, *Diseño de sistema que automatice el proceso de embalaje de envases de insecticida agroquímico en una planta de producción en Guatemala fase II*, de este proyecto se analizaron las propuestas y recomendaciones de la primera fase, al igual realizando una máquina empacadora de envases; pero en esta ocasión se analizó más a detalle ciertos aspectos que en la fase anterior no se habían tratado, como el sistema de armado de cajas, también se trataron los procesos que se tenían que llevar a cabo para poder construir la máquina diseñada.

El proyecto tenía planificado una fase III, pero la empresa de agroquímicos con la que se estaba trabajando, adquirió una máquina de embalaje ya fabricada, por lo que ya no se requerían las mismas necesidades en este caso, y en esta fase, que lleva por nombre, *Diseño y análisis de máquina empacadora de pesado de cajas, implementación de sistemas*

*de seguridad y dispensador de cucharas de medición*; se solicitó el diseño y análisis mecánico de una máquina empacadora con la intención de automatizar el proceso de empaquetar bolsas de productos agroquímicos sólidos en cajas para su venta. Esto tiene como intención mejorar la eficiencia de la producción para que puedan ser capaces de crear más producto en la misma cantidad de tiempo.

Terminando de resaltar y de describir a grandes rasgos cada una de las fases de estos proyectos, estos trabajos me ayudaron a darme una idea de cómo llevar a cabo un proyecto de automatización industrial, que cumpla con los requisitos y expectativas de la universidad; ya que en este caso no se consideró ninguno de los módulos diseñados y analizados.

## 2.2. FarmBot

FarmBot es un proyecto de agricultura de precisión, de código abierto que consiste en una máquina de agricultura robotizada de coordenadas cartesianas, software y documentación que incluye un repositorio de datos agrícolas. El objetivo del proyecto es crear una tecnología abierta y accesible que ayude a todos a cultivar y a cultivar alimentos para todos. FarmBot Genesis puede plantar más de 30 cultivos diferentes, en un área de 2.9 metros  $\times$  1.4 metros con una altura máxima de la planta de 0.5 metros. Puede cultivar una variedad de cultivos dentro de la misma área al mismo tiempo y puede operar en interiores, exteriores y áreas cubiertas. Farmbot Genesis es una máquina de hardware de código abierto y está diseñada en torno a la capacidad de reproducción y la disponibilidad de componentes, se puede crear utilizando herramientas y procesos comunes, lo que significa que no depende de un solo proveedor.

La máquina utiliza guías lineales en los ejes X, Y y Z, incluidos el pórtico y las placas de conexión planas personalizadas que se pueden fabricar con una serie de herramientas que incluyen cortador de chorro de agua, cortador de plasma, cortador láser, molino CNC o manualmente con una sierra para metales y Taladro de columna. El FarmBot Genesis utiliza un sistema de correa y polea que incluye motores paso a paso NEMA 17 con codificadores rotativos, correas GT2 y extrusiones, ruedas con ranura para los rieles, tornillos de acero inoxidable, las tuercas en T, las arandelas, los cojinetes, el eje de transmisión y el tornillo sin fin, hacen que la máquina sea resistente a la intemperie y a la corrosión, lo que permite un funcionamiento a largo plazo en entornos exteriores.[1]

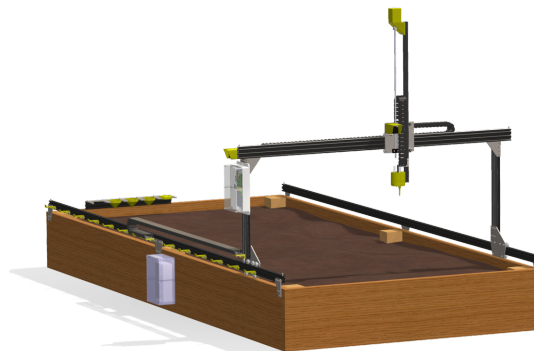


Figura 1: Montaje de Farmbot Genesis

Al ver el funcionamiento de Farmbot Genesis, me ayudó a idealizar un mecanismo de movimiento capaz de mover los objetos clasificados a su lugar de destino, ya que esta máquina se mueve en los tres ejes cartesianos, los cuales se tienen que recorrer con el producto de un lugar a otro. Al igual utilizar piezas resistentes y accesibles, hacen que sea duradero y viable, lo que también se busca en el módulo a diseñar.

### 2.3. Impresoras 3D

Las impresoras 3D fueron de ayuda para la selección de equipo, ya que gracias a su movimiento por medio de bandas, GT2, cojinetes lineales, rieles, entre otros, pueden facilitar el diseño que se desea realizar, por su bajo costo y su facilidad de obtención, es una opción muy atractiva realizar el diseño de la máquina con estos componentes. Muchas de las impresoras 3D están compuestas por partes impresas con diferentes polímeros, lo cual ayuda a que la fabricación de estas sea mucho más accesible y el ensamblaje sea más práctico; por eso la idea de imprimir las piezas que sean posibles para el módulo que se va a diseñar, reducirá costos y facilitará el diseño.

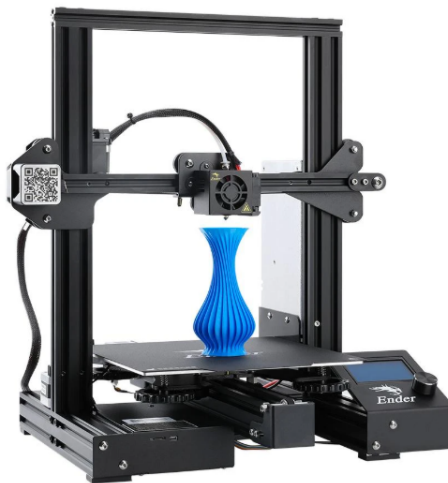


Figura 2: Ejemplo de una impresora 3D comercial.

### 2.4. Control Numérico Computarizado - CNC

En la actualidad, encontramos máquinas CNC en casi todas partes, que ya no solo abarcan los grandes establecimientos industriales, sino también talleres de todo tipo, tanto de pequeña como mediana envergadura. Prácticamente no existe ámbito alguno de un proceso de fabricación que no dependa de estas poderosas y versátiles máquinas.

En pocas palabras, el control numérico computarizado es el uso de una computadora para controlar y monitorear los movimientos de una máquina herramienta. Entre esas máquinas herramienta, tanto estáticas como portátiles, podemos mencionar: fresadora, torno, rectificadora, máquina de corte por láser, por chorro de agua o por electroerosión, estampadora,

prensa, brazo robotizado, etc. Las máquinas de gran porte cuentan con una computadora dedicada que forma parte del equipo, y la mayoría dispone de un sofisticado sistema de realimentación que monitorea y ajusta constantemente la velocidad y posición de la herramienta de corte. Las máquinas menos exigentes usadas en talleres admiten el uso de una computadora personal externa. El controlador CNC trabaja en conjunto con una serie de motores (servomotores y/o motores paso a paso), así como componentes de accionamiento para desplazar los ejes de la máquina de manera controlada y ejecutar los movimientos programados.

Una máquina CNC, por lo tanto, consiste en seis elementos principales:

- Dispositivo de entrada
- Unidad de control o controlador
- Máquina herramienta
- Sistema de accionamiento
- Dispositivos de realimentación (sólo en sistemas con servomotores)
- Monitor



Figura 3: Ejemplo de una CNC comercial.

La Instrumentación y Automatización Industrial es parte indispensable para el funcionamiento de una sociedad tan avanzada, por lo que como estudiantes nos vemos en la necesidad de poder aportar al desarrollo de dicha ciencia; por lo cual es de suma importancia poder entender los conocimientos básicos de lo que se encuentran en dichas industrias. A pesar que la universidad posee buenos métodos de aprendizaje teóricos acerca de estos temas, es necesario que dichos conocimientos lleven en conjunto con la práctica, para si lograr reforzar y comprender de mejor manera los conceptos teóricos.

El proyecto propuesto tiene como finalidad poder lograr que el estudiante entienda varios procesos de una línea de producción, en la cual se va a topa con diferentes tipos de actuadores, sensores, motores, mecanismos, neumática, entre otros. Con dicho proyecto se espera que el catedrático tenga mejores herramientas que serían material didáctico, para así poder enseñar a los estudiantes de manera mas visual y directa, y de esta manera poder enriquecer e impactar mas en el conocimiento de los estudiantes. Existen diferentes líneas de producción con fines didácticos que se venden en el mercado de la industria, por lo que se propone el diseño de una línea de producción creada por estudiantes de la Universidad del Valle, que pueda ser competitiva con dichas líneas ya prefabricadas, tanto económicamente como funcionalmente.

El diseño del módulo de Almacenador tiene el fin de poder simular el final de una línea de producción en la cual, el producto ya está listo para distribuirse. Dicho módulo dejará almacenados los objetos que se van a estar manipulando, para su posterior uso. Para que los objetos se almacenen de manera adecuada es importante la implementación y diseño de un mecanismo de movimiento que cumpla con distintos requerimientos, como durabilidad, correcto movimiento en los diferentes ejes, entre otros. El módulo pretende abarcar diversos sistemas utilizados en la automatización industrial en la actualidad, por lo que le dará mas realismo y valor para que sea competitiva y útil al valorar el enriquecimiento didáctico que pueda ofrecer.



### 4.1. Objetivo general

Diseñar el módulo de una almacenadora de productos de tres diferentes pesos, en un contenedor por medio de un sistema de agarre y colocación.

### 4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de movimiento eficaz para la garra.
- Desarrollar una garra que pueda sostener correctamente los productos.
- Almacenar de forma precisa los productos en el contenedor.
- Implementar un diseño mecánico adecuado para el movimiento de piezas.
- Determinar el impacto didáctico que el diseño tendrá en el curso de instrumentación electrónica.



Se realizó el diseño del módulo almacenador para una línea de producción con fines didácticos, para dicho diseño se incluyen los planos de las piezas diseñadas, en dado caso sea necesario se adjunta la hoja de datos de los componentes utilizados, las especificaciones de los componentes eléctricos, el manual de usuario en el cual se especifica la instalación y el uso adecuado del equipo, el listado de componentes con sus costos, el ensamble y simulación de todo el módulo diseñado.

El módulo almacenador consiste en recibir diferentes objetos previamente clasificados en el módulo anterior, se recibirán los objetos de tres bandas transportadoras, cada uno de ellos tiene tres diferentes pesos con un tamaño uniforme. Luego de las bandas transportadores los objetos caerán en un dializador el cual sera el punto al que los vaya a agarrar el sistema de agarre(gripper); por medio de un mecanismo que se mueva en los 3 ejes X, Y y Z, se irán almacenando los objetos sujetos con el gripper y se almacenarán en un contenedor, dicho contenedor tiene la capacidad de almacenar 20(veinte) objetos. Por lo que este será el módulo final de la línea de producción. Ya teniendo el contenedor lleno, se podrá retirar para poder regresar las piezas al principio de la línea.

Para Módulo Almacenador, y en sí para todo el proyecto de la línea de producción a pequeña escala con fines didácticos, se proporciona el material específico, manuales y los procedimientos necesarios para su posterior fabricación mencionados anteriormente, por lo que dicha fase del proyecto se limita al diseño de los módulos, mas no su construcción.



## 6.1. Automatización Industrial

La Automatización Industrial es la disciplina encargada, a grandes rasgos, de controlar; que se basa en el uso de sistemas mecánicos, electromecánicos, entre otros, para controlar procesos industriales. Esta puede abarcar temas como control, sistemas digitales, supervisión, gestión de datos, accionamientos, instrumentación y comunicaciones. La automatización tiene como objetivo aprovechar los materiales, mejorar procesos, disminuir tiempos, reducir costos, mejorar la calidad y exactitud, recuperar inversiones en menos tiempo, minimizar errores, reducir mano de obra, entre otras. Otro gran objetivo de la automatización es la medición, naturalmente. Si no se puede medir “algo”, es mejor no intentar controlarlo. Este “algo” toma las siguientes formas en la industria: [2]

- Presión de fluido
- Caudal de fluido
- Temperatura de un objeto
- Volumen de un fluido almacenado en un recipiente
- Concentración química
- Posición, movimiento y aceleración de una máquina
- Dimensiones físicas de un objeto
- Conteo de objetos(inventario)
- Voltaje, corriente y resistencia

Una vez hecha la medición deseada, normalmente se transmite una señal que la representa hacia un dispositivo indicador o hacia un computador, en el que una acción controladora es automatizada, el computador envía una señal hacia un elemento final de control el cual, a su vez, ejerce influencia sobre la magnitud que se está midiendo. [2]

## 6.2. Línea de producción

Una línea de producción es el conjunto armonizado de diversos subsistemas como son: neumáticos, hidráulicos, mecánicos, electrónicos, software, etc. Todos estos con una finalidad en común: transformar o integrar materia prima en otros productos. Las características y finalidades de una línea de producción son: Mínimo tiempo ocioso en las estaciones, Alta cantidad de producción, un costo capital bajo, poca intervención de operarios en temas de transporte y manipulación, desecho de productos que no pasan la calidad requerida, selección y clasificación de productos, empaque y almacenado ya con el producto final. [3]

## 6.3. Instrumentación electrónica

La instrumentación es una rama científico-técnica cuyo objetivo es mejorar la capacidad de percepción de la realidad mediante el uso de cualquier tipo de técnicas y sistemas. La percepción de la realidad hace referencia a la extracción de información del entorno, de un sistema o de un proceso mediante la identificación y cuantificación de sus variables características, como se puede observar en la Figura 4. Los sistemas que se encargan de estas funciones se pueden denominar sistemas de instrumentación, sistemas de medida o sistemas instrumentales. [4]

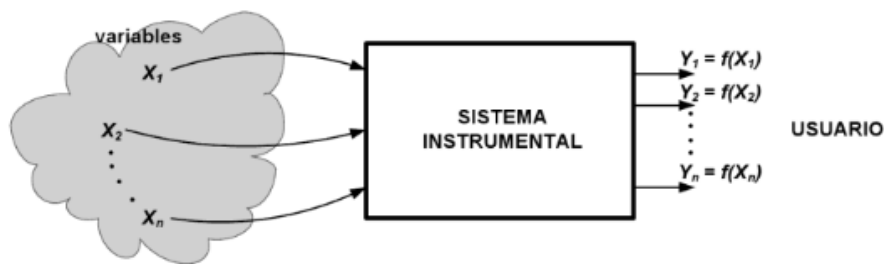


Figura 4: Concepto general de un sistema instrumental.

La aparición de los primeros dispositivos electrónicos, en los inicios del siglo XX, permitió aprovechar sus presentaciones para mejorar desde entonces los incipientes sistemas instrumentales y desarrollar una rama científico-técnica denominada Instrumentación Electrónica. Los sistemas de instrumentación electrónica entregan la información mediante señales

eléctricas, listas para ser procesadas por otros sistemas electrónicos, tales como microprocesadores, microcontroladores, computadores, entre otros. Un sistema de este tipo suele tener una estructura como la que se presenta en la Figura 5.[4]

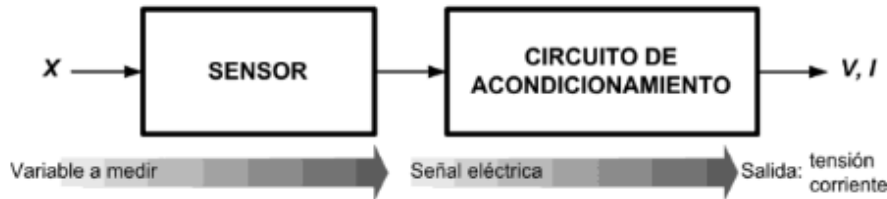


Figura 5: Estructura básica de un sistema electrónico de instrumentación.

## 6.4. PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” . El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan fácilmente a nuevas tareas debido a su flexibilidad a la hora de programarlos, reduciendo así los costos adicionales a la hora de elaborar proyectos. Permiten también una comunicación inmediata con otro tipo de controladores y ordenadores e incluso permiten realizar las operaciones en red. Como ya se ha mencionado previamente, tienen una construcción estable al estar diseñados para poder resistir condiciones adversas sobre vibraciones, temperatura, humedad y ruidos. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con técnicos cualificados para ocuparse de su buen funcionamiento. [5]

## 6.5. Mecanismo piñón cremallera

Es un mecanismo compuesto por un piñón o rueda dentada de dientes rectos, que engrana con una barra dentada denominada cremallera de forma que, cuando el piñón gira, la barra dentada se desplaza longitudinalmente. Para que el engrane sea posible y el piñón pueda deslizarse sobre la cremallera es preciso que tanto piñón como cremallera posean el mismo módulo. Este tipo de mecanismo es reversible. Es decir puede funcionar aplicando un movimiento de giro al piñón que es transmitido a la cremallera desplazándolos de forma lineal, o viceversa, si se administran movimientos lineales alternativos a la cremallera, estos se convierten en movimientos rotativos en el piñón. Se utiliza taladros de columna, sacacorchos, en la apertura y cierre de puertas sobre guías, y en las direcciones de los automóviles. [6]

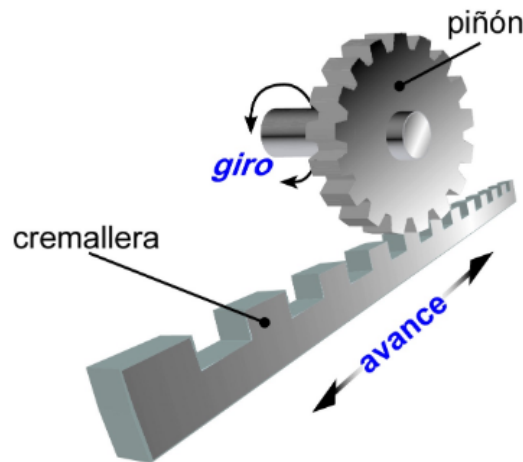


Figura 6: Mecanismo piñón cremallera

## 6.6. Motores eléctricos

La gran mayoría de los movimientos que realizan las máquinas en la industria, para tareas tan dispares como desplazar objetos, empaquetar, cerrar puertas, subir y bajar materiales, agitar líquidos, entre otros, se realizan mediante motores eléctricos. Un motor, es un receptor que, al ser alimentado mediante una corriente eléctrica, produce un movimiento giratorio a su eje que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, es aprovechado para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial o doméstico. [7]

## 6.7. Servomotores AC

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente son los motores de corriente alterna. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que hay un bobinado trifásico. En las aplicaciones de posicionamiento industrial se utilizan estos servomotores ya que constan de una gran potencia y fiabilidad. Los drivers para este tipo de motores llevan controles PID y normalmente se pueden controlar desde un PC. Poseen las siguientes características vistas en:[8]

- No necesitan apenas mantenimiento: La falta de fricción entre los elementos hace que el deterioro sea bajo.
- Gran dinámica: Buen control de velocidad, posición y dirección.
- Gran capacidad de sobrecarga: Pueden trabajar tres veces más rápido y potente que su velocidad y torque nominal sin que sufran daño alguno.
- Bajo momento de inercia en el rotor.
- Conectores rápidos para su control y conexión.
- Bajo consumo de energía; al contrario que los motores hidráulicos este sólo consume energía al realizar la tarea programada.
- Son 40-50 por ciento menos pesados que los hidráulicos.
- Mayor eliminación del calor.
- Excelentes valores de aceleración.
- Amplia gama de potencias (de 100w a 300Kw).
- El tamaño reducido no incide en su potencia.

### 6.7.1. Servomotores AC R88M-G de la marca OMRON

Este modelo de servomotor tiene múltiples aplicaciones como control de posición, control de velocidad y control de torque, sus principales características se describen a continuación:

- Tienen una respuesta de alta velocidad, con una frecuencia de respuesta de 1 kHz.
- Suprime la vibración de los mecanismos de baja rigidez durante la aceleración/desaceleración.
- Posicionamiento de alta velocidad a través del control de supresión de resonancia.

## Datos técnicos

La siguiente figura muestra las características de torque y velocidad de rotación con una entrada de 200V AC.

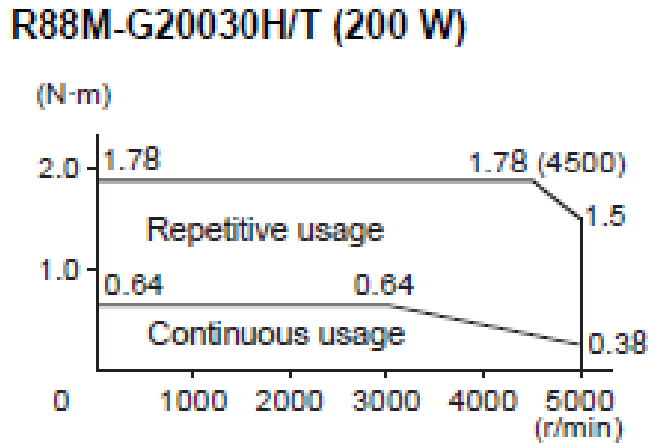


Figura 7: Datos de torque y velocidad de rotación.

En el Cuadro 1 se describen los rangos de rendimiento de este modelo de servomotor.

<b>Rangos de rendimiento</b>	
Potencia	200W
Tensión de alimentación	200V AC
Velocidad	3000rpm
Momento de rotación	0.64N.m
Servo Driver AC	R7D-BP02HH

Cuadro 1: Especificaciones servomotor AC.

## Dimensiones

A continuación, se especifican las dimensiones exactas del servomotor, en la Figura 8 se muestra el diagrama del servomotor, con cada una de sus partes, y en el Cuadro 2 se indica la medida de dicha referencia.

Dimensiones para el modelo R88M-G20030H en mm	
LL	79.5
6R	30
S	11
D1	70
D2	50
C	60
G	6.5
Z	4.5
KL1	43
QK	18
b	4h9
h	4
M	4
t1	2.5
L	8

Cuadro 2: Especificaciones para medidas servomotor AC.

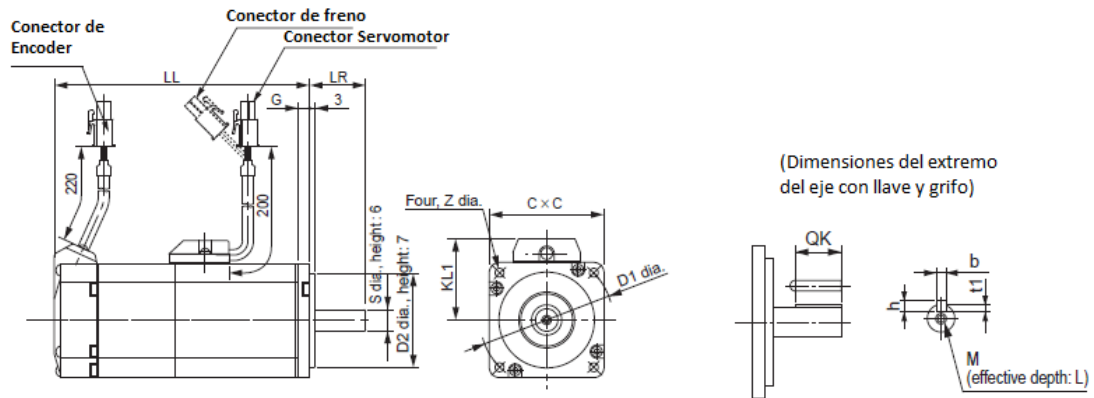


Figura 8: Especificaciones de medidas para Cuadro 2.

## Velocidad tangencial

Este tipo de servomotores poseen diversas aplicaciones, una de ellas es mover una banda transportadora, la cual se une al motor por medio de acoples como un GT2, para poder conocer la velocidad en que este motor puede mover la banda es necesario saber la velocidad tangencial, la cual se describe en la ecuación 1, su resultado estará en  $m/s$ .

$$V_{tangencial} = w * r \quad (1)$$

Donde:

- $r$  es el radio, ya sea de la salida del motor o de algún tipo de acople como un GT2.
- $w$  es la magnitud de la velocidad angular, esta velocidad tiene que estar en  $rad/s$ .

### 6.7.2. Servo Driver SMARTSTEP-2 R88M-G/R7D-BP de la marca OMRON

Para poder controlar el servomotor AC R88M-G20030H de la marca OMRON, es necesario utilizar este driver. El driver tiene un rol importante en el funcionamiento del motor, cuando se habla de controlarlo se refiere a varias funciones, a continuación se describirán las principales:

- Controla la velocidad del servomotor.
- Leer el encoder del servomotor, el cual nos indicara su posición específica.
- Alimentar al motor.
- Suprime la vibración durante la aceleración o desaceleración.
- Brinda la comunicación entre la interfaz que el usuario este utilizando.
- Control de resonancia para posicionamiento de alta velocidad.



Figura 9: Servomotor R88M-G y servo driver SMARTSTEP R88M-G/R7D-BP de la marca OMRON.

Elemento	Especificación
Temperatura ambiente de funcionamiento	0 a 55°C
Humedad ambiente de funcionamiento	90 % máx. (sin condensación)
Temperatura ambiente de almacenamiento	-20 a 65°C
Humedad ambiente de almacenamiento	90 % máx. (sin condensación)
Atmósfera de almacenamiento/operación	Sin gases corrosivos
Resistencia de vibraciones	10 a 60 Hz; aceleración: 5,9 m/s <sup>2</sup> (0,6 G) máx
Resistencia de golpes	Aceleración máx. 19,6 m/s <sup>2</sup> , 3 veces en las direcciones X, Y y Z,
Resistencia de aislamiento	Entre terminales de alimentación/línea de alimentación y marco de tierra: 0,5 MW mín. (a 500 Vc.c.)

Cuadro 3: Especificaciones generales del servo driver.[9]

Elemento	Especificación
Corriente de salida permanente (eficaz)	1.6 A
Corriente de salida máxima instantánea (eficaz)	4.9 A
Fuente de alimentación del circuito principal	Monofásico de 200 a 240 Vc.a. (170 a 264 V), 50/60 Hz
Fuente alimentación del circuito de control	–
Método de control	Servo totalmente digital
Realimentación	10.000 pulsos/revolución, encoder incrementa
Método de variador	Método PWM basado en IGBT
Frecuencia de PWM	12 kHz
Peso	0,42 kg
Tensión del motor compatible	200V
Respuesta de comando de pulsos	Line driver: 500 kbps
Capacidad del motor compatible	200 W
Servomotor aplicable (R88M-)	G020030H

Cuadro 4: Especificaciones de rendimiento del servo driver.[9]

## 6.8. Motores paso a paso(Stepper)

En nuestros días los motores paso a paso tienen una amplia gama de aplicaciones; esto es debido a que poseen una gran precisión. Los motores a pasos son muy utilizados en la actualidad para el desarrollo de mecanismos que requieren de una alta precisión. Este tipo de motores poseen cualidades especiales por el hecho de poderlos mover desde un paso hasta una secuencia interminable de pasos dependiendo de la cantidad de pulsos que se les aplique. Este paso puede ir desde pequeños movimientos de  $1.8^\circ$  hasta de  $90^\circ$ . Es por eso que este tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un controlador. [10]

Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas está energizada o bien totalmente libres si no existe corriente alguna circulando por sus éstas. Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador. Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente que son los más utilizados en robótica: unipolares y bipolares.

### 6.8.1. Unipolares

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida dependiendo de su conexionado interno, que suelen ser comúnmente 4 cables por los cuales se reciben los pulsos que indican al motor la

secuencia y duración de los pasos y los restantes sirven como alimentación al motor. Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.[10]

- Secuencia normal: Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.
- Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave, pero por otro lado al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.
- Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que se realice un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente.

### 6.8.2. Bipolares

Este tipo de motores tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Es necesario además un puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor paso a paso de 4 cables (dos bobinas), se necesitarían usar dos puentes H. Estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. [10]

## 6.9. Motor paso a paso NEMA 23

NEMA 23 es un motor paso a paso bipolar híbrido de alto torque con una placa frontal de  $2.3 \times 2.3$  pulgadas. Este motor tiene un ángulo de paso de 1.8 grados, esto significa que tiene 200 pasos por revolución y para cada paso cubrirá  $1.8^\circ$ . El motor tiene cuatro cables codificados por colores (negro, verde, rojo y azul) terminados con cables desnudos. El cable negro y verde está conectado con una bobina; Rojo y azul está conectado con otro. Este motor puede controlarse mediante dos puentes H, pero se recomienda utilizar un controlador de motor paso a paso. [11]

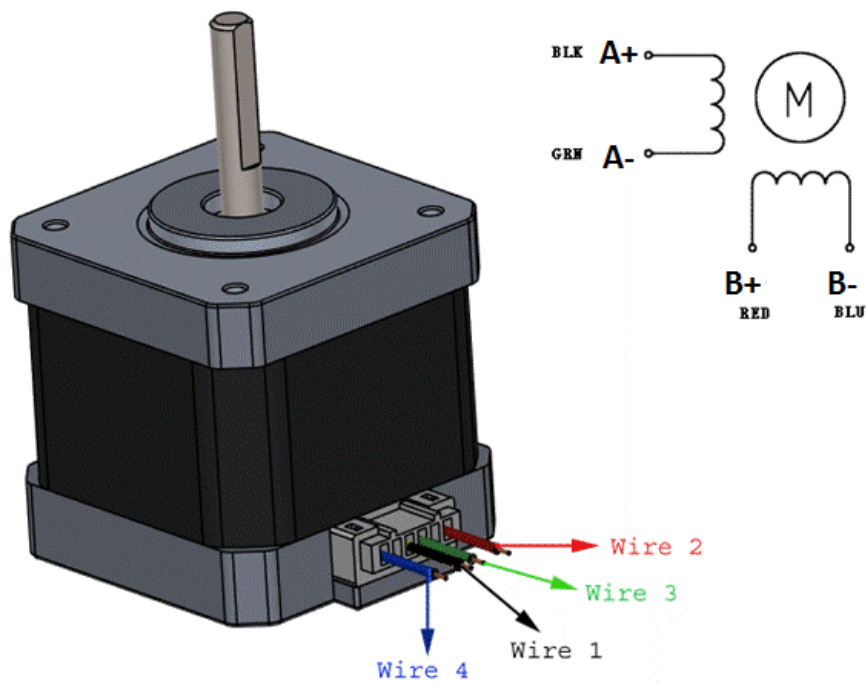


Figura 10: Motor paso a paso NEMA 23.

### Especificaciones de NEMA 23

- Tensión nominal: 3.2V
- Grado actual: 2.8A
- Celebración de Par: 270 oz. en
- Ángulo de paso: 1.8 grados.
- Pasos por revolución: 200
- No de fases: 4
- No. de conductores: 4
- Inductancia por fase: 3.6mH

## Dimensiones de NEMA 23

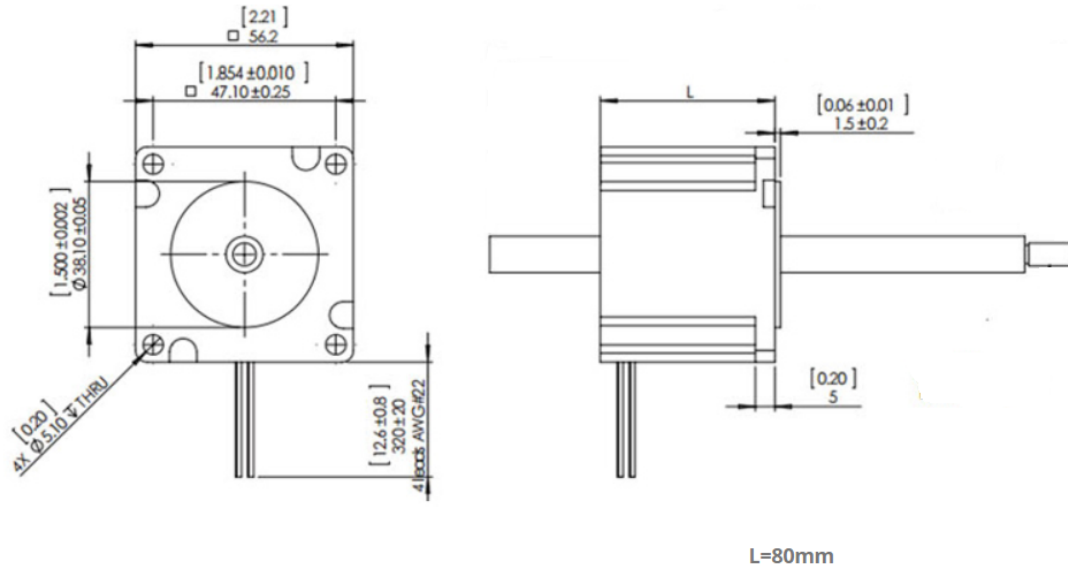


Figura 11: Medidas de motor paso a paso NEMA 23.

### 6.10. Encoder

Los encoders son mecanismos utilizados para calcular la posición, velocidad y aceleración de un eje. Este dispositivo optoelectrónico convierte el movimiento angular de su eje en un tren de pulsos digitales. Su principio de funcionamiento consiste en la detección de un haz generado por un emisor de luz que atraviesa las ranuras de un disco a través de un fotorreceptor. Cuando el fotorreceptor detecta el haz de luz se obtiene un "1" lógico y cuando no se detecta se obtiene un "0" lógico. De esta manera el encoder generará un tren de pulsos en función al movimiento angular transmitido a su eje.

### 6.11. Sistemas de agarre y colocación (*Pick and Place*)

La técnica de *pick and place* en la industria es aquella en la que se debe seleccionar y colocar productos, llevando a cabo procesos de ordenar, recolocar, empaquetar y paletizar entre otros. Estos procesos habitualmente son repetitivos y llevarlos a cabo con operarios implica un trabajo lento, por lo que es una tarea poco atractiva para los operarios además de presentar problemas de puestos de trabajo poco ergonómicos. En este campo se ha avanzado mucho con el uso de robots específicos para procesos de pick and place los cuales aportan

dos grandes ventajas, realizan estos procesos muy rápido reduciendo los tiempos y minimiza prácticamente a cero los errores, por otra parte, descargan los trabajos repetitivos a los operarios, evitando que estos trabajadores realicen acciones poco satisfactorias dedicándose a otras donde poder desarrollarse mejor como operarios cualificados. En la realización de procesos productivos la integración de sistemas automatización permite mejorar los tiempos y está desplazando el perfil de operarios dedicándose estos a otros procesos que aportan mayor valor al producto final. [12]

Este tipo de robots *pick and place* son bastante adaptables a la zona de manufactura final de productos o piezas, de modo que su instalación general requiere un soporte adecuado que permita al robot abarcar toda la zona de trabajo. Los productos son captados por un sistema de visión el cual determina su colocación inicial, posteriormente el brazo del robot, con la ayuda de una garra en la muñeca final adecuada al producto que se haya de tratar, recogerá el producto y lo colocará en la posición deseada. El uso de este tipo de robots pick and place conlleva una serie de beneficios para el proceso productivo:

- Realiza procesos de empaquetado rápido y de calidad, reduciendo errores.
- Capaz de realizar clasificaciones de distintos productos en su zona de acción y tratarlos de forma independiente.
- Lleva a cabo un control de calidad en la visión pues solo seleccionará aquellos productos que cumplen los parámetros adecuados.
- Aumenta el rendimiento del proceso global al realizar su trabajo a una alta velocidad.
- La alta precisión de estos sistemas en el agarre, colocando el producto con una alta precisión superando al operario.
- Permite interconexión con otros sistemas de PLC.

## 6.12. Mecanismos de agarre: garra(gripper)

Por definición un *gripper* significa pinza en español, a la que también se le llama gripper herramienta EOAT (acrónimo en inglés de End Of Arm Tooling). Es una de las partes más importantes de la automatización de un producto ya que es el punto de contacto entre una máquina y un proceso de fabricación. Ubicado en el extremo de un brazo mecanizado, los gripper y las pinzas con garras robóticas son componentes que se utilizan para fijar herramientas y para coger piezas con diferentes volúmenes y geometrías. [13]

Antes de instalar una pinza de agarre es necesario conocer las necesidades y los conceptos básicos en la ejecución de una tarea a realizar.

- Fuerza: en función de la pieza que se tenga que sujetar, se necesitará mayor o menor fuerza. Existen grippers que permiten configurar y ajustar la presión y fuerza.
- Precisión: Esta variable dependerá del robot. Pero, en caso necesario, es posible añadir un sensor de fuerza para ayudar a la precisión.

- Carrera: es la distancia que existe entre los dedos de la garra.
- Repetitividad: repetir una y otra vez el mismo movimiento.
- Velocidad: Tiempo que tarda en realizar un ciclo de trabajo. La “carrera” del gripper es necesaria para calcular el tiempo de ciclo.

### **6.12.1. Tipos de pinzas y garras de sujeción**

El tamaño, la forma y el peso de la pieza influirán en el tipo de pinzas a instalar y la forma de accionamiento de las mismas. A continuación veremos algunos de los tipos de garras de robot más comunes e importantes en la actualidad. [13]

#### **Gripper de dos dedos**

Es el más sencillo y el más fácil de fabricar. Se adecuan a muchos de los productos industriales existentes. Dentro de este grupo se pueden encontrar varias opciones: con control de distancia en cierre y apertura, con control de presión o con control de apertura. El accionamiento puede ser eléctrico o neumático.

#### **Garras de tres dedos**

Aunque menos utilizado que el de dos dedos, este tipo de gripper robótico es perfecto para aquellos trabajos que requieran una mayor delicadeza pero con fuerza y precisión. Son también muy válidas para agarrar más de un objeto, pero el hecho de incluir un dedo más, las hace más costosas. Este tipo de garra es perfecto para manipular tubos largos.

#### **Garras de dedos flexibles**

Uno de los gripper más novedosos del mercado actualmente. Muy útiles para coger objetos variados pero resultan ser muy limitadas en cuanto al volumen y el peso del objeto a coger se refiere. Perfecto para trabajos que requieran manipular objetos delicados y muy utilizado en robots colaborativos.

#### **Bola flexible rellena de granos**

Consiste en un globo de látex relleno de granos que se coloca sobre el objeto a coger y adopta su forma y mediante un sistema de succión de aire, atrapa el producto. Muy sencillo y versátil. El diámetro del globo puede ser de cualquier tamaño y el material de relleno muy variado.

## **Grippers de vacío**

Se trata de una pinza con ventosa, de goma o poliuretano que recoge los productos mediante vacío. Este tipo de sujeción es el más indicado para mover superficies como vidrio, planchas metálicas, plásticos o cartones.

## **Garras para paletizado**

Pinzas de gran tamaño diseñadas para mover cargas de gran volumen y peso.

## **Garras impresas en 3D**

La impresión 3D permite auto-fabricar este tipo de herramienta robótica gracias a plataformas de diseño donde descargarse los distintos modelos. Este tipo de garras no admite mucho peso y la fuerza a aplicar en ella no puede ser muy grande.

### **6.12.2. Tipos de accionamiento de pinzas y garras**

Las garras robóticas se pueden clasificar en cuatro grupos en función de su sistema de energizado. [13] Se puede distinguir entre:

#### **Accionamiento neumático**

Los gripper con accionamiento neumático son los más utilizados. Con poco peso y un tamaño pequeño es la solución perfecta para empresas de manufactura con poco espacio. Asimismo, la energía que necesitan es mínima. Pero este tipo de accionamiento requiere una serie de accesorios añadidos, como pueden ser válvulas, mangueras o un controlador lógico programable (PLC). Los grippers activados mediante esta energía son más rápidos que los eléctricos.

#### **Accionamiento hidráulico**

Este tipo de accionamiento es el más indicado para soportar cargas de gran tamaño y peso. Su instalación inicial y mantenimiento es más compleja, pero a la larga se perfila como un sistema duradero y fiable. Necesita de líneas hidráulicas, válvulas, PLC y bombas para su correcto funcionamiento.

#### **Accionamiento servoelectrico o eléctrico**

Es necesario un controlador adicional al gripper robótico, pero una vez instalado la conectividad resulta muy simple y fácil. Utilizar este tipo de accionamiento supone un ahorro

de energía y mantenimiento.

### 6.13. Efecto Venturi

El efecto Venturi consiste en un fenómeno en el que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. En ciertas condiciones, cuando el aumento de velocidad es muy grande, se llegan a producir alturas de presiones negativas y entonces, si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido de este conducto, que se mezcla con el que circula por el primer conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822).[14]

#### 6.13.1. Tobera Venturi

Una tobera Venturi se alimenta con aire comprimido. El chorro de aire creado arrastra en sus turbulencias el aire ambiente que luego pasa al mezclador para ser expulsado. Esta acción crea la depresión que genera el vacío deseado, tienen la ventaja pueden funcionar en modo discontinuo y sólo en los momentos en los que las ventosas necesitan vacío. [15]

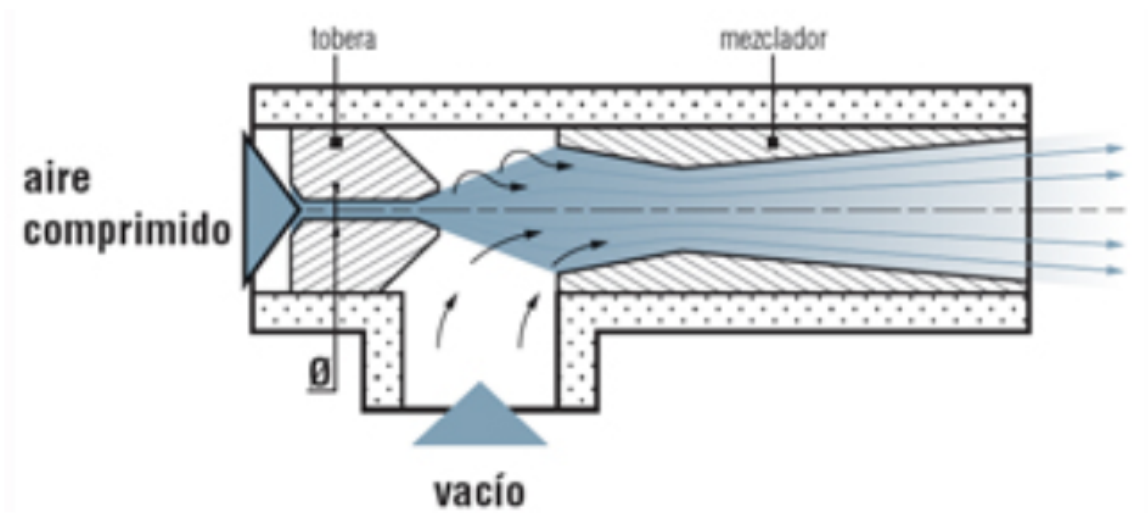


Figura 12: Diagrama de funcionamiento de Tobera Venturi.

Existe una gran variedad de toberas y de mezcladores que posibilitan una gama que responde a cada necesidad. Uno de los parámetros importantes es el diámetro, este define la potencia que se obtiene y, por tanto, la capacidad de aspiración, por ejemplo la gama

escalonada de  $\varnothing = 0,5\text{mm}$  para microventosas de  $\varnothing = 3\text{mm}$  aspirando hasta 400 Nl/mn para múltiples ventosas de gran tamaño. La otra es el perfil mezclador, este perfil define el nivel de vacío máximo alcanzado por el venturi.[15]

## Aplicaciones

Las toberas de vacío venturi están indicadas para todas las aplicaciones comunes de agarre por vacío. Compactos y ligeros, los venturis se implantan lo más cerca posible de las ventosas: pocas pérdidas de carga y volumen a vaciar mínimo, por lo que los tiempos de respuesta son breves y la energía consumida mínima.

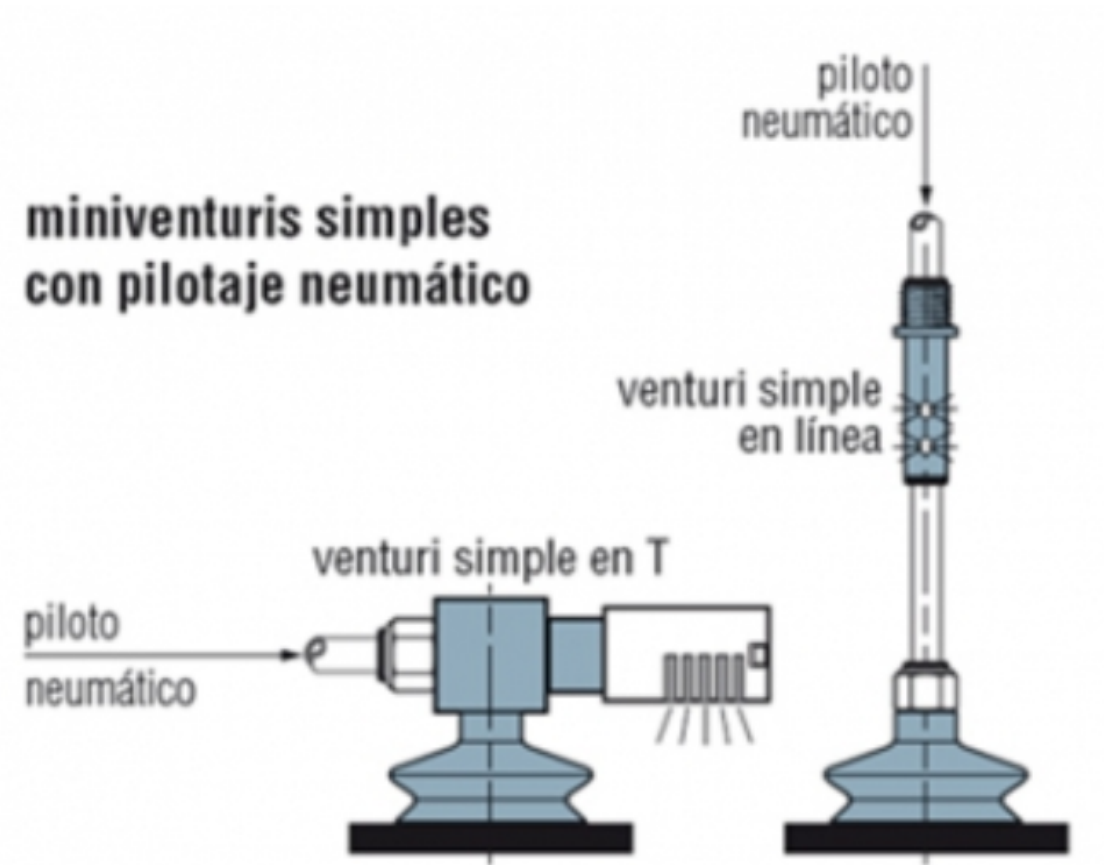


Figura 13: Diagrama de funcionamiento de Tovera Venturi con ventosa.

## 6.14. Vacuómetro

Vacuómetro es un instrumento destinado para medir presiones inferiores a la presión atmosférica. La medida del vacuómetro no tiene mas significado que valorar la caída de presión que se produce en los colectores (antes de la tarea de presión) en función de la abertura de la mariposa y del número de revoluciones.[16]

## 6.15. Válvulas

Las válvulas neumáticas tienen como función principal dirigir y distribuir el aire comprimido dentro de un circuito neumático. Regulan el paso o lo frenan. Arman el camino que debe recorrer el fluido. Pero, al momento de comandarlas, las variables son muchas y es necesario conocerlas con más profundidad para obtener buenos resultados en el proceso.

Para clasificarlas, podemos nombrar 4 tipos diferentes de válvulas: las direccionales, las de bloqueo, las reguladoras y las secuenciales. Cada una tiene un funcionamiento particular que las diferencia entre sí. Estas válvulas cuentan con distinta cantidad de vías y de posiciones. La suma de las roscas corresponde a la cantidad de vías que posee. Las combinaciones más comunes son las siguientes:[17]

- Válvulas 2/2 (2 vías y 2 posiciones): Actúan solamente como llave de paso. Una vía es la entrada y otra vía es la salida. Cuando está en posición abierta, las dos vías se conectan sin nada en el medio y el aire comprimido fluye con libertad. Al cerrarse, lógicamente se corta el paso. Estas válvulas pueden ser normal cerradas o normal abiertas, según cierren o habiliten el paso respectivamente en su posición de reposo. Lo más común es que sean normal cerradas.
- Válvulas 3/2 (3 vías y 2 posiciones): Normalmente son utilizadas para manejar cilindros simple efecto. Gracias a sus 3 vías, el flujo del aire puede ir en dos direcciones distintas y realizar el escape en su posición cerrada.
- Válvulas 4/2 (4 vías y 2 posiciones): Cuenta con la misma cantidad de posiciones que la anterior, pero al tener una vía más se las suele usar para manejar cilindros doble efecto. Con una posición mete el aire en el pistón y con la otra lo saca, haciendo que el vástago suba y baje según la ubicación del aire.
- Válvulas 4/3 (4 vías y 3 posiciones): Son similares a las dos posiciones, pero tienen una posición central adicional. Según esta posición central, estas válvulas pueden ser: centro abierto, centro cerrado o centro a presión.
- Válvulas 5/2 (5 vías y 2 posiciones): Es como la 4/2, aunque en este caso tiene dos escapes, uno para cada posición. El tener dos escapes ayuda a que se pueda manejar y regular mejor la velocidad.
- Válvulas 5/3 (5 vías y 3 posiciones): Son similares a las dos posiciones, pero tienen una posición central adicional. Según esta posición central, estas válvulas pueden ser: centro abierto, centro cerrado o centro a presión (ver descripción de válvulas 4/3).



## 7.1. Definición de propuesta

Al tener información de tableros educativos de instrumentación y automatización industrial, se tuvo un punto de partida para poder realizar una lluvia de ideas y así armar varias propuestas con diferentes módulos que podían unirse y formar así la línea de producción que más se acercaba a nuestras necesidades y capacidades.

La línea de producción consiste en 4 módulos: movimiento de fluidos, rechazadora, clasificadora y una almacenadora. La parte que se desarrolla en este trabajo de graduación es el módulo de la almacenadora. A grandes rasgos se sabía que este modulo tenía que ser el encargado de agarrar un producto determinado y almacenarlo en algún contenedor, de la forma en que el usuario lo deseara.

Se posee gran cantidad de actuadores, sensores y accesorios necesarios para poder realizar el proyecto propuesto que la Universidad nos brinda, por lo que se realizó un inventario con todas las herramientas que se tenían en las bodegas de la Universidad, para poder aprovecharlos y con esto ya concretar mas la idea del módulo de almacenamiento.

Entre los distintos equipos que posee la Universidad se poseen unos muy sofisticados y útiles que me ayudaron a concretar he idear el diseño final del módulo a desarrollar, como PLCs y servo motores industriales; por lo que el diseño se empezó a construir con la finalidad de poder utilizar este equipo, y así poder cumplir con la finalidad de bajar costos lo más que se pueda.

## 7.2. Montajes

Se procedió a realizar el diseño en Autodesk Inventor Profesional, para poder lograr que el módulo tomara forma y definir los prototipos y planos finales del diseño, comprobar su funcionamiento y coherencia.

### 7.2.1. Versión 1

Para idealizar lo que se quería lograr, se empezó definiendo el espacio que se tenía para poder instalar el módulo, el cual es de 1.25m \* 1.25m. El primer diseño de montaje que se realizó se muestra en la figura, en el cual se tenían cuatro bandas transportadoras separadas con el producto, se poseía un gripper, y un contenedor de 4x4 espacios para poder almacenar los productos recibidos. También se diseñó la base para colocar el contenedor en el espacio del diseño que se tiene disponible.

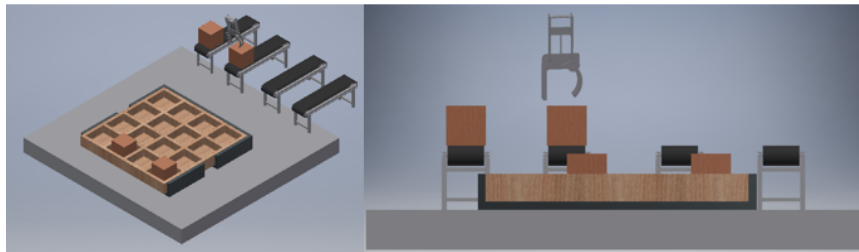


Figura 14: Diseño montaje versión 1

### 7.2.2. Versión 2

Se realizaron cambios en el módulo anterior por lo que se tubo que cambiar el diseño, se quitó una banda transportadora, y esto trajo varios cambios al diseño planteado; se quitó una banda transportadora del diseño, se pegaron las bandas transportadoras, se redujo el contenedor a uno de 3x3, por lo que también se redujo la base del contenedor. Para este montaje ya se posee movimiento en los ejes x y y, se agregó un receptor al final de las bandas, y ya se posee otro prototipo de gripper.

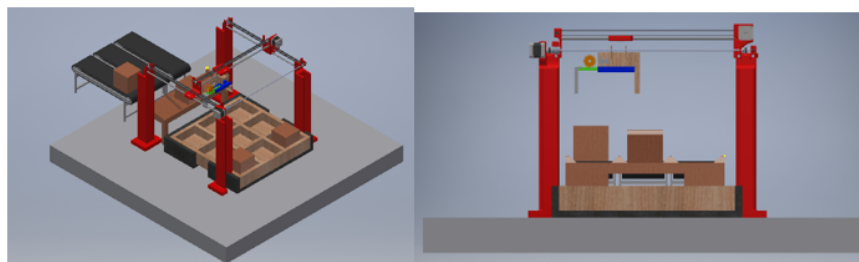


Figura 15: Diseño montaje versión 2

### 7.2.3. Versión 3

Con el propósito de aprovechar al máximo el espacio disponible, se aumentó el tamaño del contenedor a uno de 5x5, por lo que se vio en la necesidad de aumentar el tamaño de los mecanismos de movimiento. Se colocaron los servo motores que se van a utilizar, y se diseñó la base de la mesa de trabajo.

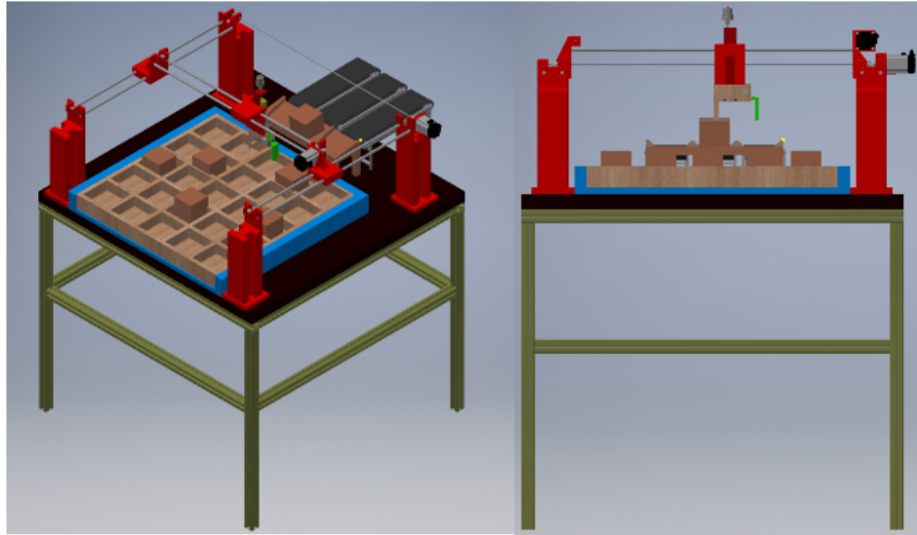


Figura 16: Diseño montaje versión 3

### 7.2.4. Versión 4

Esta es la versión final de la fase 1 de este proyecto, respecto a la versión anterior se modificaron las bases del mecanismo de movimiento, y se agregó una segunda planta a la base de trabajo.

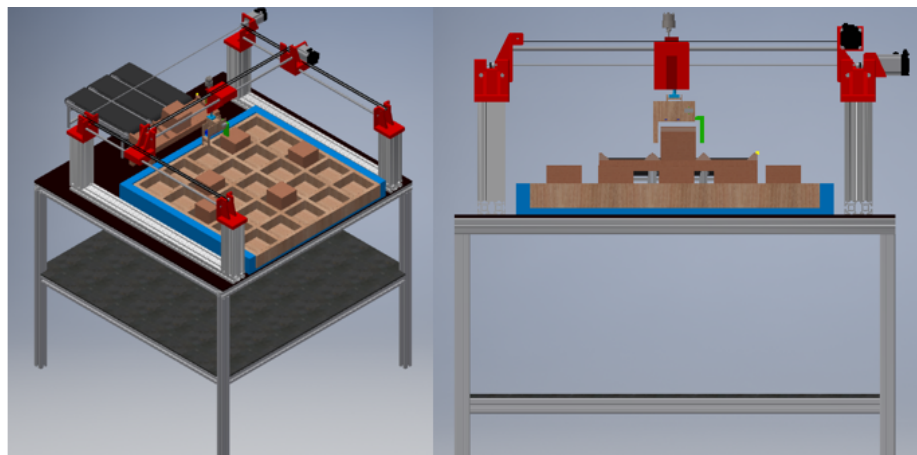


Figura 17: Diseño montaje versión 4

### 7.2.5. Versión 5 - Final

Al evaluar la versión 4 se identificaron diversos cambios que se podrían realizar en el diseño para poder mejorar algunos mecanismos y componentes que lo conformaron. Se analizaron diferentes mecanismos utilizados en la industria más efectivos para el traslado de objetos y almacenamiento de ellos; por lo que se procedió a rediseñar las partes que podría mejorar, utilizando piezas mas robustas e industriales.

Las principales modificaciones fueron cambiar los mecanismos de movimiento de los ejes X, Y y Z, se agregó una parte neumática, se proponen diferentes grippers, se diseñó otro recibidor, la bandeja almacenadora se redujo una fila quedando de 4x5, con una capacidad de almacenar 20 objetos, se utilizan motores paso a paso y un motor DC, se agregaron finales de carrera en los mecanismos de movimiento para poder controlar de mejor manera las posiciones del módulo, se utilizaron perfiles de aluminio para toda la armazón, y se cambió el material de diversas piezas para asegurar la durabilidad del proyecto.

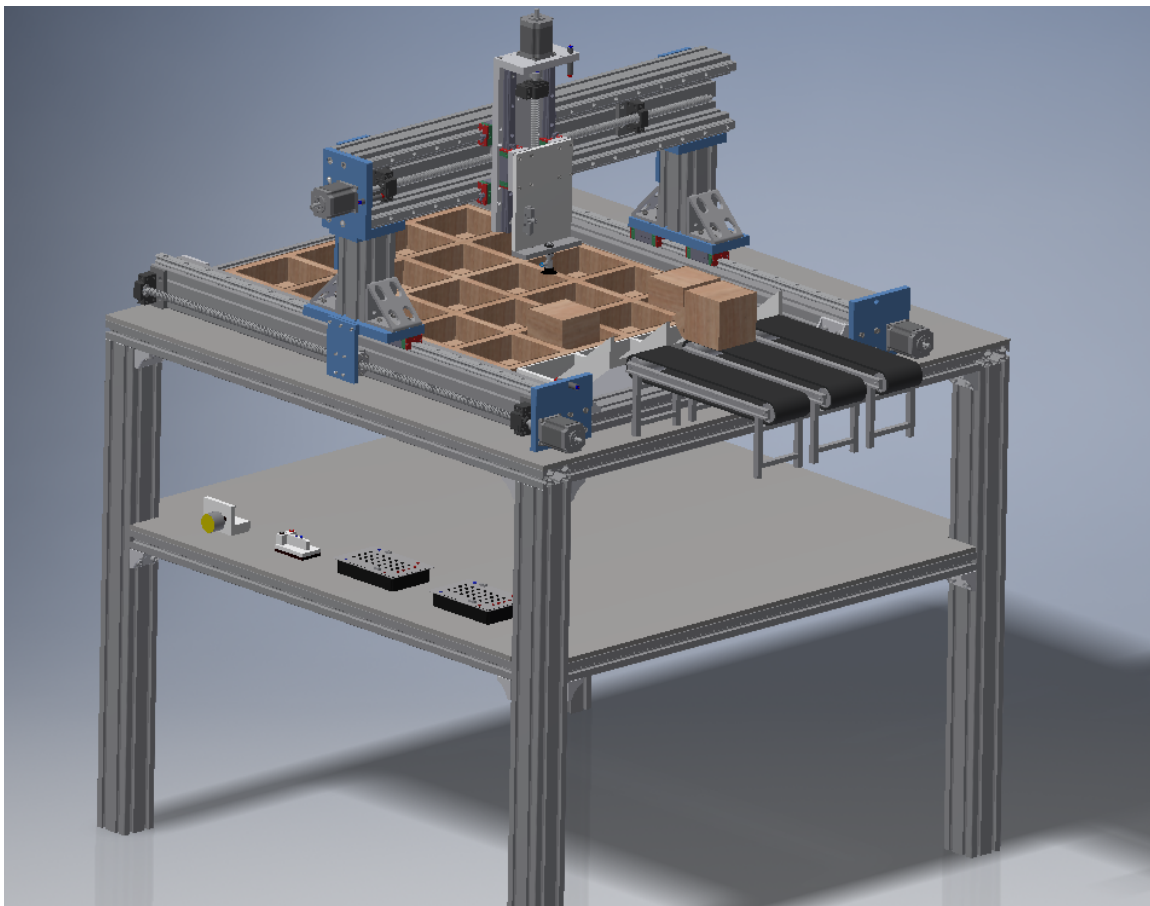


Figura 18: Diseño montaje versión 5, vista aerea.

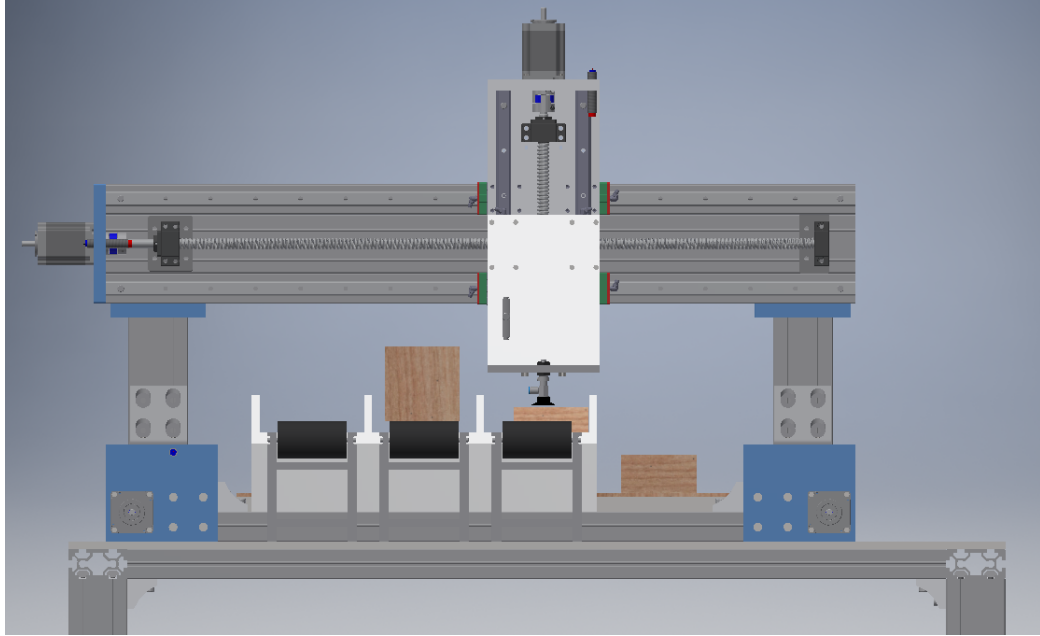


Figura 19: Diseño montaje versión 5 frontal.

### 7.3. Objeto a manipular

El producto que se estará transportando en este módulo es un cubo de 10cmx10cmx10cm, dicho objeto tendrá esta medida uniforme, y estará clasificada según su peso, previamente calculado y clasificado en el módulo anterior.



Figura 20: Objeto a manipular.

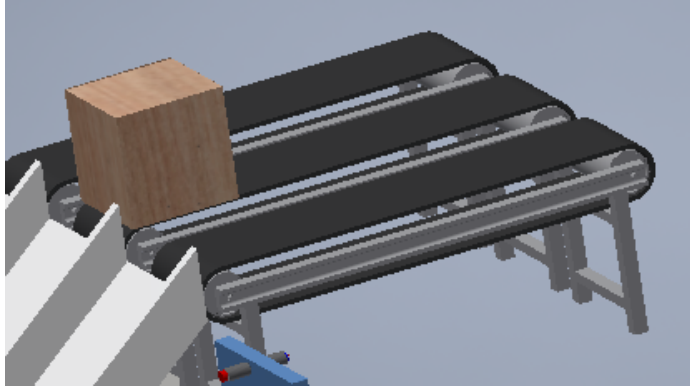


Figura 21: Objeto a manipular en bandas.

## 7.4. Garra

La Garra o Gripper son los encargados de agarrar los objetos provenientes del módulo anterior y colocarlos en el contenedor de manera eficiente. Son parte fundamental del mecanismo, tiene que asegurar bien el objeto para que este no se mueva en el transporte y se quede fijo hasta que llegue a su punto final. La garra va atornillado al movimiento del eje z.

### 7.4.1. Versión 1

El primer prototipo diseñado es el mostrado en la Figura 22 el cual esta echo de una parte fija, y otra parte móvil, la cual su movimiento se da gracias a un servo motor convencional, la parte fija se adhiere al cubo, y la parte móvil lo ajusta para poder levantarlo. Este gripper se tuvo que mejorar debido a que posee varios fallos, es inestable, no sostiene bien al cubo, no posee la fricción necesaria para sostener al cubo, y la parte de contacto de la parte móvil con el cubo es muy poca, por lo que no se asegura que se ajuste bien al momento de levantarlo.

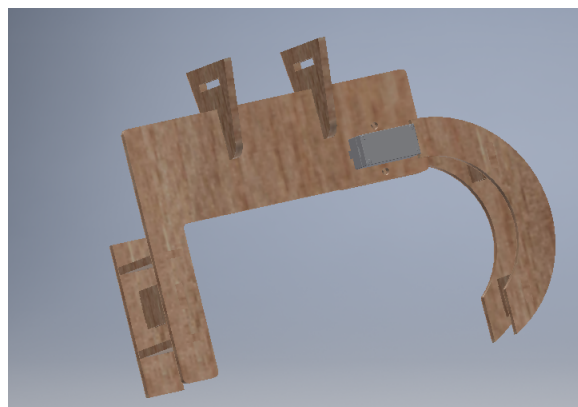


Figura 22: Diseño gripper versión 1

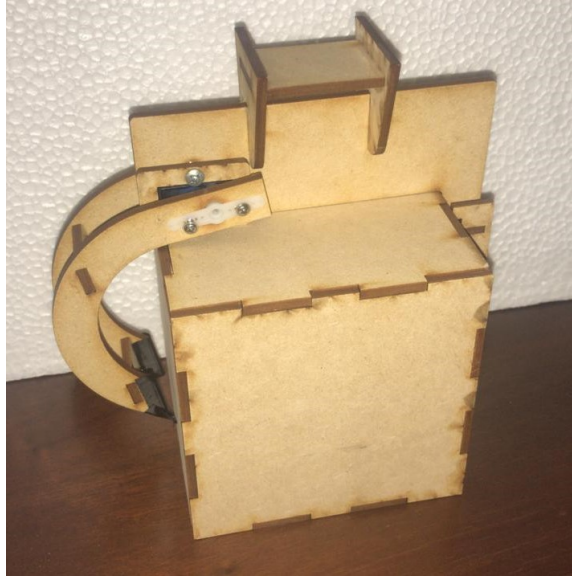


Figura 23: Diseño gripper físico versión 1

#### 7.4.2. Versión 2

Debido a las fallas que presentaba la primera versión del gripper, se diseñó otro gripper con el mismo concepto de una parte fija y otra parte móvil, pero ahora con un movimiento lineal, el servo motor es el encargado de realizar el movimiento del piñón para mover la cremallera, y así poder ajustar de manera más segura al cubo, se aumento el área de contacto y se agregó mayor fricción entre ellos. A pesar de esto al momento de tenerlo físico, este presentó puntos débiles en la parte fija, por lo que se tiene que reforzar y diseñar mejor esa parte.

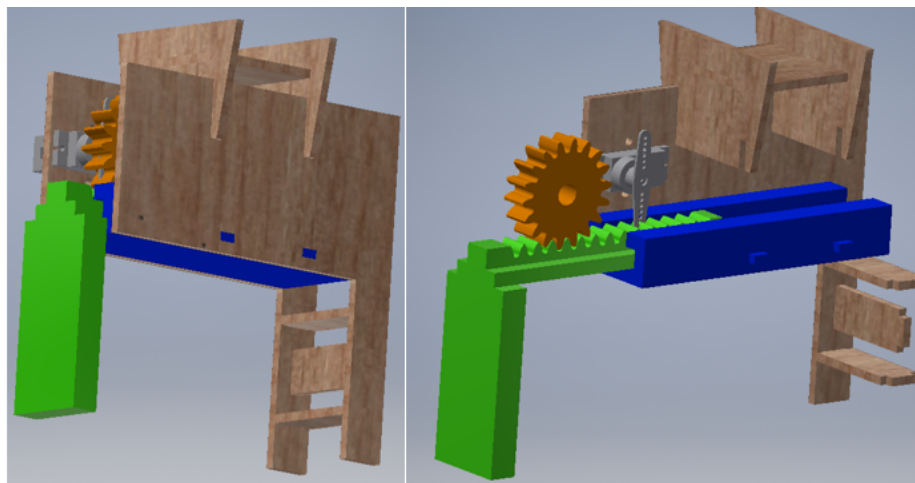


Figura 24: Diseño gripper versión 2

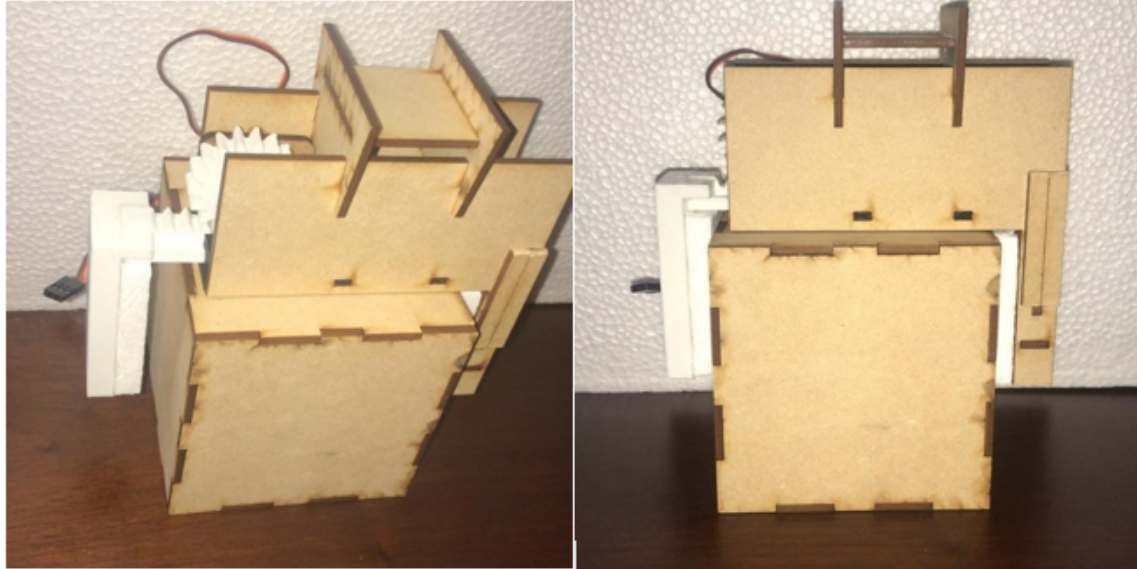


Figura 25: Diseño gripper físico versión 2

#### 7.4.3. Versión 3

Al identificar los puntos débiles del diseño anterior, se mejoró para poder fortalecerlos; de un material de 3mm de grosor se cambió a uno de 5mm para poder darle mas rigidez, y al lugar donde se identificó que se podía tener alguna fractura, se cambió el diseño para ya poder asegurar esa parte. Se adaptó el piñón al servomotor agregándole una ranura para poder pegarlo al adaptador de dicho motor. Se realizó dicho prototipo físicamente, y este presentó una estructura mucho más sólida y deseada, y ya no posee fracturas en su diseño.

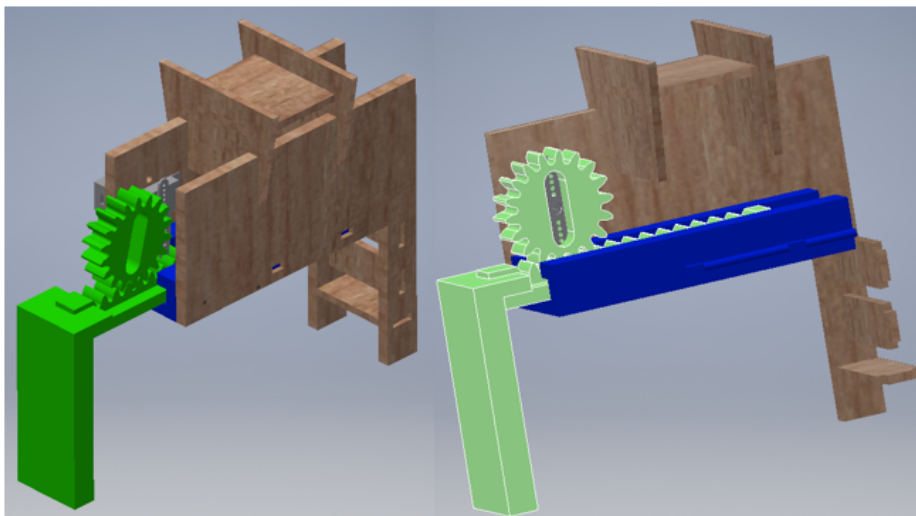


Figura 26: Diseño gripper versión 3

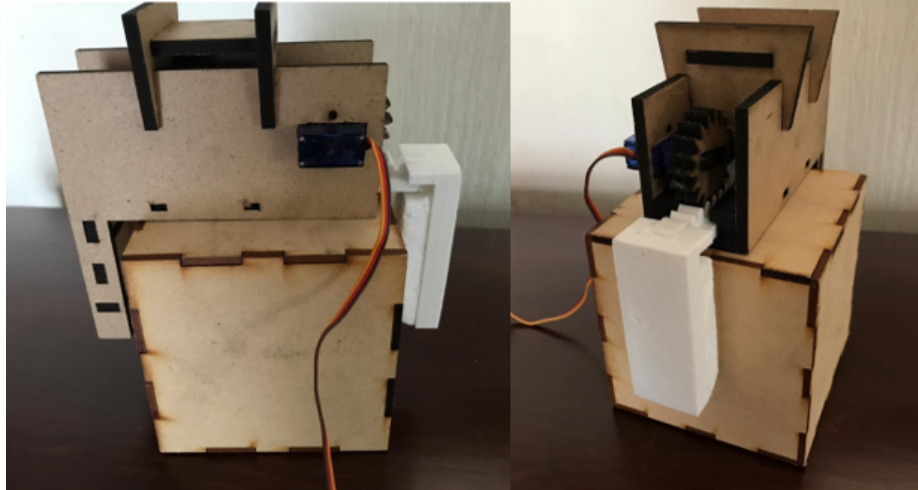


Figura 27: Diseño gripper físico versión 3

#### 7.4.4. Versión 4 - Final

Debido a que se cambiaron los mecanismos de movimiento, se rediseño la estructura de sujeción, manteniendo el mecanismo de agarre y movimiento piñón cremallera. Se sustituyó el servomotor convencional por un Motor DC de 24V. El gripper se acopla al mecanismo de movimiento del eje Z por un costado por medio de dos tornillos. Para poder controlar el movimiento y estado del gripper se agregó un final de carrera. Para asegurar que el gripper sujete de manera correcta se agregaron cuatro gomas en cada uno de los dedos, para incrementar la fricción con el objeto.

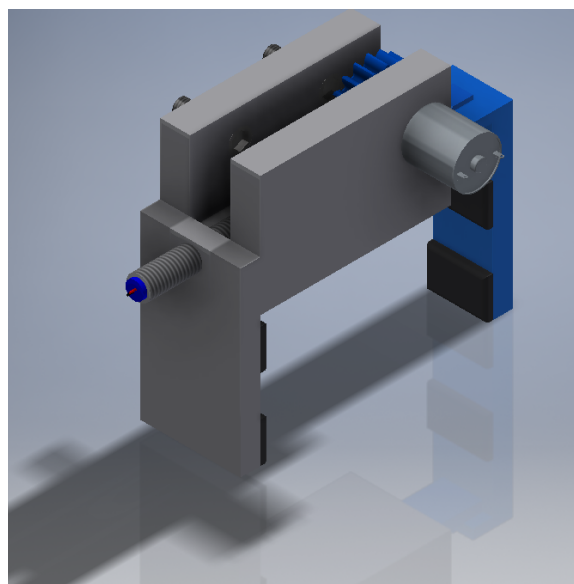


Figura 28: Diseño gripper versión final.

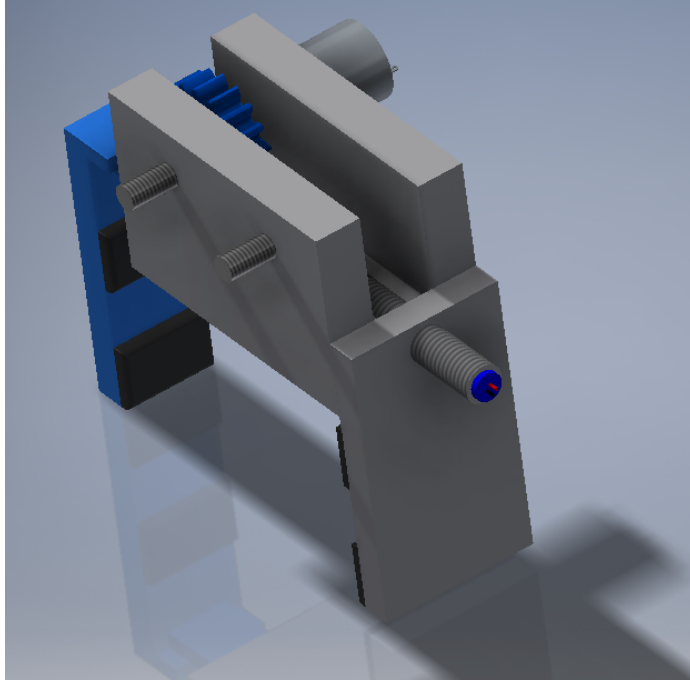


Figura 29: Diseño gripper final vista 2.

#### 7.4.5. Versión gripper de vacío - Final

Para enriquecer el módulo almacenador, se propone un gripper de vacío. Analizando el objeto a manipular esta fabricado de madera, es una solución viable, efectiva y precisa para sujetar los objetos. La ventosa utilizada es una Festo ESG-30-SN-HD-QS, con un diámetro de la ventosa de 30mm, con forma redonda plana y una posición de montaje vertical, la cual va atornillada al final del mecanismo de movimiento del eje Z.

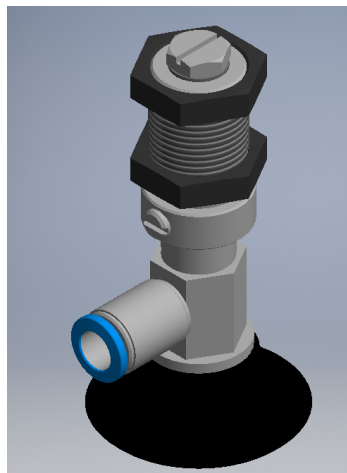


Figura 30: Diseño gripper de succión final.

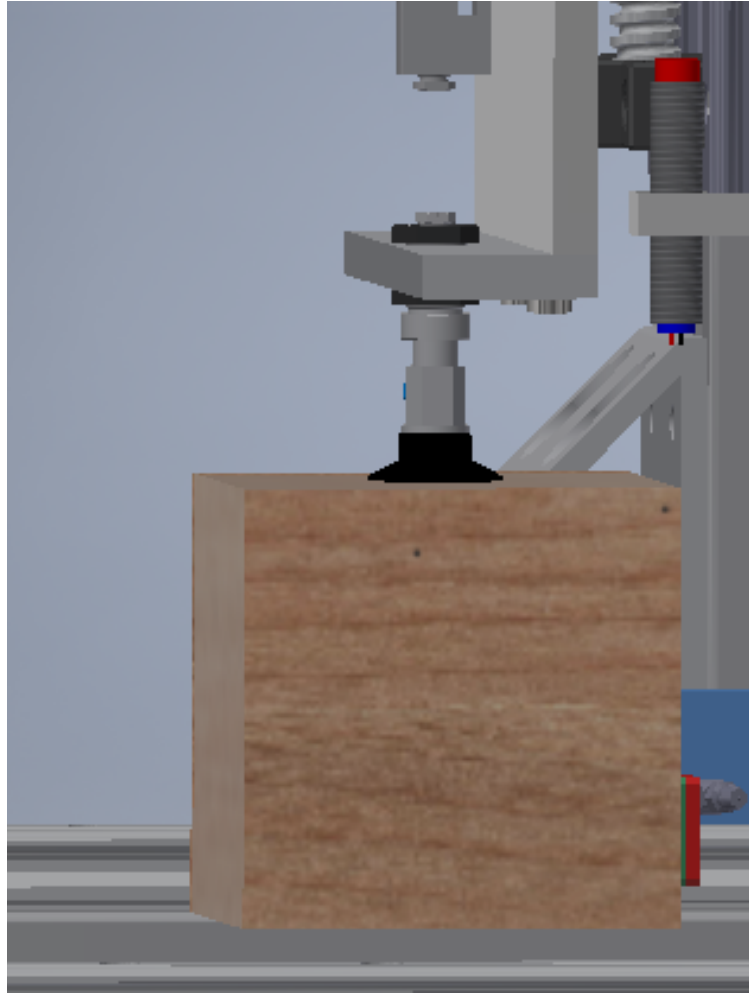


Figura 31: Diseño gripper de succión, montado en el diseño.

## 7.5. Recibidor

Para lograr la posición de los cubos en un lugar específico, se vio en la necesidad de diseñar un recibidor de cajas proveniente de las bandas, para que el gripper siempre los recoja en un lugar específico.

### 7.5.1. Versión 1

La versión 1 del recibidor esta echo de madera, recibe los objetos a la altura de las bandas transportadoras; las bandas del módulo anterior deja las cajas en el recibidor, este tiene una pequeña pendiente y un reductor, lo que asegura que los cubos siempre van a estar en la misma posición, y no habrá problema si vienen desfasados o movidos.

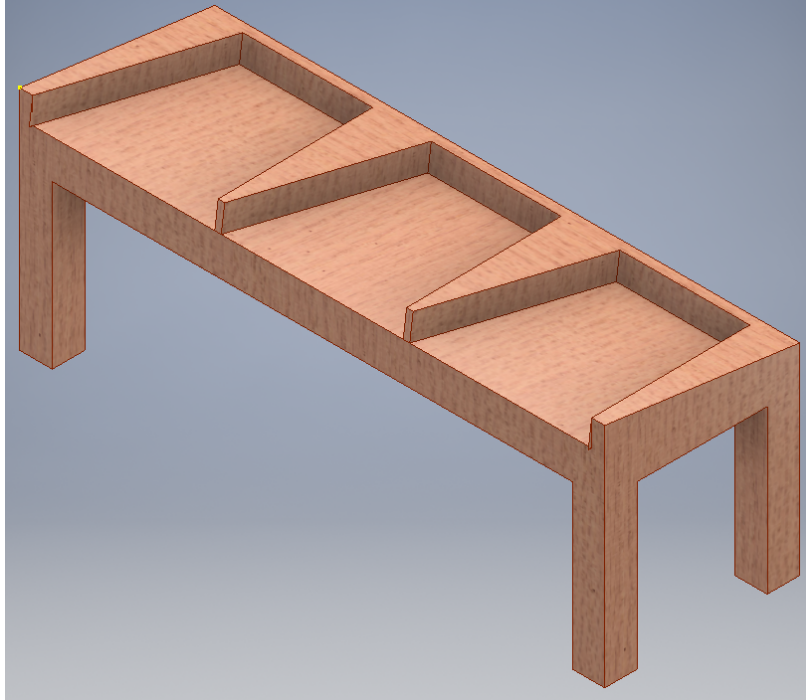


Figura 32: Diseño de recibidor versión 1

### 7.5.2. Versión 2 - Final

La versión final del recibidor de objetos se realizó de aluminio, inspirado en los deslizadores de aluminio encontrados en la industria. Deja los objetos a la altura de la bandeja, para estandarizar el movimiento del eje Z a una sola altura tanto para recoger objetos como entrega de ellos. Posee paredes más altas para asegurar el correcto movimiento de los objetos de la banda hacia la posición final.

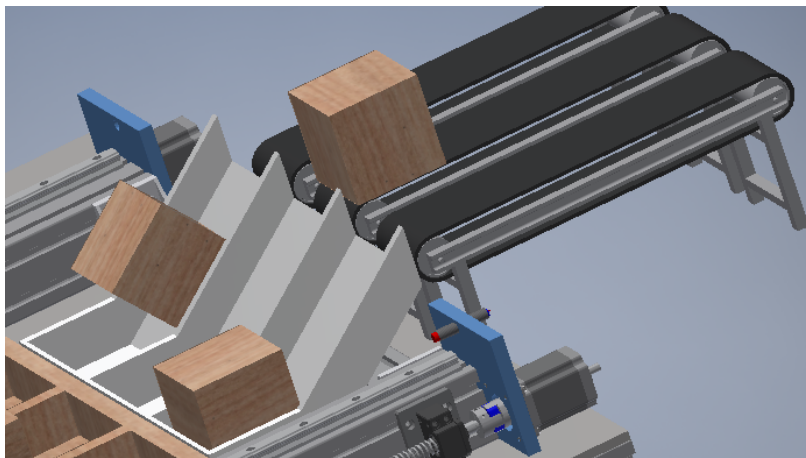


Figura 33: Diseño de recibidor versión final implementado en el diseño.

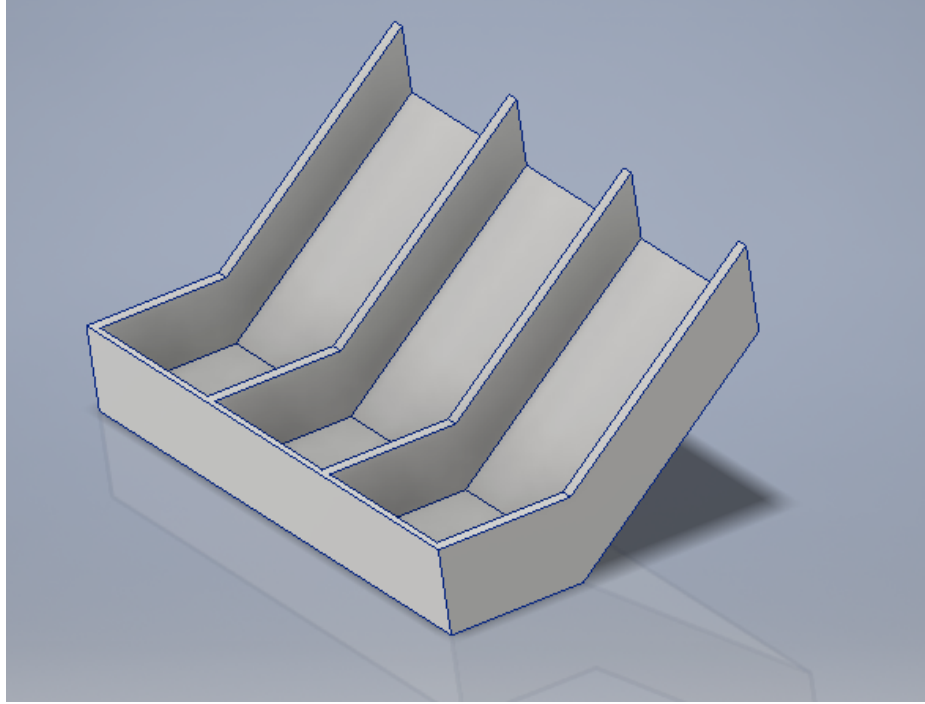


Figura 34: Diseño de recibidor versión final.

## 7.6. Base de bandeja

Es necesario que la bandeja o contenedor de los objetos siempre se coloque en el mismo lugar, para asegurar que el gripper los coloque en el mismo lugar siempre si necesidad de ajustarlo, para ellos se diseño una base para las bandejas, que tiene un trabado y se ajusta perfectamente para abrazar a la bandeja, y asegurar que esta nunca se ponga en un diferente lugar.

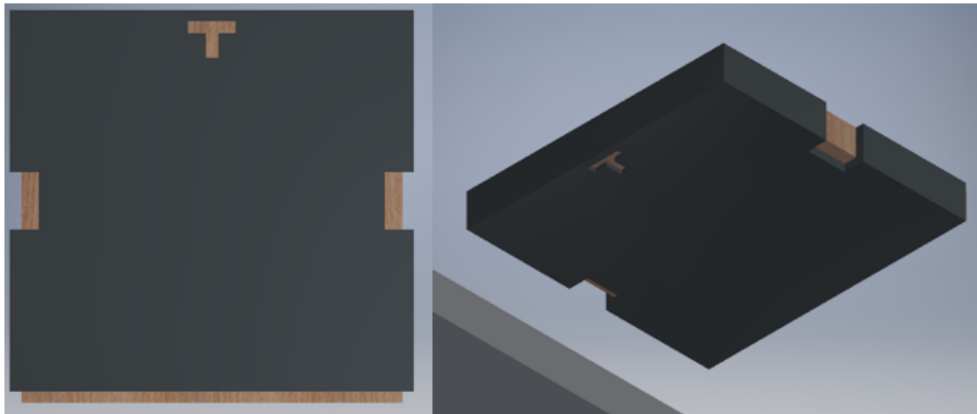


Figura 35: Diseño de base de bandeja versión 1.

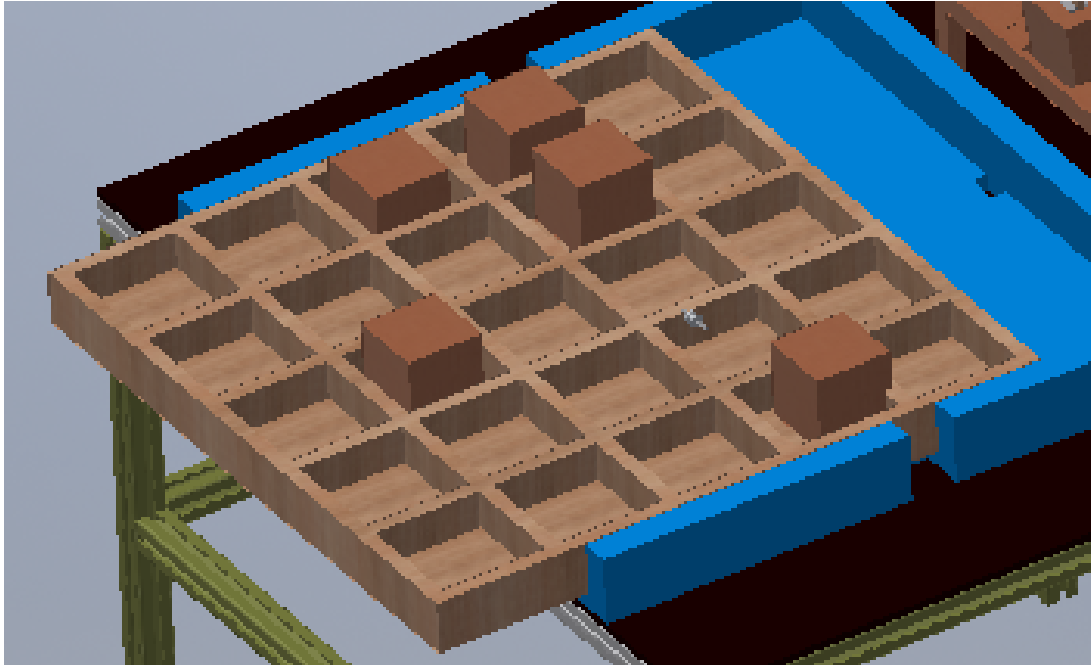


Figura 36: Diseño de base de bandeja versión 1.

### 7.6.1. Versión 2 - Final

Tomando en cuenta que se redujo el tamaño de la bandeja, se reajustó la base. La versión final de la bandeja esta echa de acero inoxidable, que va fijada a la mesa.

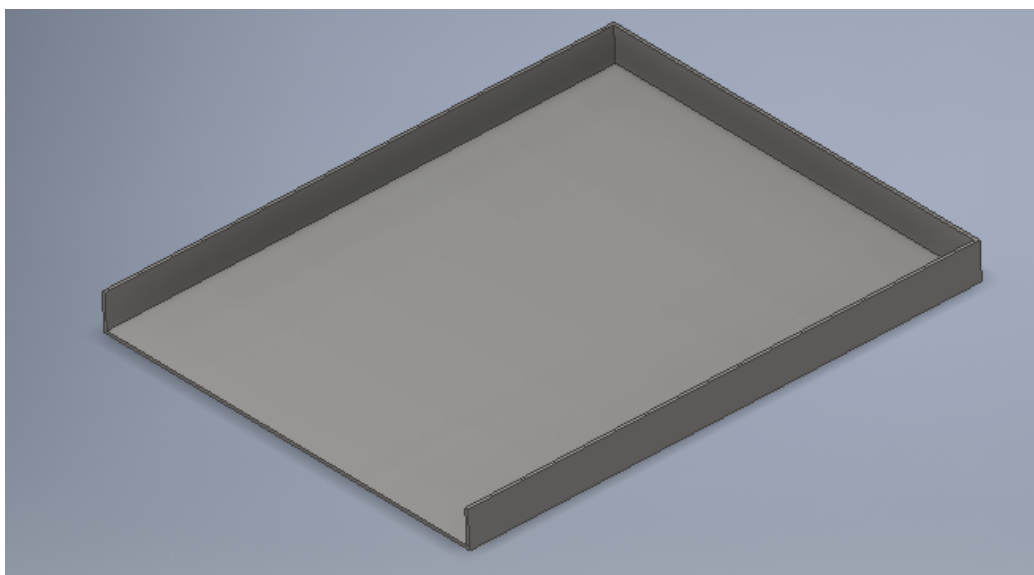


Figura 37: Diseño de base de bandeja versión final.

## 7.7. Movimiento eje x y eje y

Con el fin de reducir costos y aprovechar las herramientas que se poseen en la Universidad, se utilizaran los servo motores AC de la marca OMRON, se poseen dos servos por lo que el diseño se basó en poder realizar los dos movimientos, con solo dos motores. Se diseñó de forma en que el encargado del movimiento en el eje x, mueva un tornillo sin fin, y este le transmita el movimiento a dos bandas, las cuales mueven la base del motor encargado del eje y, estos movimientos se dan gracias a que las bases tienen rodamientos lineales que se mueven en dos varillas fijas.

### 7.7.1. Versión 1

El primer diseño del mecanismo de movimiento se puede observar en la Figura 15, pero se descartó ya que no cumplía con las dimensiones adecuadas para el diseño que se requería; se desperdiciaba mucho espacio, y no estaba diseñado para los motores que se tenía a disposición en la Universidad.

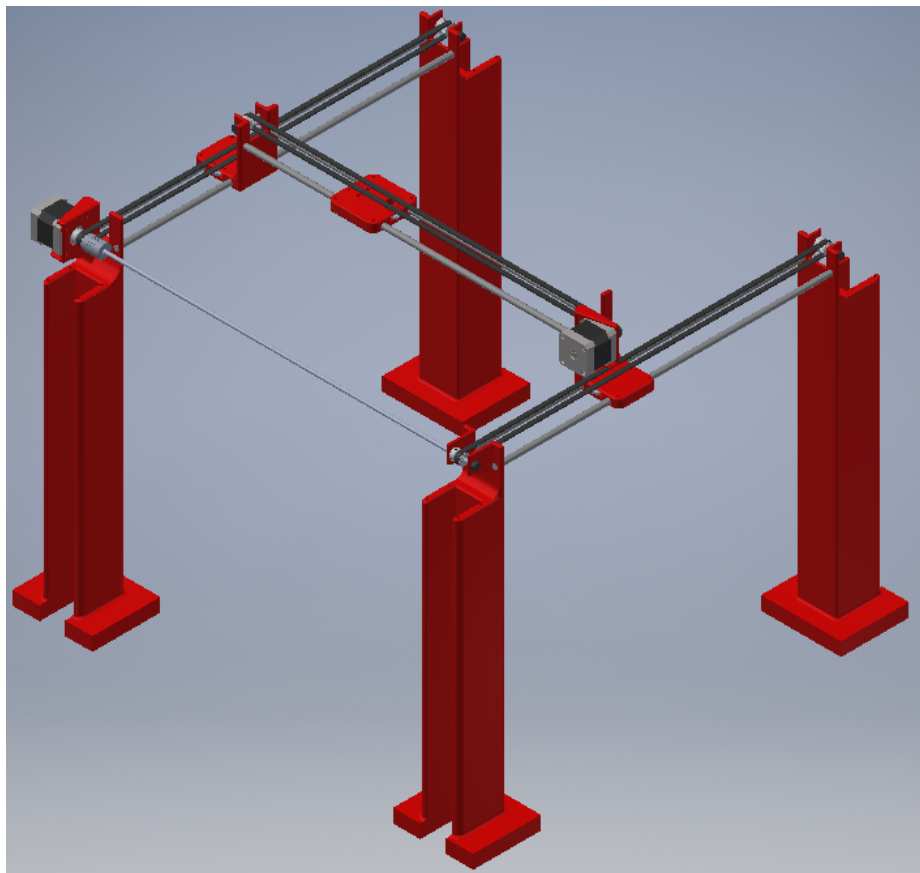


Figura 38: Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 1.

### 7.7.2. Versión 2

Debido a que se redimensionó todo el proyecto, como se observó en el montaje de la Figura 16, se diseñó nuevamente las estructuras de los mecanismos de movimiento para que estos pudieran abarcar más espacio; debido a que estos tienen que soportar más peso y recorrer más distancia, se reforzaron todos los componentes como los cojinetes lineales, varillas, bandas entre otros.

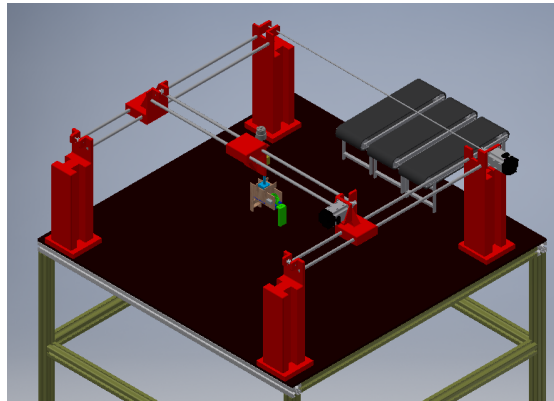


Figura 39: Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 2

### 7.7.3. Versión 3

Ya que las bases de los movimientos se tenían que mandar a hacer con un herrero, se buscó otra alternativa que lograra facilitar la fabricación de dicha parte, por lo que se rediseñaron las bases y se usaron perfiles de aluminio, ya que estos son piezas prefabricadas que facilitan su uso y son más accesibles de conseguir, más fácil de maniobrar y de instalar. Dicho cambio se puede observar en la Figura 17, correspondiente al montaje 4.

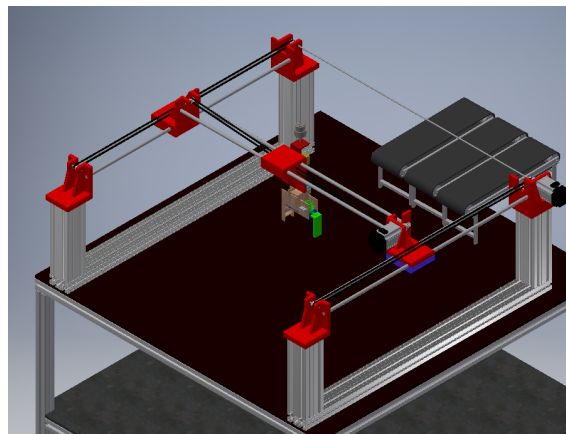


Figura 40: Diseño del mecanismo de movimientos eje x y eje y versión 3

Se utilizaron perfiles de aluminio de 8x8 cm y de 8x4 cm, la primera es la que soporta a las bases superiores encargadas del movimiento, y la segunda se utilizó para poder fijar las primeras a la mesa, estas también funcionan como rieles en dado caso se quiera ajustar la posición de las bases superiores.

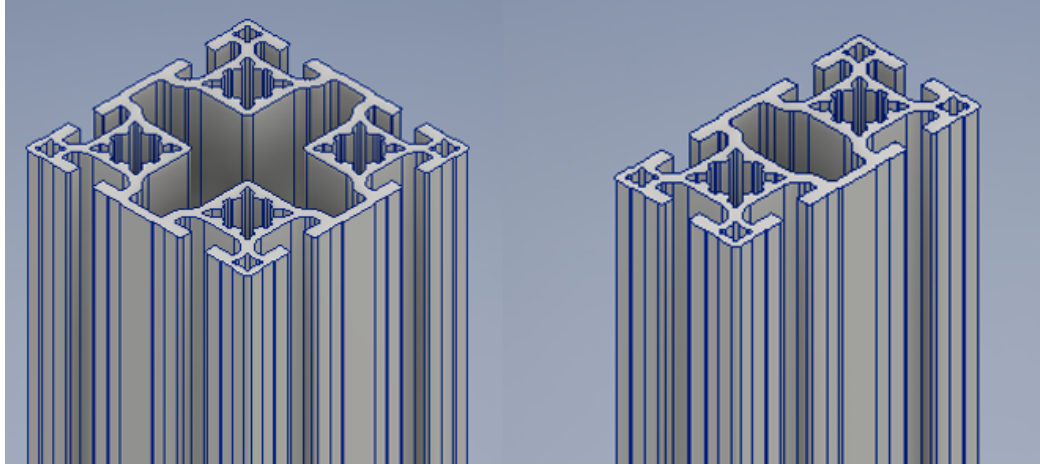


Figura 41: Perfiles de aluminio utilizados en la estructura de los mecanismos de movimiento

Se reforzaron las bases superiores para poder asegurar su rigidez, ya que estos se van a imprimir en una impresora 3D con el material PLA. Se imprimió un prototipo para comprobar su estructura y tamaño.

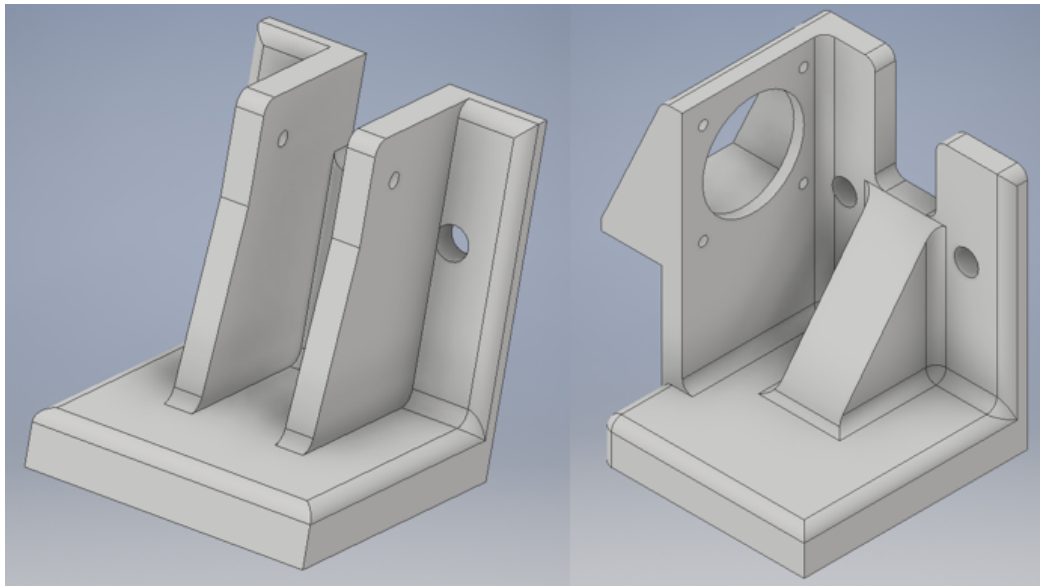


Figura 42: Bases superiores del mecanismo de movimiento para los ejes x y y

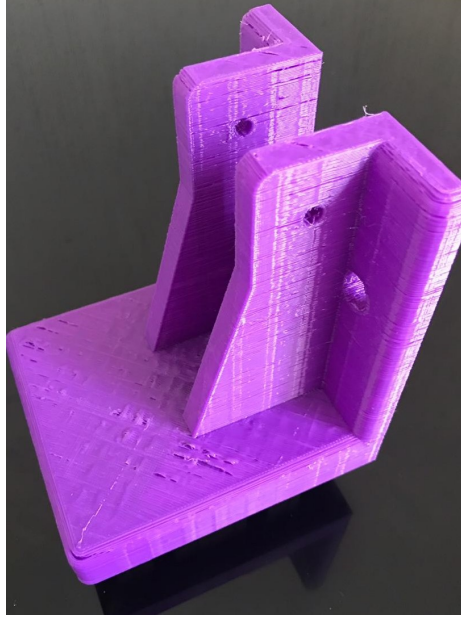


Figura 43: Base superior impresa con PLA en impresora 3D.

## 7.8. Movimiento eje z

Este mecanismo es el encargado de mover el gripper en el eje z, dicho mecanismo va anclado a la base del movimiento en el eje y. El diseño consta de un motor DC convencional, que esta anclado a un tornillo sin fin que mueve una pieza, dicha pieza es la encargada mover la garra como se muestra en la Figura 44. A este mecanismo se le agregaron dos finales de carrera para poder saber controlar el sistema.

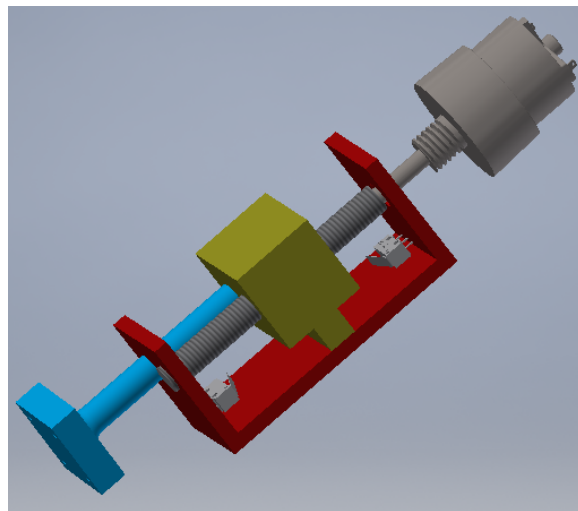


Figura 44: Diseño de movimiento eje z versión 1

## 7.9. Mecanismos de movimiento eje X, Y y Z - Final

El diseño final de los mecanismos de movimientos de los ejes X, Y y Z, se cambiaron completamente a la versión anterior, con la finalidad de mejorar el diseño anterior, dicho mecanismo se inspirado en el funcionamiento de los mecanismos de Control Numérico Computarizado o CNC. En este nuevo diseño se utilizarán motores paso a paso NEMA 23, la estructura principal está construida a base de perfiles de aluminio que nos facilita su construcción, fácil acoplamiento a los componentes y provee de más rigidez a la estructura, para la unión de los mecanismos se usaron plates de aluminio prefabricados y acoples de perfiles de aluminio.El movimiento de los mecanismos, para que se pueda dar el traslado correcto de las piezas se utilizaron rieles lineales y tornillos sin fin. Para poder controlar los movimientos del mecanismo se posicionaron finales de carrera en todas las coordenadas, para así poder recoger y almacenar los objetos de manera precisa.

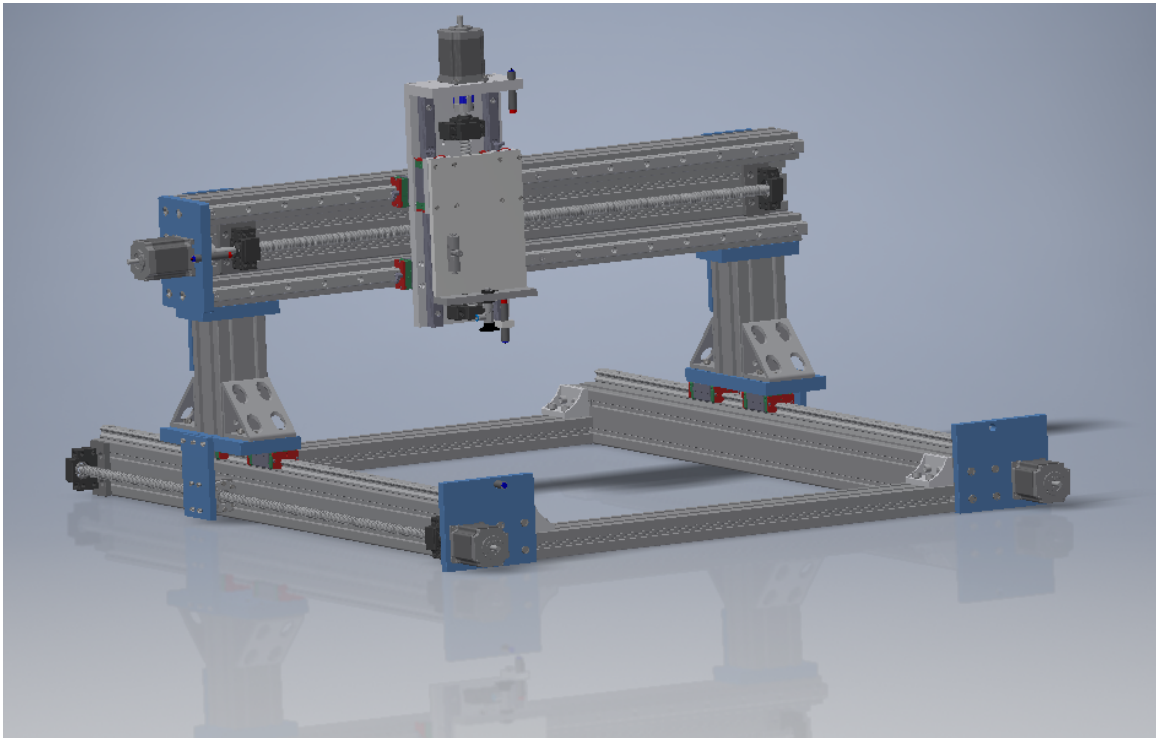


Figura 45: Diseño completo de mecanismos de movimiento versión final.

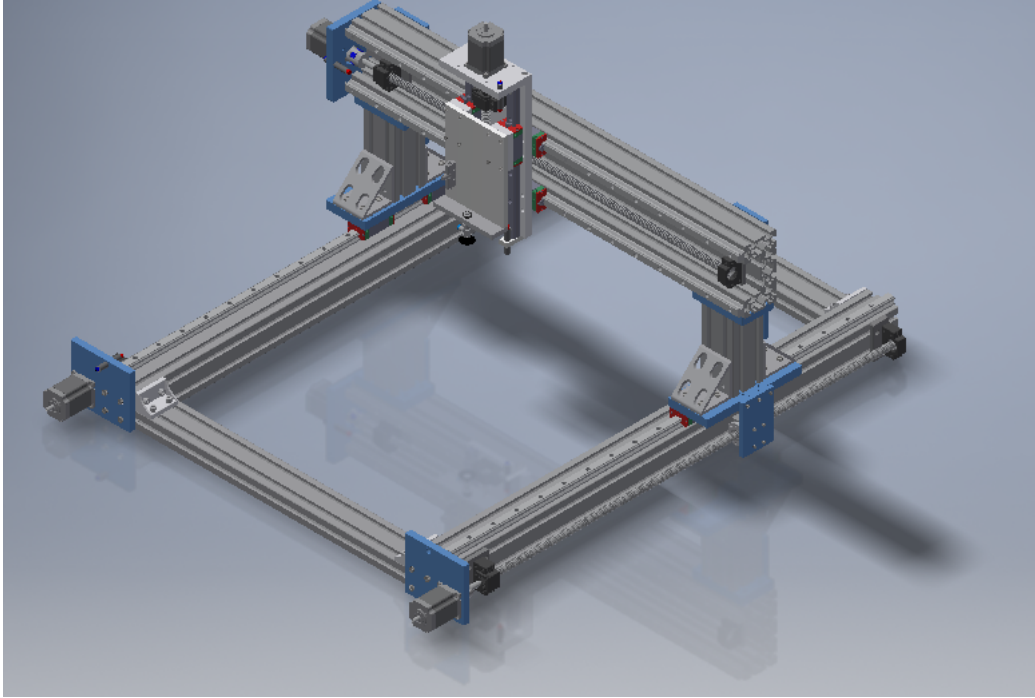


Figura 46: Diseño de mecanismos de movimiento versión final.

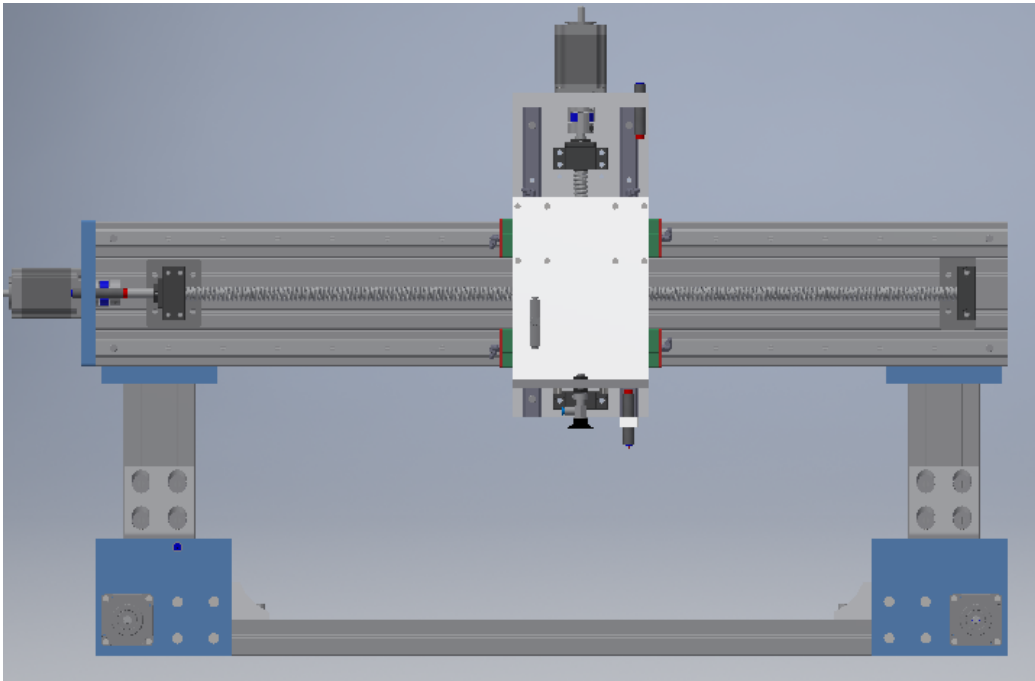


Figura 47: Diseño de mecanismos de movimiento versión final, vista posterior.

### 7.9.1. Eje X:

El mecanismo de movimiento del eje X tiene un desplazamiento de hasta 890 milímetros, cubriendo así el plano de trabajo en donde se encuentra la bandeja a llenar. Este mecanismo se desliza sobre el mecanismo del eje Y, y en sus rieles se encuentra el mecanismo del eje Z. El mecanismo está compuesto por los materiales descritos en el Cuadro 5:

#### Componentes:

Componentes Eje X	Cantidad
Perfil de aluminio 80mmx40mm	3pza x 1000mm
Perfil de aluminio 80mmx80mm	2pza x 170mm
Tornillo de Bola 1605	1pza x 1000mm
SFU1605 Doble	2
Plates de Aluminio	10
Riel Lineal HGR20	2pza x 1000mm
HIWIN HGH20CA	4
BK12	1
BF12	1
40-4338	4
Nema 23	1
Final de Carrera	1
Acople motor 8-10	1

Cuadro 5: Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje X.

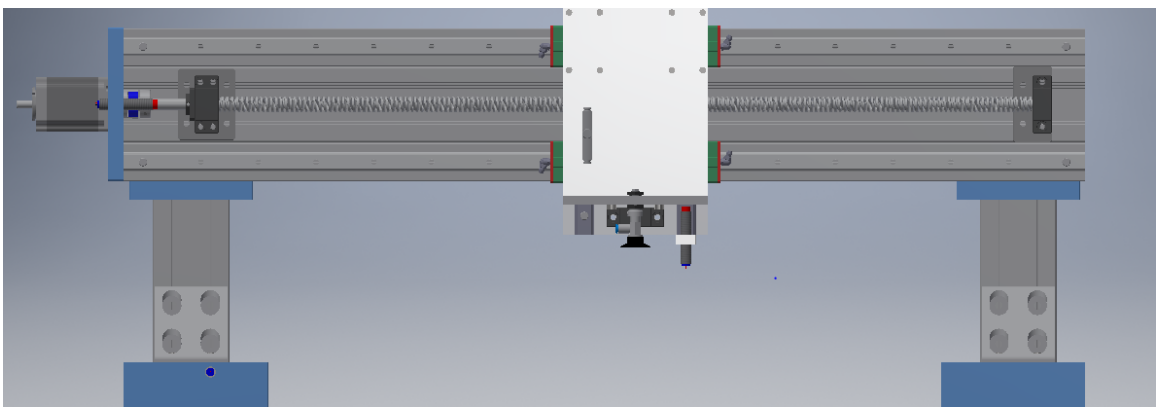


Figura 48: Diseño de mecanismos de movimiento del eje X versión final.

### 7.9.2. Eje Y:

El mecanismo de movimiento del eje Y es el más largo de todos, ya que tiene un desplazamiento de hasta 1100 milímetros, cubriendo así el plano de trabajo en donde se encuentra la bandeja a llenar y el receptor. Este mecanismo está puesto sobre la mesa de trabajo y en sus rieles mueve al eje X. El mecanismo está compuesto por los materiales descritos en el Cuadro 6:

#### Componentes:

Componentes eje Y	Cantidad
Perfil de aluminio 80mmx40mm	2pza x 700mm
Perfil de aluminio 80mmx80mm	2pza x 1150mm
Soporte perfiles de aluminio	4
Tornillo de bola 1605	2pza x 1050mm
Plates de aluminio	2
Riel lineal HGR20	2pza x 1050mm
BK12	2
BF12	2
Nema 23	2
Final de carrera	2
Acople motor 8-10	2

Cuadro 6: Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje Y.

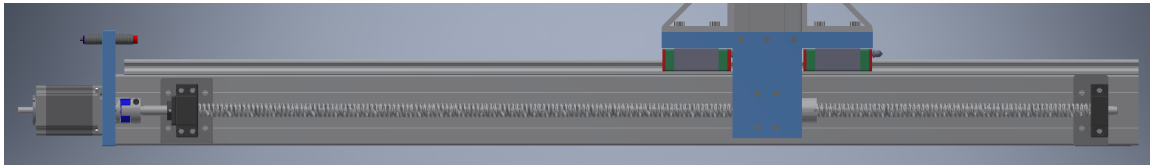


Figura 49: Diseño de mecanismos de movimiento del eje Y versión final.

### 7.9.3. Eje Z:

El mecanismo de movimiento del eje Z tiene un desplazamiento de 190 milímetros, esta altura es la necesaria para levantar los objetos del receptor, a una altura suficiente para que no obstruya nada del plano de trabajo y deje a los objetos en la bandeja. Este mecanismo se desliza sobre el mecanismo del eje X. El mecanismo está compuesto por los materiales descritos en el Cuadro 7:

**Componentes:**

<b>Componentes eje X</b>	<b>Cantidad</b>
Tornillo de bola 1605	1pza x 300mm
SFU1605	1
Plates de aluminio	7
Riel lineal HGR20	2pza x 340mm
HIWIN HGH20CA	6
BK12	1
BF12	1
Nema 23	1
Final de carrera	1
Acople motor 8-10	1

Cuadro 7: Componentes que conforman el mecanismo de movimiento del eje Z.

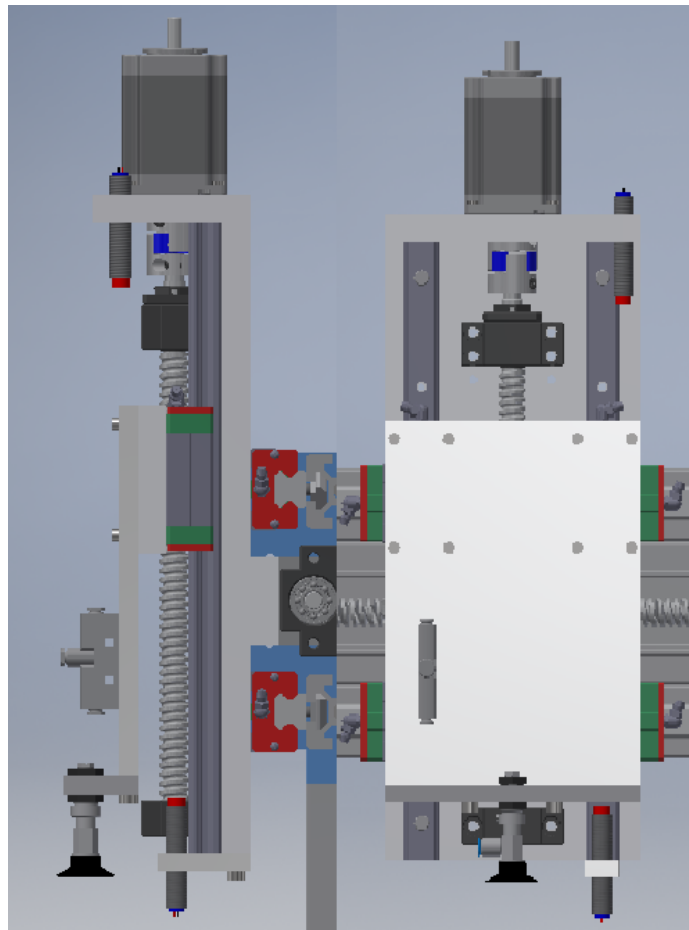


Figura 50: Diseño de mecanismos de movimiento del eje Z versión final.

## 7.10. Especificaciones técnicas del diseño, versión 3

### 7.10.1. Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento eje X y Y

Con el fin de encontrar la eficiencia del sistema, se calculará la velocidad a la cual se transportan los productos. Ya que la velocidad del mecanismo realizado para el movimiento general tanto en el eje X como en el Y, es determinado por el servomotor AC, podemos encontrar las diferentes velocidades a las cuales estos mecanismos se pueden mover. Refiriéndonos a la ecuación 1, la velocidad tangencial es la que nos indicará dicha velocidad.

Siendo de  $3,000rpm$  la velocidad máxima del servomotor, se calculan diferentes velocidades a las que se puede mover el mecanismo, debido a que esta velocidad se encuentra en  $rpm$  es necesario convertirla a  $rad/s$ :

$$3000rpm = \frac{3000rev}{1min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1min}{60s} = 314.16rad/s$$

El radio del GT2 al cual está sujeta la banda, es de  $5mm$ , lo que equivale a  $0.005m$ , teniendo todos los datos ya se procede a calcular la velocidad del mecanismo.

$$V_t = 314.16rad/s * 0.005m = 1.571m/s$$

En la Cuadro 8 , se pueden encontrar diferentes velocidades a las cuales puede moverse el mecanismo dependiendo las  $rpm$  a las que gire el servomotor.

rpm	rad/s	r(m)	Vt (m/s)
3000	314.16	0.005	1.57
2000	209.44	0.005	1.05
2500	261.80	0.005	1.31
1000	104.72	0.005	0.52
500	52.36	0.005	0.26
250	26.18	0.005	0.13

Cuadro 8: Velocidades del mecanismo dependiendo las  $rpm$  a las que gire el servomotor.

Para poder conocer el tiempo ( $t$ ) en el cual los mecanismos pueden llegar de un punto a otro, se debe de utilizar la ecuación 2.

$$t = \frac{d}{V} \tag{2}$$

Donde:

- $t$  es la distancia que recorre el mecanismo ( $m$ ).
- $V$  es la velocidad a la que va el mecanismo ( $m/s$ ).

La distancia para el mecanismo del eje X es de  $0.92m$ , y para el eje Y es de  $0.88m$ , en el Cuadro 9, están los diferentes tiempos que se tarda el sistema dependiendo las velocidades calculadas en el Cuadro 8, y el eje en que se encuentren.

Vt (m/s)	Distancia eje X	Distancia Eje Y	Tiempo eje X (s)	Tiempo eje Y (s)
1.57	0.92	0.88	0.59	0.56
1.05	0.92	0.88	0.88	0.84
1.31	0.92	0.88	0.70	0.67
0.52	0.92	0.88	1.77	1.69
0.26	0.92	0.88	3.54	3.38
0.13	0.92	0.88	7.08	6.77

Cuadro 9: Tiempos en recorrer la distancia total los mecanismos de movimiento del eje X y Y.

### 7.10.2. Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento Z

#### Tornillo sin fin

El tornillo seleccionado es de estándar ISO, tiene un diámetro de  $10mm$  y un paso de  $1.5$ . El paso está definido según la Figura 51.

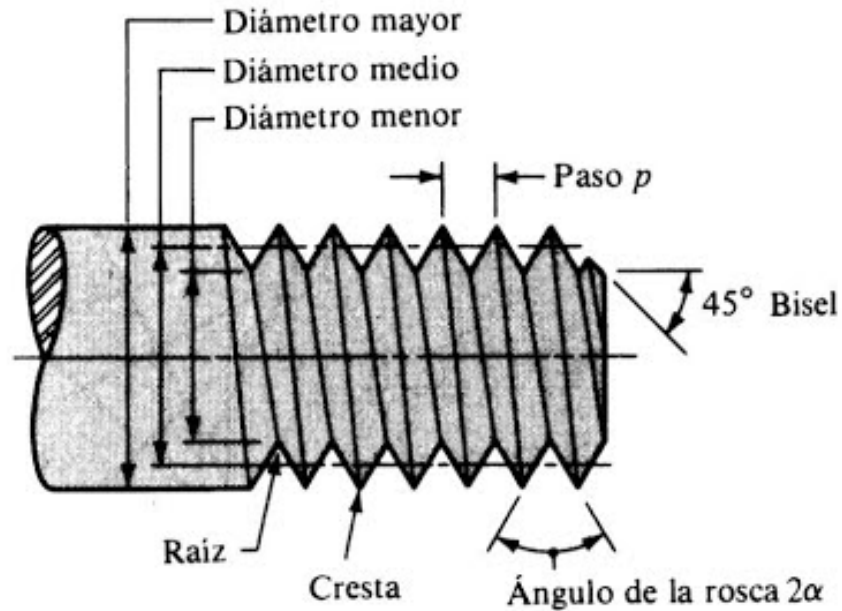


Figura 51: Parámetros de tornillo sin fin.

## Velocidad y tiempo

El mecanismo del eje Z, consta de un motor DC de 24V, que va anclado a un tornillo sin fin que mueve a la garra de arriba a abajo, para poder idealizarlo mejor ver la Figura 44. Para saber la velocidad en que se mueve dicho mecanismo es necesario saber la siguiente ecuación:

$$V = \frac{w * paso}{60s} \quad (3)$$

Donde:

- $V$  es la velocidad a la que va el mecanismo ( $m/s$ ).
- $paso$  es el paso del tornillo sin fin.
- $w$  es la velocidad a la que gira el motor ( $rpm$ ).

Por lo tanto, se sabe que el paso del tornillo sin fin es de 1.5 y el motor tiene un rango de velocidad de  $10rpm$  a  $600rpm$ . Las diferentes velocidades, dependiendo de las  $rpm$  que tenga el motor se pueden ver en el Cuadro 10.

rpm	paso	V (m/s)
10	1.5	0.000
300	1.5	0.008
400	1.5	0.010
500	1.5	0.013
600	1.5	0.015

Cuadro 10: Velocidad del mecanismo de movimiento del eje z dependiendo la velocidad del motor.

Para calcular el tiempo que se tarda en subir o bajar la garra el mecanismo de movimiento del eje Z, se utilizará la ecuación 2. En este caso la distancia a recorrer es de  $0.085m$ , las velocidades se encuentran en el Cuadro 10. Los tiempos que se tarda en subir o bajar la distancia total el mecanismo de movimiento del eje Z se encuentran en el Cuadro 11.

V (m/s)	Distancia	Tiempo (s)
0.0003	0.085	283.33
0.008	0.085	10.63
0.01	0.085	8.50
0.013	0.085	6.54
0.015	0.085	5.67

Cuadro 11: Tiempos que se tarda en subir o bajar el mecanismo de movimiento del eje Z.

## Fuerza

La ecuación para calcular la fuerza del mecanismo de movimiento del eje z está descrita por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\tau * d^2 * \pi}{2 * paso} \quad (4)$$

Donde:

- $F$  Es la fuerza.
- $\tau$  Es el torque del motor =  $0.5kg/cm=50kg/m$ .
- $d$  es el diámetro del tornillo sin fin =  $10mm=0.01m$ .
- $paso$  es el paso del tornillo sin fin = 1.5.

La fuerza del sistema, tomando en cuenta que se utiliza el torque mínimo del motor es de:

$$F = \frac{50kg/m * 9.8m/s^2 * (0.01m)^2 * \pi}{2 * 0.0015m} = 51.31N$$

## Análisis del mecanismo

Para comprobar que el mecanismo del eje Z, puede levantar a los objetos y a la garra, es necesario determinar el peso de estos objetos. La garra tiene una masa de  $0.15kg$ , y el producto a levantar tiene  $0.11kg$  como máximo. La segunda ley de Newton determina que

$$F = m * a$$

Donde:

- $F$  es la Fuerza resultante.
- $m$  es la masa del objeto.
- $a$  es la aceleración.

Por lo tanto el peso de la garra más el objeto sería de

$$F_{garra+producto} = (0.15kg + 0.11kg) * 9.8m/s^2 = 2.55N$$

El mecanismo de movimiento del eje Z, con el torque mínimo del motor tiene una fuerza de  $51.31N$ , por lo que puede levantar sin ningún problema a la garra con el producto que juntos suman un peso de  $2.55N$ .

Acción	tiempo (s)
Recorrer eje X	1.77
Recorrer eje Y	1.69
Recorrer eje Z	6.54

Cuadro 12: Tiempos seleccionados para cada mecanismo de movimiento.

### 7.10.3. Eficiencia del módulo

Para poder calcular el tiempo de ciclo se van a utilizar los tiempos medios de los Cuadros 22 y 11, así tener un estimado de la eficiencia del módulo. Los tiempos seleccionados se encuentran en el Cuadro 12.



Figura 52: Gráfica de tiempo vs etapa para un ciclo.

El ciclo consta de las siguientes etapas:

- Etapa 1: Eje x se mueve a la posición arriba del producto.
- Etapa 2: Eje z baja a traer el producto.
- Etapa 3: Eje z sube con el producto.
- Etapa 4: Eje x se alinea al lugar donde se desea dejar el producto.
- Etapa 5: Eje y se mueve a la ubicación donde se desea dejar el producto.
- Etapa 6: Eje z baja el producto.
- Etapa 7: Eje z sube la garra.
- Etapa 8: eje y regresa a recoger otro producto.

Como se puede observar en la Figura 52, el ciclo para agarrar un objeto, dejarlo en el contenedor y regresar a la base de entregas es de  $33.08\text{segundos}$ , por lo que para llenar todo el contenedor, al cual le caben 25 productos, se tardaría  $827\text{segundos}$  o  $13\text{minutos}46\text{segundos}$ .

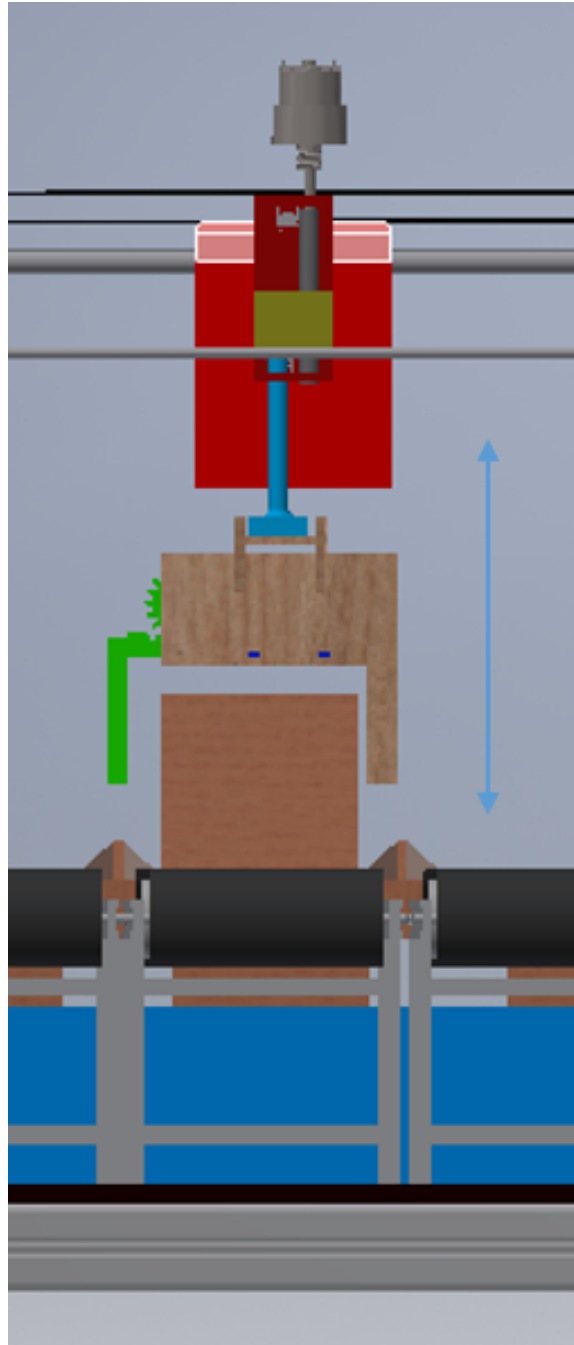


Figura 53: Ejemplificación de movimiento eje Z.

## 7.11. Especificaciones técnicas del diseño, versión final

### 7.11.1. Descripción y características de los componentes utilizados

#### Perfiles de aluminio

Se utilizaron perfiles de aluminio de dos tamaños: de 80mmx80mm y de 80mmx40mm.

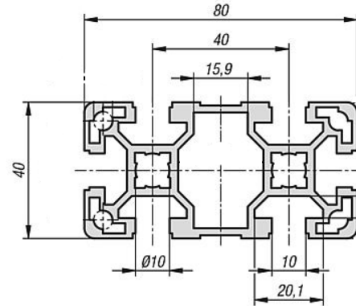


Figura 54: Dimensiones de perfil de aluminio 80mmx40mm.

Referencia	Anchura de ranura	Perfil	Largo	Peso aprox. kg/m
Perfil de aluminio 80mmx40mm	10	80x40	Maximo 6000	2.67

Cuadro 13: Especificaciones de perfil de aluminio 80mmx40mm

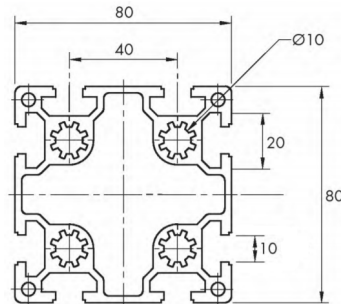


Figura 55: Dimensiones de perfil de aluminio 80mmx40mm.

Referencia	Anchura de ranura	Perfil	Largo	Peso aprox. kg/m
Perfil de aluminio 80mmx80mm	10	80x80	Maximo 5600	4.7

Cuadro 14: Especificaciones de perfil de aluminio 80mmx80mm

## Tornillo de bola - SFU 1605

Hay muchos beneficios en el uso de tornillos de bolas, tales como alta eficiencia y reversibilidad, eliminación de holguras, alta rigidez, alta precisión de avance y muchas otras ventajas. En comparación con los tornillos de avance de la rosca de contacto como se muestra al lado derecho de la Figura 56, un tornillo de bola agrega bolas entre la tuerca y el eje, lado izquierdo de la Figura 56. La fricción deslizante del tornillo convencional se reemplaza así por el movimiento de rodadura de las bolas.

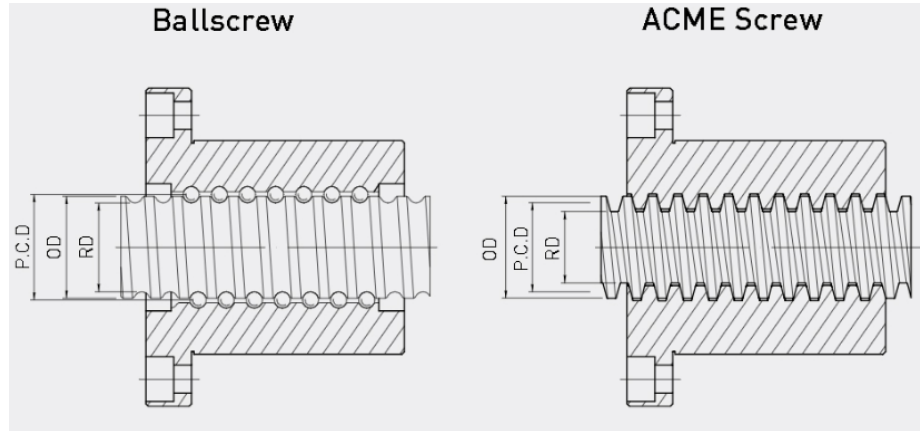


Figura 56: Básico funcionamiento de tornillo de bola contra tornillo convencional de rosca.

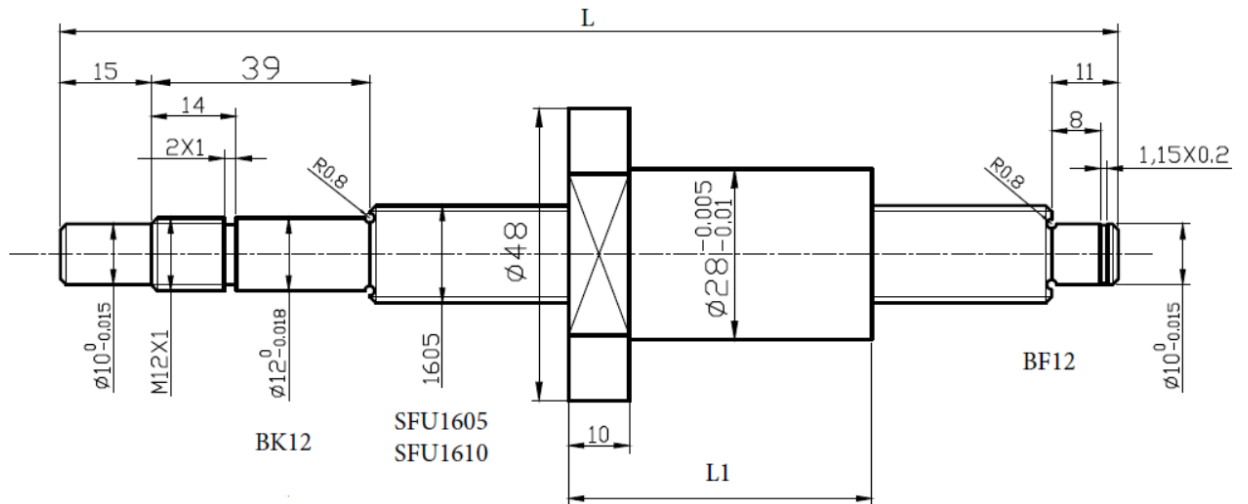


Figura 57: Dimensiones de tornillo de bola, unidades en milímetros.

Referencia	Diámetro mm	Screw	Largo	Base soporte
Tornillo de bola 1605	16	5	Máximo 4000	BKBF12

Cuadro 15: Especificaciones de tornillo de bola, dimensiones en milímetros.

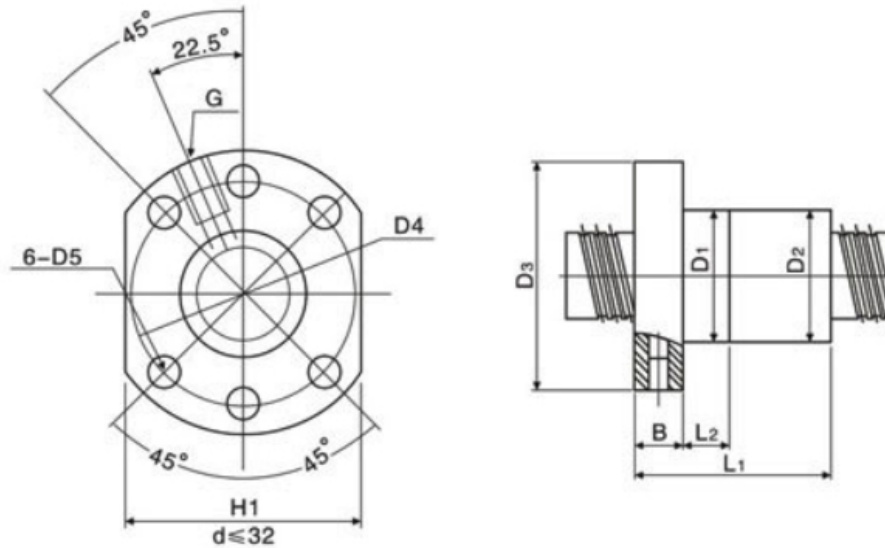


Figura 58: Dimensiones de SFU1605.

Referencia	Diametro	Pitch	D1	D2	D3	D4	D5	L1	L2	B	G	H1
SFU1605	16	5	28	27.8	48	38	5.5	42	10	10	M6	40

Cuadro 16: Especificaciones de SFU1605.

Los tornillos de bolas pueden alcanzar una eficiencia de hasta el 90 por ciento debido al contacto rodante entre el tornillo y la tuerca. Por lo tanto, el requisito de torque es aproximadamente un tercio del de los tornillos convencionales. Se puede ver en la Figura 61 que la eficiencia mecánica de los tornillos de bola es mucho mayor que la de los tornillos convencionales. Los tornillos de bolas tienen un acabado de súper superficie en las pistas de bolas que reducen la fricción de contacto entre las bolas y las pistas de bolas. A través del contacto uniforme y el movimiento de rodadura de las bolas en las pistas de bolas, se logra una baja fuerza de fricción y se aumenta la eficiencia del tornillo de bolas. La alta eficiencia genera un bajo par motor durante el movimiento del husillo de bolas. Por lo tanto, se necesita menos potencia del motor de accionamiento en funcionamiento, lo que resulta en un menor costo de operación.

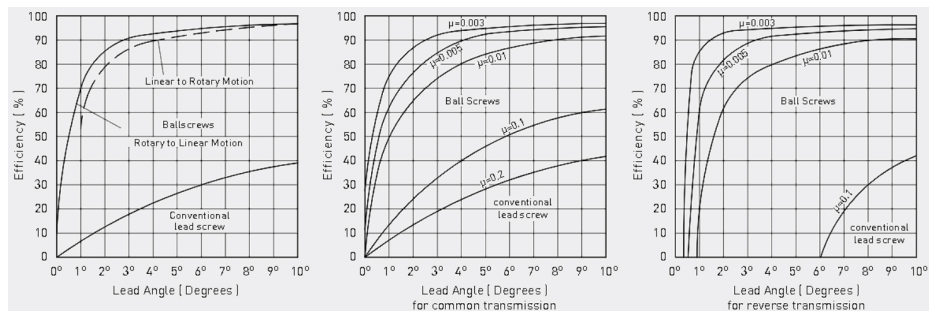


Figura 59: Eficiencia mecánica de tornillo de bola.

### Unidades de soporte BK12-BF12

Las unidades de soporte son una caja de rodamientos para los tornillos de bolas, estos se usan en los extremos de dichos tornillos, para lograr montar el tornillo de bolas en la posición deseada. Su tamaño compacto es fácil de instalar, especialmente en el espacio reducido. Dado que los rodamientos están engrasados y ajustados a la posición adecuada, no hay necesidad de procesos adicionales de alineación o instalación, lo que reduce el tiempo de instalación y el mantenimiento.

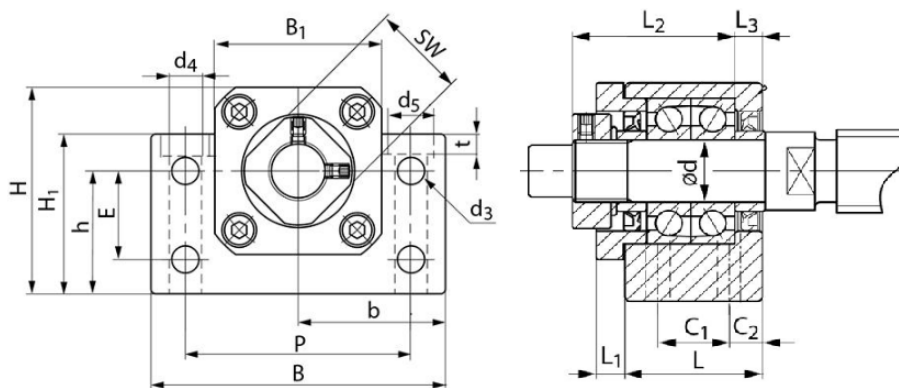


Figura 60: Dimensiones de BK12.

Referencia	d	L	L1	L2	L3	B	H	b+/-0.02	h+/-0.02	B1	H1
BK 12	12	25	5	29.5	5	60	42	30	25	34	32.5
	<b>E</b>	<b>P</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>d3</b>	<b>d4</b>	<b>d5</b>	<b>t</b>	<b>SW</b>	<b>Peso kg</b>	
	18	46	13	6	5,5	6,3	10,5	1,5	19	0.41	

Cuadro 17: Dimensiones de BK12 en milímetros.



Referencia	H	H1	N	W	B	B1	C	L1	L	K1	G	MxL	T	H2	H3
HGH20CA	30	4.6	12	44	32	6	36	50.5	77.5	12.25	12	M5x6	8	6	6

Cuadro 19: Dimensiones de guía lineal HGH20CA mostrado en Figura 62, en milímetros.

Referencia	WR	HR	D	h	d	P	E
HGR20	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20

Cuadro 20: Dimensiones de riel lineal HGR20 mostrado en Figura 62, en milímetros

### 7.11.2. Eficiencia del sistema: Mecanismos de movimiento de ejes X, Y y Z

Con el fin de encontrar la eficiencia del sistema, se calculará diferentes parámetros como los pasos por revolución, resolución de la máquina, velocidades, entre otros. Los cálculos a realizar se tomarán parámetros medios, para que la eficiencia del sistema se estandar.

#### Pasos por revolución:

En el diseño se utiliza un tornillo de bola *SFU1605*, al revisar sus características en el Cuadro 15, nos damos cuenta que tiene un paso de *5mm*, y este tiene una transmisión directa al motor NEMA 23, por lo que nuestra máquina se moverá:

$$Pasos * revolucion = 5mm/rev$$

#### Resolución de la máquina:

El driver del motor paso a paso, puede enviarle al motor diferentes pulsos para cada revolución, que va desde 400 hasta 25,600 pulsos, esto es un parámetro a tomar en cuenta ya que entre mayor sea el número de pulsos, se tendrá más resolución en el motor, lo que nos dará más posiciones en nuestro mecanismo.

Para que el mecanismo logre colocar las piezas de manera precisa en la bandeja no se necesita mayor resolución, por lo que se calcularán con:

$$\begin{aligned} 400pulsos * revolucion(ppr) \\ 1revolucion \rightarrow 5mm \end{aligned}$$

Se obtendrá que se tienen:

$$\frac{400ppr}{5\frac{mm}{rev}} = 80pasos/mm$$

Entonces la resolución de movimiento sería:

$$\frac{1mm}{80pasos/mm} = 0.0125mm$$

Pulsos por revolución	mm/rev	Pasos por mm	Resolución (mm)
400	5	80	0.0125
800	5	160	0.00625
1000	5	200	0.005
1600	5	320	0.003125

Cuadro 21: Resoluciones teóricas variando los pulsos por revolución en el driver del motor.

### Velocidad lineal de la máquina:

El PLC se programará para que le envíe al driver cierta cantidad de pulsos por segundo(pps), estos pps pueden ser variados, para este cálculo se utilizarán 25,000pps. Ya sabemos que nuestro motor tiene que dar 80pasos para recorrer 1milmetro, por lo tanto se tendrá una velocidad lineal en la máquina de:

$$\frac{25000pps}{80pasos/mm} = 312.5mm/s$$

$$312.5mm/s * \frac{60s}{1min} = 18750mm/min$$

En el siguiente Cuadro 22 se podrán las diferentes velocidades lineales que puede obtener la máquina variando los pulsos por segundo del PLC, manteniendo los 80pasos/mm del motor:

Pulsos por segundo	Pasos por mm	Velocidad (mm/s)	Velocidad (mm/min)
10000	80	125	7500
15000	80	187.5	11250
20000	80	250	15000
25000	80	312.5	18750
30000	80	375	22500

Cuadro 22: Velocidades lineales teóricas variando los pulsos por segundo en el PLC.

Como se pudo observar en los cálculos y tablas anteriores, la resolución de la máquina variarán según se configuren los parámetros tanto en el Driver del motor como en el PLC. En la siguiente tabla se verán las velocidades lineales de la máquina variando los parámetros del driver y los pulsos del PLC para poder ver la versatilidad de la eficiencia de la máquina:

Pulsos por revolución (Driver)	mm/rev	Pasos por mm	Pulsos por segundo (PLC)	Velocidad (mm/s)
400	5	80	10000	125
			15000	187.5
			20000	250
			25000	312.5
			30000	375
800	5	160	35000	437.5
			40000	500
			45000	562.5
			50000	625
			55000	687.5
1000	5	200	60000	750
			65000	812.5
			70000	875
			75000	937.5
			80000	1000
1600	5	320	85000	1062.5
			90000	1125
			95000	1187.5
			100000	1250
			105000	1312.5

Cuadro 23: Velocidades lineales teóricas variando los pulsos por revolución y pulsos.

### Tiempos de la máquina:

Para conocer el tiempo que se tardará la máquina en almacenar un objeto desde el punto cero, ver Figura 63, se realizará el cálculo con parámetros medios, tomando en cuenta lo siguiente:

- Pulsos por segundo del PLC = 25000
- Pulsos por revolución del driver = 400
- Velocidad =  $312.5\text{mm/s}$

El punto cero de la máquina es cuando los mecanismos de movimiento de los ejes X, Y y Z, se encuentran al principio de la maquina, es decir, topando los finales de carrera, los cuales serán los encargados de controlar las posiciones de la máquina.

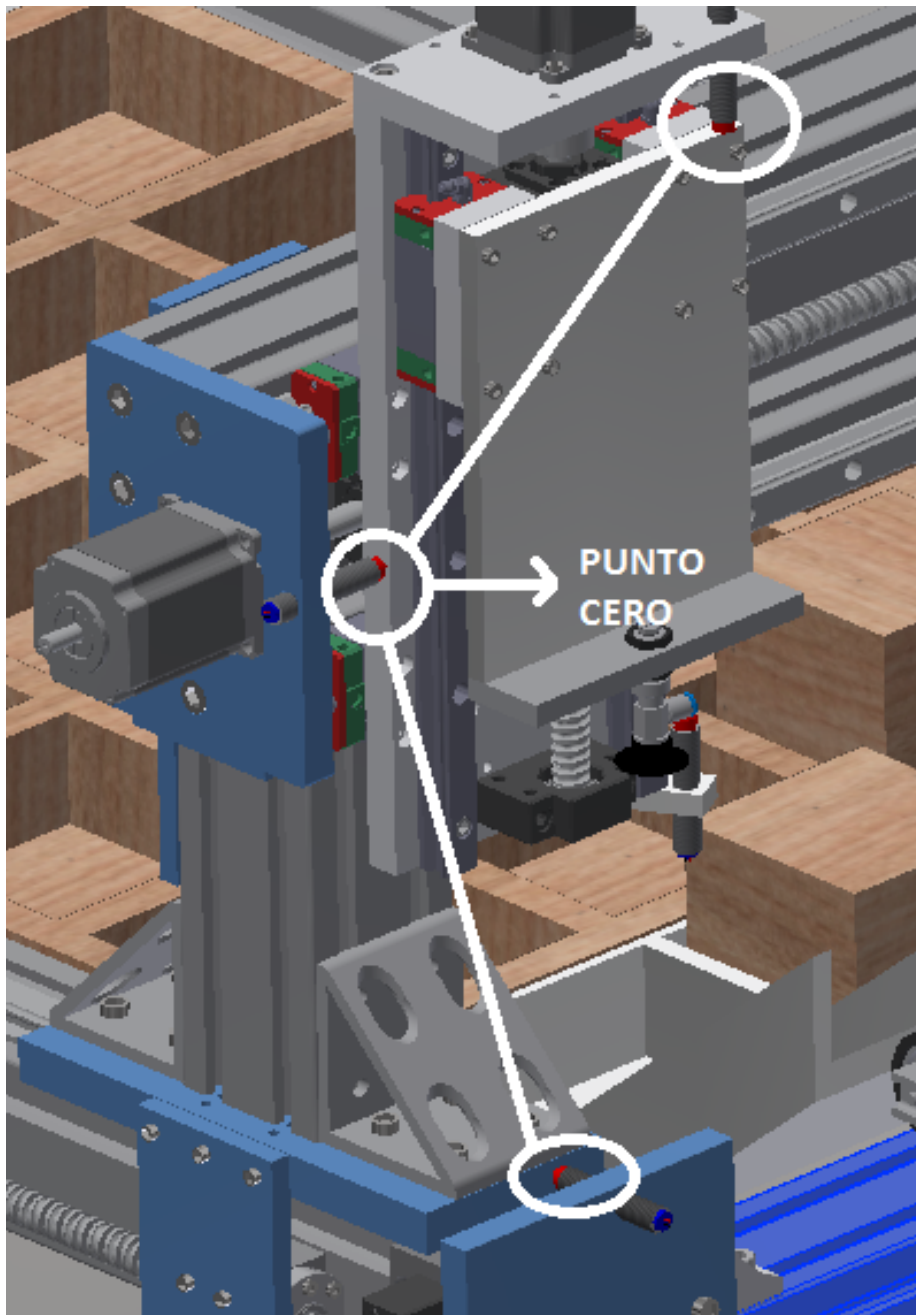


Figura 63: Indicaciones del punto cero de la máquina.

El ciclo al cual se calculó el tiempo consta de las siguientes etapas, en las cuales se empieza del punto cero, se va a recoger el objeto que se encuentra al centro del recipiente, y lo va a almacenar al centro de la bandeja, así poder calcular el tiempo medio en que se tardaría la máquina:

- Etapa 1: La máquina se encuentra en el punto cero.

- Etapa 2: 225mm en el eje Y.
- Etapa 3: 315mm en el eje X.
- Etapa 4: 190mm en el eje Z.
- Etapa 5: 190mm en el eje - Z.
- Etapa 6: 315mm en el eje - X.
- Etapa 7: 450mm en el eje Y.
- Etapa 8: 315mm en el eje X.
- Etapa 9: 190mm en el eje Z.
- Etapa 10: 190mm en el eje - Z.
- Etapa 11: 315mm en el eje - X.
- Etapa 12: 675mm en el eje X.

<b>Etapa</b>	<b>Distancia (mm)</b>	<b>Velocidad (mm/s)</b>	<b>tiempo (s)</b>
1	0	312.5	0
2	225	312.5	0.72
3	315	312.5	1.008
4	190	312.5	0.608
5	190	312.5	0.608
6	315	312.5	1.008
7	450	312.5	1.44
8	315	312.5	1.008
9	190	312.5	0.608
10	190	312.5	0.608
11	315	312.5	1.008
12	675	312.5	2.16
<b>Tiempo promedio</b>			<b>10.784</b>

Cuadro 24: Tiempos en que se tarda en cada etapa el mecanismo a una velocidad de  $312.5\text{mm/s}$ .

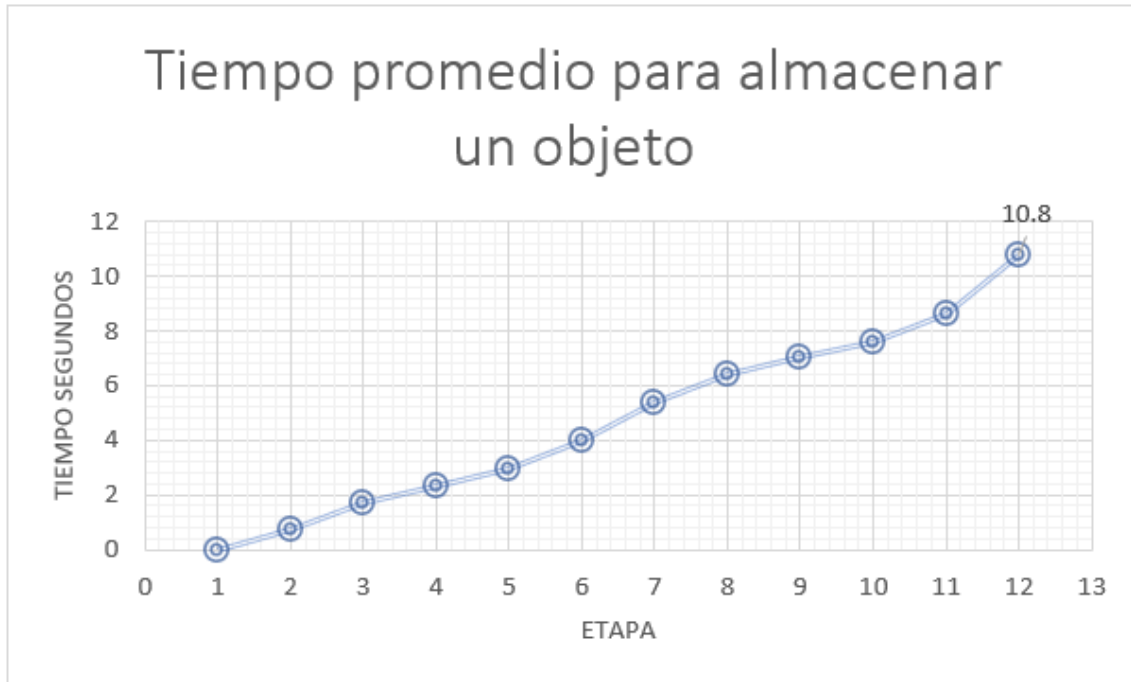


Figura 64: Gráfica de tiempos vs etapa para el almacenamiento de un objeto.

Al observar el tiempo promedio calculado en el Cuadro 24, el ciclo se tardará aproximadamente *11segundos* para recoger y almacenar un objeto empezando desde el punto cero y terminando en el punto cero, a la espera de otro objeto. La bandeja tiene capacidad de almacenar 20 objetos, por lo que este módulo almacenador se tardará *220segundos* o *3minutos* con *40segundos* para llenar la bandeja de objetos, suponiendo que siempre hay un objeto para recoger en el receptor.

### 7.11.3. Análisis estructural

Con la finalidad de concretar la validación del modulo almacenador, se realizaron análisis de deformación estructural colocando una fuerza puntual en los puntos críticos de las estructuras.

#### Mesa de trabajo

La fuerza puntual que se le aplicó fue al centro de la mesa, esto para comprobar que la mesa soportará adecuadamente la la máquina almacenadora. Los parámetros con los que se realizaron los análisis son los siguientes:

- Gravedad:  $9810mm/s^2$ .

- Puntos fijos: Contacto de la mesa con el suelo, patas de la mesa.
- Fuerza aplicada: 9810N aproximadamente una tonelada.

<b>Masa</b>	173.378 kg
<b>Área</b>	10107000 mm <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	32629200 mm <sup>3</sup>
<b>Centro de gravedad</b>	x=196.275 mm y=1148.34 mm z=1041.19 mm

Cuadro 25: Propiedades físicas de la mesa.

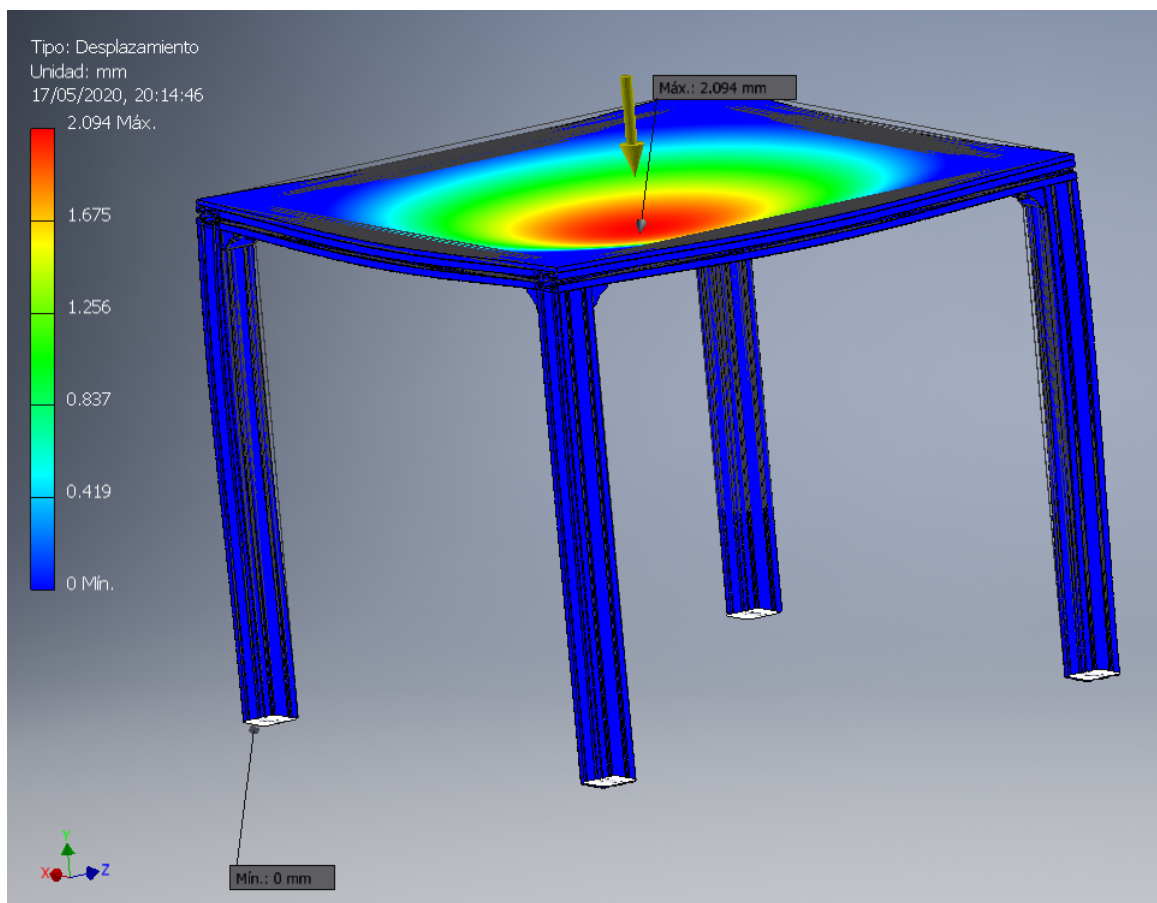


Figura 65: Análisis de deformación para la mesa de trabajo, aplicándole una tonelada de peso.

En la Figura 65, se puede observar que al aplicarle una fuerza de 9810N, una tonelada aproximadamente(1000kg), la mesa tiene un desplazamiento máximo de 2.094mm, por lo que se puede asegurar que la mesa de trabajo estructurada con perfiles de aluminio, soportará adecuadamente la estructura de la máquina almacenadora, ya que esta tiene un peso aproximado de 267kg.

## Perfil de aluminio 80x40mm para mecanismo de movimiento del eje X

Ya que el mecanismo de movimiento del eje X sostiene a cierta altura el mecanismo del eje Z, es conveniente realizar el análisis de deformación. Los parámetros del análisis fueron los siguientes:

- Gravedad:  $9810\text{mm}/\text{s}^2$ .
- Puntos fijos: Extremos del perfil de aluminio.
- Fuerza aplicada:  $981\text{N}$  aproximadamente  $100\text{kg}$ .

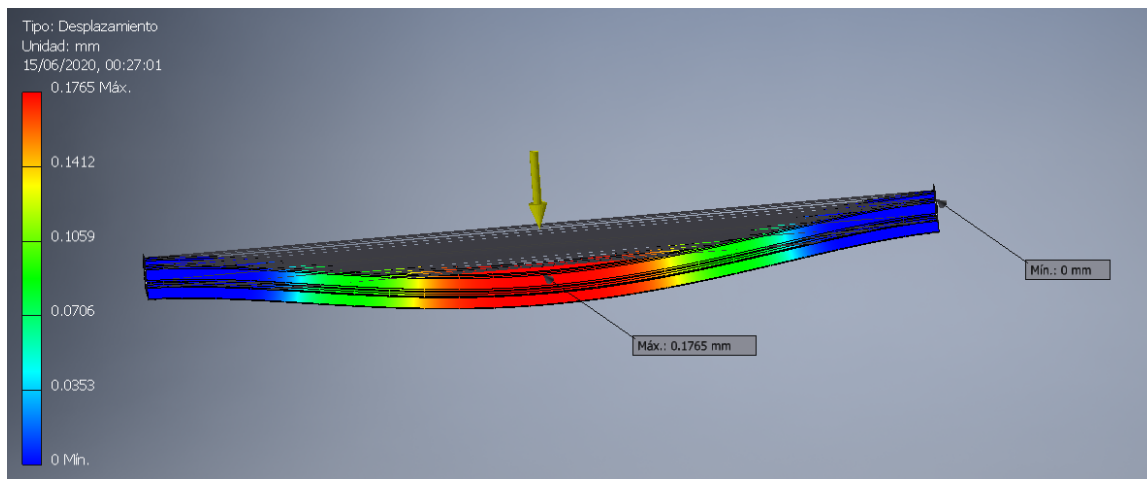


Figura 66: Análisis de deformación aplicándole una fuerza de  $981\text{N}$ .

En la Figura 66, se puede observar que al aplicarle una fuerza de  $981\text{N}$ , aproximadamente  $100\text{kg}$ , el análisis exagera visualmente la deformación, pero el perfil tiene un desplazamiento máximo de  $0.1765\text{mm}$ , por lo que se puede asegurar soportará adecuadamente el mecanismo de movimiento del eje Z, ya que esta tiene un peso aproximado menor a  $50\text{kg}$ .

### 7.11.4. Validación gripper de vacío

Es necesario saber que el gripper y todo el sistema neumático, es el adecuado para este módulo, por lo que se tiene que calcular si va a ser capaz de sostener fijamente los objetos y que en el traslado no ocurran fallas. Para ello es necesario calcular la fuerza de retención que necesita la ventosa para levantar el objeto horizontalmente, la cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{TH} = m * (g + a) * S$$

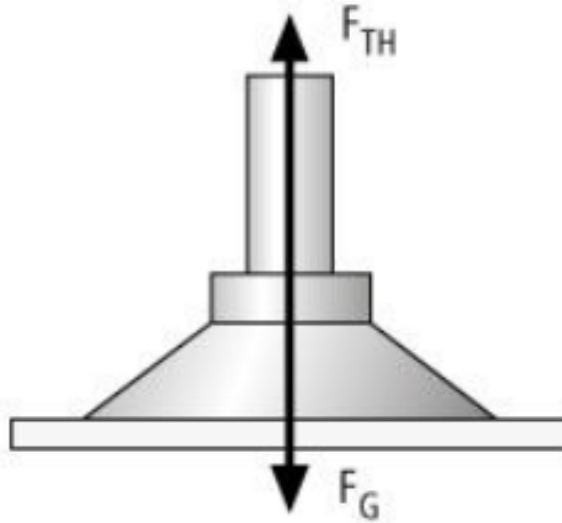


Figura 67: Fuerza de retención teórica horizontal.

Donde:

- $F_{TH}$  es la Fuerza de retención teórica horizontal.
- $m$  es la masa del objeto en kg, es este caso el objeto pesa 0.11kg.
- $g$  la gravedad con un valor de  $9.80m/s^2$
- $a$  es la aceleración, pero como se tiene un velocidad constante esta tiene un valor de 0.
- $S$  es el factor de seguridad  $S$ . Como factor de seguridad se toma un valor mínimo de 1,5 para piezas lisas y no porosas, como lo es el objeto a manipular en el proyecto, fabricado de MDF.

Por lo tanto:

$$F_{TH} = 11kg * (9.80m/s^2) * 1.5$$

$$F_{TH} = 1.617N$$

La ventosa que se está utilizando, del modelo ESG-30-SN-HD-QS, tiene una fuerza de retención máxima de  $40.8N$ , por lo que logrará sujetar y movilizar de manera adecuada el objeto a manipular ya que este solo requiere una fuerza de retención de  $1.617N$



### **8.0.1. Componentes - Versión 1**

A continuación se da un listado de todas las piezas necesarias para la versión 1 del proyecto, en el Cuadro 26 , se describe cada una de las piezas utilizadas, la cantidad de cada una de ellas, el precio unitario, el precio total y el proveedor al cual se cotizó el precio. Muchos de los materiales que se necesitan para la construcción del diseño planteado no se encuentran en Guatemala, como los perfiles de aluminio, los cojinetes lineales y las poleas GT2, por lo que se tienen que mandar a pedir, y el país que da más variedad y mejor precio es China, pero el producto tarda más tiempo en llegar a Guatemala; pero esto es un precio a pagar que vale la pena ya que los beneficios que nos traen dichos proveedores son mayores, ya que ayudan a que el costo del proyecto sea mucho menor. La construcción costaría alrededor de Q29,000.00, pero teniendo en cuenta de que muchos componentes ya los tiene la universidad, el costo total de la máquina sería bastante bajo, ya que se diseñó para utilizar materiales fáciles de conseguir y económicamente accesibles.

Se añade una subsección en donde se hace una comparación del componente físico con el componente diseñado, y donde va colocado en el diseño para poder idealizar de mejor manera su función en el ensamblaje, cabe resaltar que algunas de las imágenes del componente físico fotos que el proveedor indicado coloca en su página en donde los tiene en venta. Hay algunos componentes que no se compararán como el PLA o MDF, ya que este material será utilizado para fabricar piezas en la impresora 3D o en una cortadora láser, como por ejemplo algunas piezas de la garra o las bases del mecanismo de movimiento de los ejes.

No.	Componente	Cantidad	Precio unitario	Total	Proveedor
1	Perfil de aluminio 80x80cm	2m	Q230xmetro	Q 460.00	Xuanteng Trading Company Ltd.
2	Perfil de aluminio 45x45cm	12m	Q30xmetro	Q 360.00	Ma Ningbo Defa Technology Co., Ltd.
3	Perfil de aluminio 80x40cm	3m	Q80xmetro	Q 240.00	Ma Ningbo Defa Technology Co., Ltd.
4	Cojinetes lineales 12mm	6	Q4	Q 24.00	CNC Lathe
5	Motor DC	1	Q50	Q 50.00	ETONM MOTOR
6	Servo Motor	1	Q10	Q 10.00	BP electronica
7	Servo Motor AC R88M-G20030H	2	Q7,449	Q 14,898.00	OMRON
8	Servo Driver AC R7D-BP02HH	2	Q6,015	Q 12,030.00	OMRON
9	GT2 20 dientes 5mm diametro	6	Q5.00	Q 30.00	AOKIN Electrical Component Store
10	Banda 6mm	7m	Q22x5m	Q 30.00	AOKIN Electrical Component Store
11	Varilla acero 1045 12mm	6m	Q20x1m	Q 120.00	Aceros Suizos
12	Varilla acero 1045 5mm	2m	Q20x1m	Q 40.00	Aceros Suizos
13	Tornillo sin fin 5mm	0.5m	Q10x1m	Q 5.00	Aceros Suizos
14	Fibro panel de densidad media(MDF) 3mm	4 paneles	Q65	Q 260.00	Novex
15	Fibro panel de densidad media(MDF) 5mm	2 paneles	Q80	Q 160.00	Novex
16	Ácido poliláctico (PLA)	1 rollo	Q100	Q 100.00	Dongguan Paili Electronic Tech Co., Ltd.
17	Final de carrera	8	Q2	Q 16.00	BP Electronica
TOTAL				Q28,833.00	

Cuadro 26: Descripción de costos de los componentes y material utilizado.

### No. 1 Perfiles de aluminio de 80X80cm

Perfil de aluminio de 80x80cm, se utilizará para las bases superiores del mecanismo de movimiento de los ejes, se usaran 4 cortes de 28cm cada uno y estarán atornillados a la base de aluminio de 80x40cm.

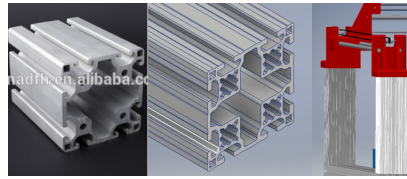


Figura 68: Perfil de aluminio 80x90cm físico y diseñado.

### No. 2 Perfiles de aluminio de 45x45cm

Perfil de Aluminio de 45x45cm, se utilizará para la armazón de la mesa que sostendrá a todo el diseño del módulo, también para la base intermedia que sostendrá el nivel medio de la mesa en la cual se colocarán los circuitos necesarios para el funcionamiento del sistema.

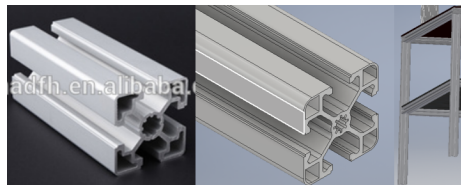


Figura 69: Perfil de aluminio 45x45cm físico y diseñado.

### No. 3 Perfiles de aluminio de 40x80cm

Perfil de aluminio de 40x80cm, la función de este segmento es fijar las bases de las columnas encargadas de sujetar todo el mecanismo de movimiento de los ejes superiores, dichos perfiles también servirán como rieles para sujetar estas columnas en la posición deseada al momento de armarlo.

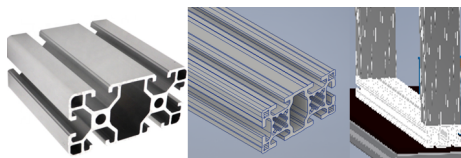


Figura 70: Perfil de aluminio 40x80cm físico y diseñado

#### No. 4 Cojinetes lineales

Cojinetes lineales de 12mm de radio y de 30mm de largo, su función es facilitar el movimiento de en los rieles de los mecanismos de movimientos, por cada riel irán dos cojinetes para tener mayor firmeza en cada riel.

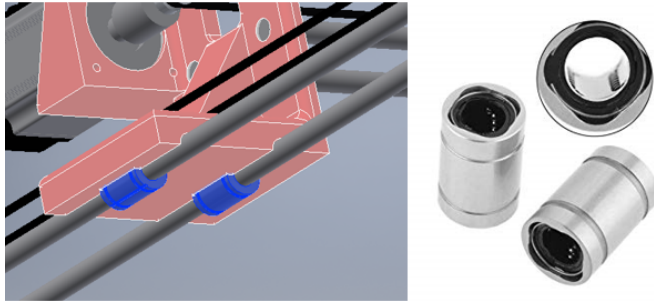


Figura 71: Cojinetes lineales ensamblados y físicos.

#### No. 5 Motor DC

Motor DC de 24V, este motor será el encargado de subir y bajar la garra, el cual moverá un tornillo sin fin que moverá la garra, el sistema a mover esta ejemplificado en Figura 44.

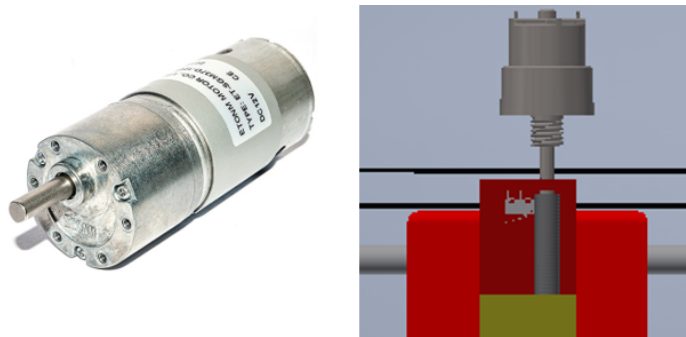


Figura 72: Motor DC 24V para movimiento eje z.

#### No. 6 Servomotor convencional

Servomotor convencional, el encargado de realizar el movimiento lineal de la garra, este realiza el movimiento del piñón que mueve la cremallera para poder sujetar el objeto a mover. El motor va sujetado a una de las caras de la garra.



Figura 73: Servomotor diseñado y físico ensamblado.

### No. 7 Servo motor AC

Servo Motor AC R88M-G20030H, motores proporcionados por la universidad, son los encargados de realizar el movimiento de los ejes x y y, van anclados a las bases superiores del mecanismo, su posición se puede apreciar mejor en la Figura 40, la cual es la versión 3 del mecanismo de movimiento.

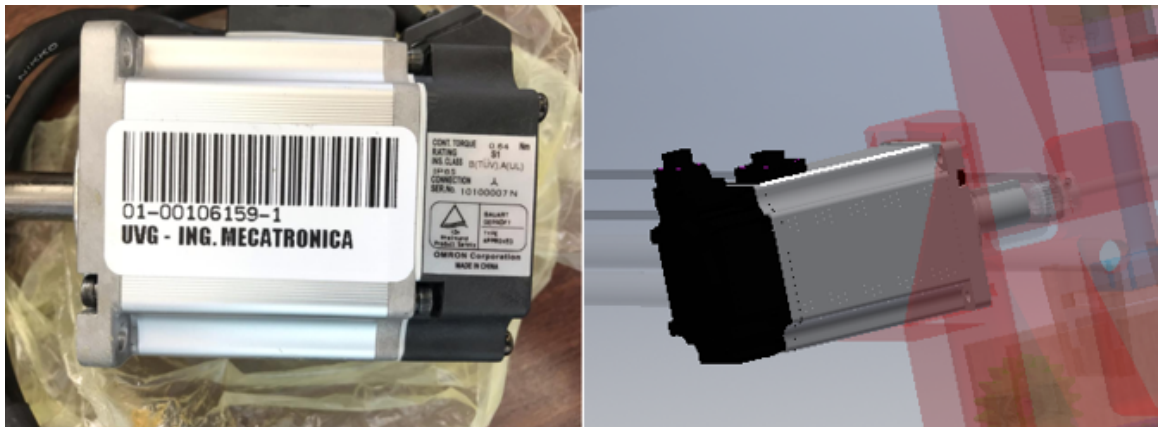


Figura 74: Servo motor AC físico y diseñado.

### No. 8 Servo driver AC.

Servo Driver AC R7D-BP02HH, encargado de controlar el servo motor explicado anteriormente, al igual que el servo motor, este fue proporcionado por la Universidad por lo que no hay que comprarlos, pero igual se añadieron a la cotización para evaluar el precio de toda la construcción del módulo.



Figura 75: Servo driver AC.

### No. 9 Ejes de movimiento

GT2 20 dientes 5mm diámetro, van anclados a las bases superiores del mecanismo de movimiento de los ejes, a estos van ancladas las bandas para poder realizar el movimiento de las piezas por medio de los rieles, su movimiento se puede ejemplificar de mejor manera en la Figura 76 y su posicionamiento en la Figura 40.



Figura 76: Ejes de movimiento.

### No. 10 Bandas

Banda de 6mm de ancho, darán el movimiento de las bases superiores del mecanismo de movimiento, van pegadas a las bases de los rieles, y sus pivotes van a los ejes de la Figura 76.

## 8.1. Componentes - Versión final

A continuación se da un listado de los precios de todas las piezas que componen la versión FINAL del proyecto, en el Cuadro 27, en este cuadro se detalla el componente utilizado, la cantidad que es necesario de cada uno de ellos, el precio unitario, el precio total y el proveedor donde se cotizó la pieza. En el Cuadro 47, se pueden encontrar los links de los proveedores en los cuales se cotizó la pieza.

No.	Componente	Cantidad	Precio Unitario	Total	Proveedor
1	Perfil de aluminio 80mmX80mm	7	Q 270.00	Q 1,890.00	ALU10
2	Perfil de aluminio 80mmX40mm	11	Q 160.00	Q 1,760.00	ALU10
3	Plancha de acero inoxidable	2	Q 2,924.00	Q 5,848.00	Soluciones de Acero S.A.
4	Soporte perfiles de aluminio	20	Q 30.00	Q 600.00	ALU10
5	Bandeja	1	Q 310.00	Q 310.00	EPA
6	Riel lineal HGR20	6	Q 250.00	Q 1,500.00	Vallder
7	BK12	3	Q 110.00	Q 330.00	Vallder
8	BF12	3	Q 50.00	Q 150.00	Vallder
9	Tornillo de bola 1605	5	Q 120.00	Q 600.00	Vallder
10	SF1605	2	Q 120.00	Q 240.00	Vallder
11	SF1605 doble	2	Q 120.00	Q 240.00	Vallder
12	HIWIN HGH20CA	7	Q 100.00	Q 700.00	Vallder
13	Acople motor 8-10	4	Q 30.00	Q 120.00	Yosoo
14	Stepper Motor-Nema 23	4	Q 320.00	Q 1,280.00	STEPPERONLINE
15	M542 driver	3	Q 200.00	Q 600.00	Sacor SL.
16	Plancha de aluminio	2	Q 150.00	Q 300.00	ALUMINOX
17	Ventosa	1	Q 500.00	Q 500.00	Festo
18	Final de carrera	6	Q 12.00	Q 72.00	La Electrónica
19	Tobera Venturi	1	Q 300.00	Q 300.00	Festo
20	Electrovalvula5-2	1	Q 400.00	Q 400.00	Festo
21	Vacuómetro	1	Q 400.00	Q 400.00	Festo
22	AcopleVacuómetro	1	Q 100.00	Q 100.00	Festo
23	Tornillos Allen M8	24	Q 5.34	Q 128.16	La Casa del Tornillo
24	Tornillos Allen M10	6	Q 6.57	Q 39.42	La Casa del Tornillo
25	Tornillos Allen M5	106	Q 2.46	Q 260.76	La Casa del Tornillo
26	Tornillos Allen M6	62	Q 2.48	Q 153.76	La Casa del Tornillo
27	TornillosMotor	18	Q 0.50	Q 9.00	La Casa del Tornillo
28	Módulo Siemens FM353	1	Q 6,695.00	Q 6,695.00	Siemens
<b>TOTAL</b>				<b>Q 25,526.10</b>	

Cuadro 27: Análisis de costos versión final

## 9.1. Primera versión

### 9.1.1. Entradas y salidas del sistema

A continuación se muestran las entradas y salidas del sistema. Se especifica el símbolo que tendría cada una de estas, el tipo de señal, ya sea digital o analógica, y se da una pequeña descripción para cada una de las señales.

<b>Entradas</b>		
Símbolo	Tipo	Descripción
ON	Digital	Arranque del sistema.
STOP	Digital	Paro del sistema.
EMSTOP	Digital	Paro de emergencia.
FC1-6	Digital	Señales de finales de carrera.
ENC1-2	Analógica	Encoders de los servomotores AC.

Cuadro 28: Entradas con su símbolo y descripción del sistema.

Salidas		
Símbolo	Tipo	Descripción
ON	Digital	Arranca el sistema.
STOP	Digital	Detiene el sistema.
MDCZ	Analógica	Motor DC para el movimiento eje z.
SMG	Analógica	Servomotor para el movimiento de la garra.
SMAC1-2	Analógica	Servomotores AC encargados del movimiento eje x y y.

Cuadro 29: Salidas con su símbolo y descripción del sistema.

### 9.1.2. PLC

El PLC que se posee en la universidad es el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP, con el cual se controlara el sistema, manipulando las señales de entradas y salidas, con la adecuada programación, se logrará el correcto funcionamiento del módulo.



Figura 77: PLC que se utilizará.

### 9.1.3. Servomotor

Para poder mover el mecanismo piñón cremallera de la garra, se utiliza un servomotor convencional, ya que este cumple con las características deseadas para el correcto funcionamiento del movimiento lineal, dichas características son mostradas en el Cuadro 30. Se diseñó el circuito mostrado en la Figura 78, para poder controlar el servomotor y que se pueda conectar con el PLC.

Rangos de rendimiento	
Voltaje	4.8-5V
Torque	1.8kgf*cm
Velocidad	0.1s/60degree

Cuadro 30: Especificaciones servomotor convencional.

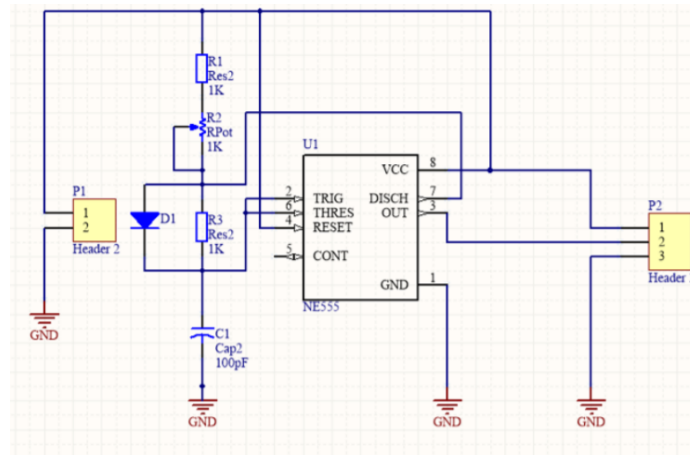


Figura 78: Circuito controlador de servomotor.

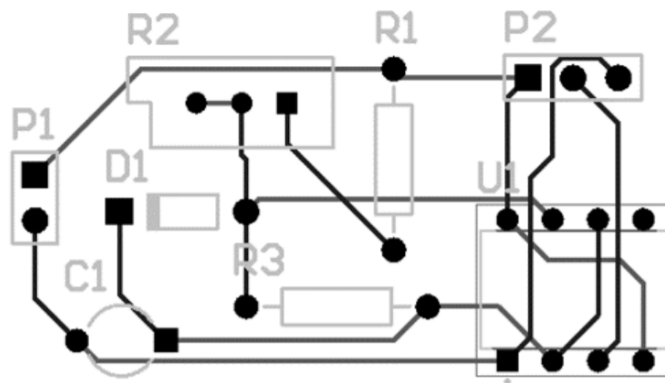


Figura 79: Diseño de placa del circuito controlador de servomotor.

### 9.1.4. Motor DC

Para el movimiento del mecanismo del eje z se utilizará un Motor DC con las características mostradas en el Cuadro 31. Es necesario controlar motor, por lo que se diseñó el circuito encargado de ello, el cual se muestra en la Figura 80.

Rangos de rendimiento	
Voltaje	12-24VDC
Velocidad	10-600rpm
Torque	0.5-30kg*cm

Cuadro 31: Especificaciones servomotor convencional.

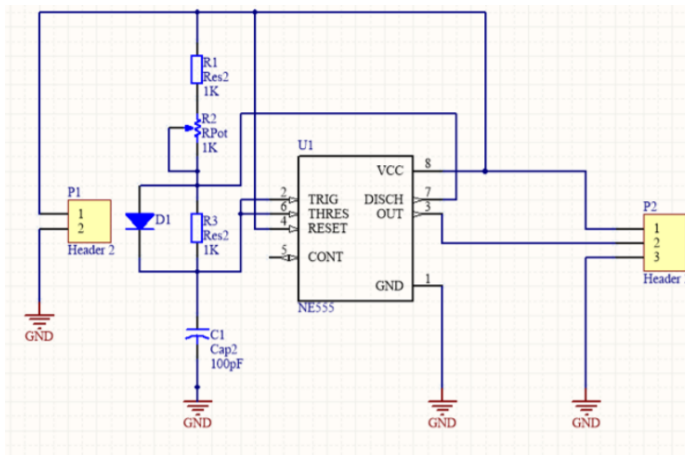


Figura 80: Circuito controlador del motor DC.

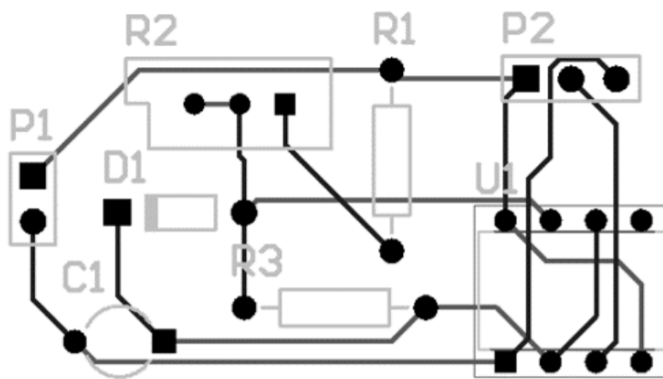


Figura 81: Diseño de placa del circuito controlador del motor DC.

### 9.1.5. Servomotor AC

El modelo específico para el cual se diseñó este proyecto es el servomotor AC R88M-G20030H de la marca OMRON y el servo driver es el R7D-BP02HH de la misma marca. En el Cuadro 32, se describen sus características del servomotor.

Rangos de rendimiento	
Potencia	200W
Tensión de alimentación	200V AC
Velocidad	3000rpm
Momento de rotación	0.64N.m

Cuadro 32: Especificaciones servomotor AC.

El servo motor posee 3 conexiones, las cuales se pueden observar en la Figura 83

1. Cables de alimentación de servomotor estándar para servomotores sin frenos.
2. Cables de freno estándar.
3. Cables de encoders estándar con conectores.

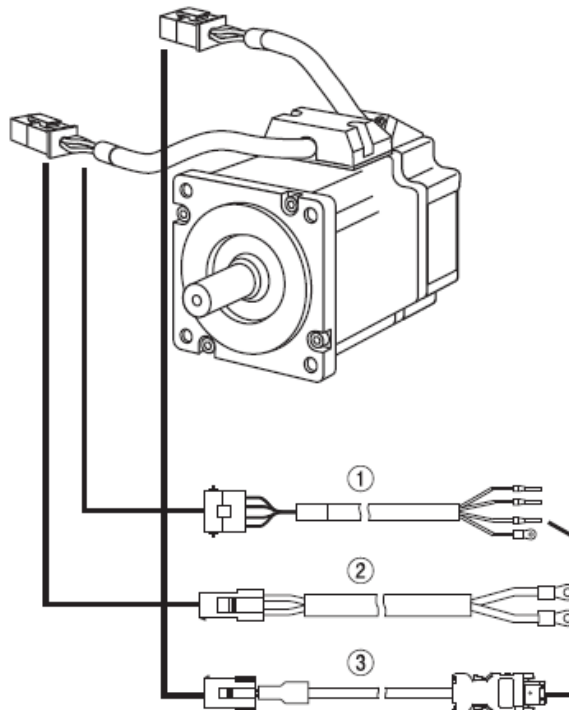


Figura 82: Conexión de Servomotor AC.

El servomotor se conecta directamente al servo driver, como se muestra en la Figura 84,

así se podrá controlar el motor para que cumpla la función que sea requerida por el usuario. Las especificaciones de los cables del servomotor se pueden observar en la Figura83, y las del servo driver en la Figura 83.

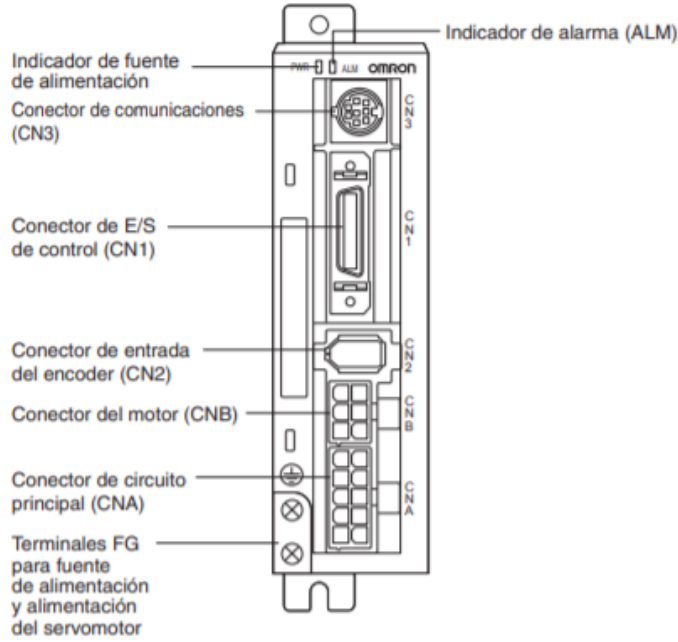


Figura 83: Descripción de los puertos del servo driver.

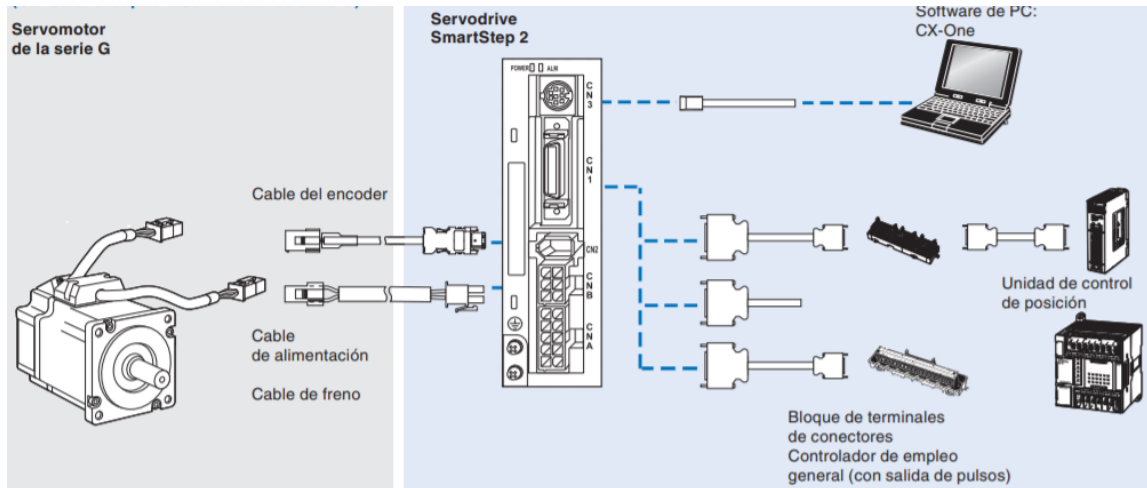


Figura 84: Conexión de servomotor AC con servo driver.

## 9.2. Versión final

### 9.2.1. Entradas y salidas del sistema

A continuación se muestran las entradas y salidas de la versión final sistema. Se especifica el símbolo que tendría cada una de estas, el tipo de señal, ya sea digital o analógica, y se da una descripción para cada una de las señales.

<b>Entradas</b>		
<b>Símbolo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
ON	DIGITAL	Arranque del sistema.
STOP	DIGITAL	Paro del sistema.
ESTOP	DIGITAL	Paro de emergencia del sistema
FCX	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje X.
FCY	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Y.
FCZ1	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Z superior.
FCZ2	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Z inferior.
FCGrip	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento de Gripper.

Cuadro 33: Entradas con su símbolo y descripción del sistema versión final.

<b>Salidas</b>		
<b>Símbolo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
MDCGRIP	DIGITAL	Motor DC 24V para gripper mecánico.
STEPMX	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje X.
STEPMY	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje Y.
STEPMZ	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje Z.
EVAL	DIGITAL	Electroválvula.

Cuadro 34: Salidas con su símbolo y descripción del sistema versión final.

### 9.2.2. PLC

El PLC que se posee en la universidad es el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP, con el cual se controlara el sistema, manipulando las señales de entradas y salidas, con la adecuada programación, se logrará el correcto funcionamiento del módulo.



Figura 85: PLC que se va a utilizar.

El módulo de entradas digitales a utilizar es el SM321 de 16 entradas de DC 24V, el modelo específico es 6ES7321-1BH02-0AA0. En el Cuadro 35 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 86 el diagrama de cableado y de bloques.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Dimensiones mm	40x125x117
Peso	200 g
Numero de entradas	16
Estado de interrupto	Led Verde por canal
Voltaje	24V DC
Señal "1"	de 13V a 30V
Señal "0"	de -30V a 5V

Cuadro 35: Especificaciones técnicas del módulo de entradas digitales SM321.

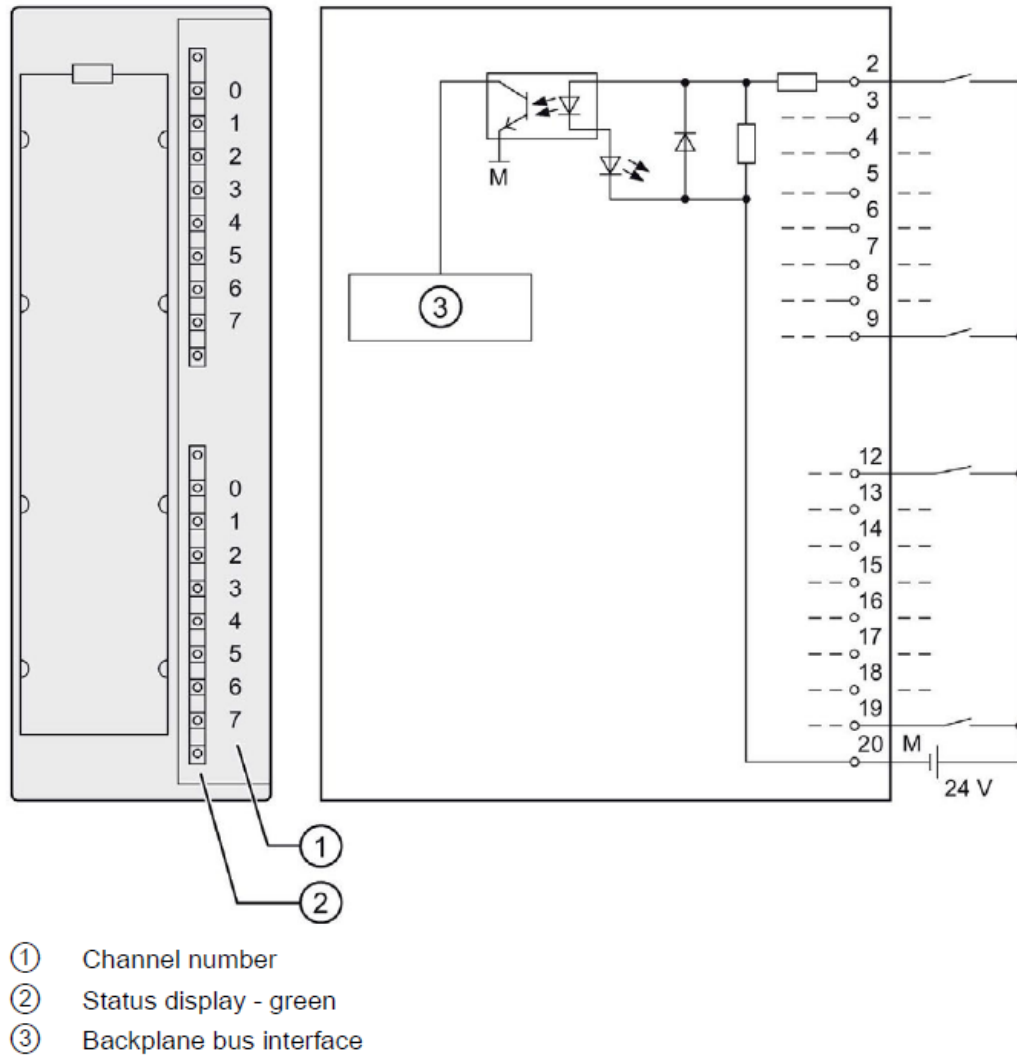


Figura 86: Diagrama de cableado y de bloques de módulo de entradas digitales.

El módulo de salidas digitales a utilizar es el SM322 de 32 entradas de DC 24V, el modelo específico es 6ES732-1BL00-0AA0. En el Cuadro 36 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 87 el diagrama de cableado y de bloques.

Especificaciones técnicas	
Dimensiones mm	40x125x117
Peso	260
Numero de salidas	32
Estado de interrupto	Led Verde por canal
Voltaje	24V DC
Corriente	0.5A

Cuadro 36: Especificaciones técnicas del módulo de salidas digitales SM322.

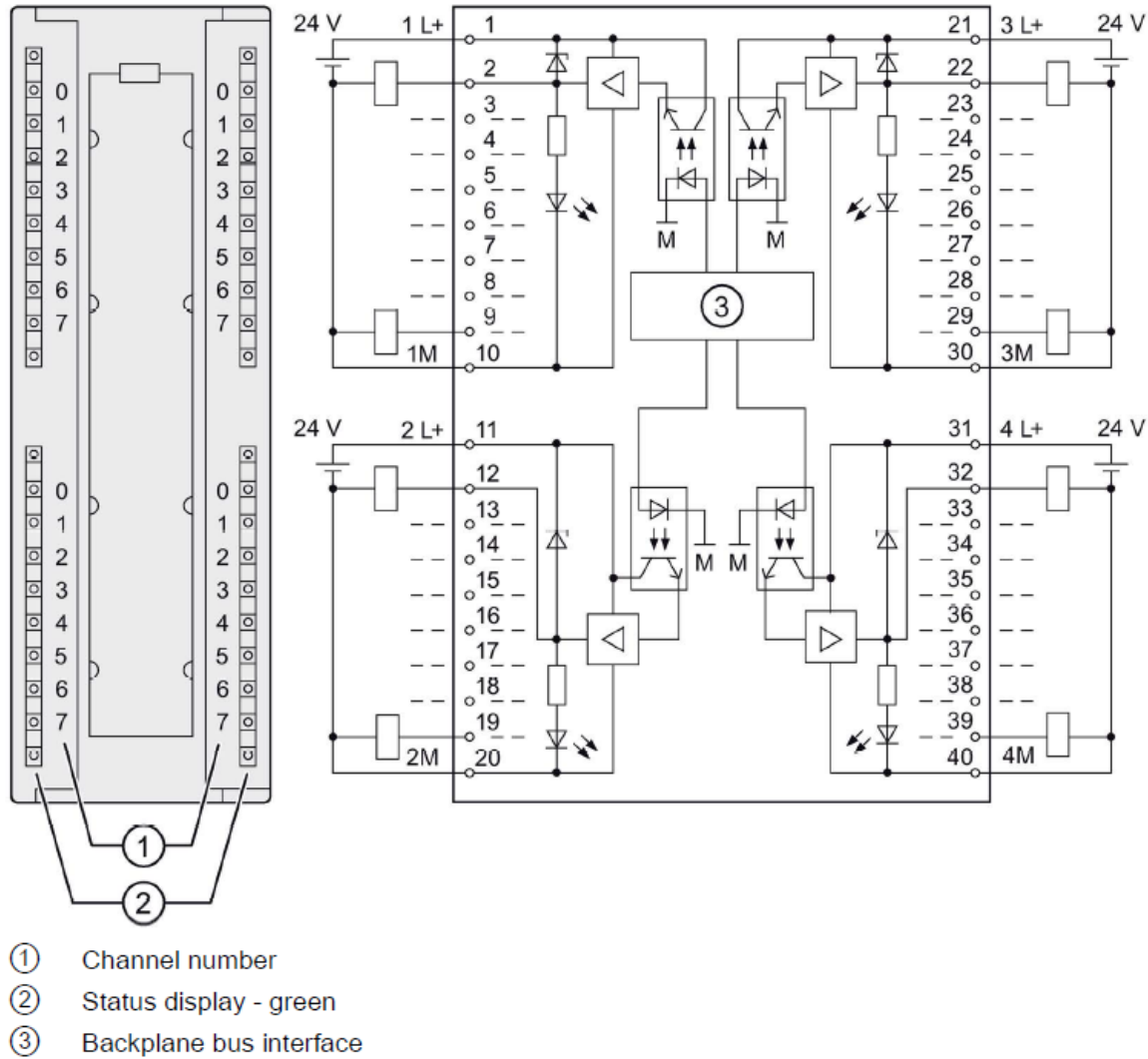


Figura 87: Diagrama de cableado y de bloques de módulo de salidas digitales.

El módulo de control de posición de motor paso a paso a utilizar es el FM 353. En el Cuadro 37 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 88 el diagrama de cableado y de bloques.

Especificaciones técnicas	
Dimensiones mm	80x125x118
Peso	95 g
Voltaje	20.4-28.8V
Consumo de potencia	0.3A
Señal de salida	5V
Pulso de frecuencia máximo	200kHz

Cuadro 37: Especificaciones técnicas del módulo FM353.

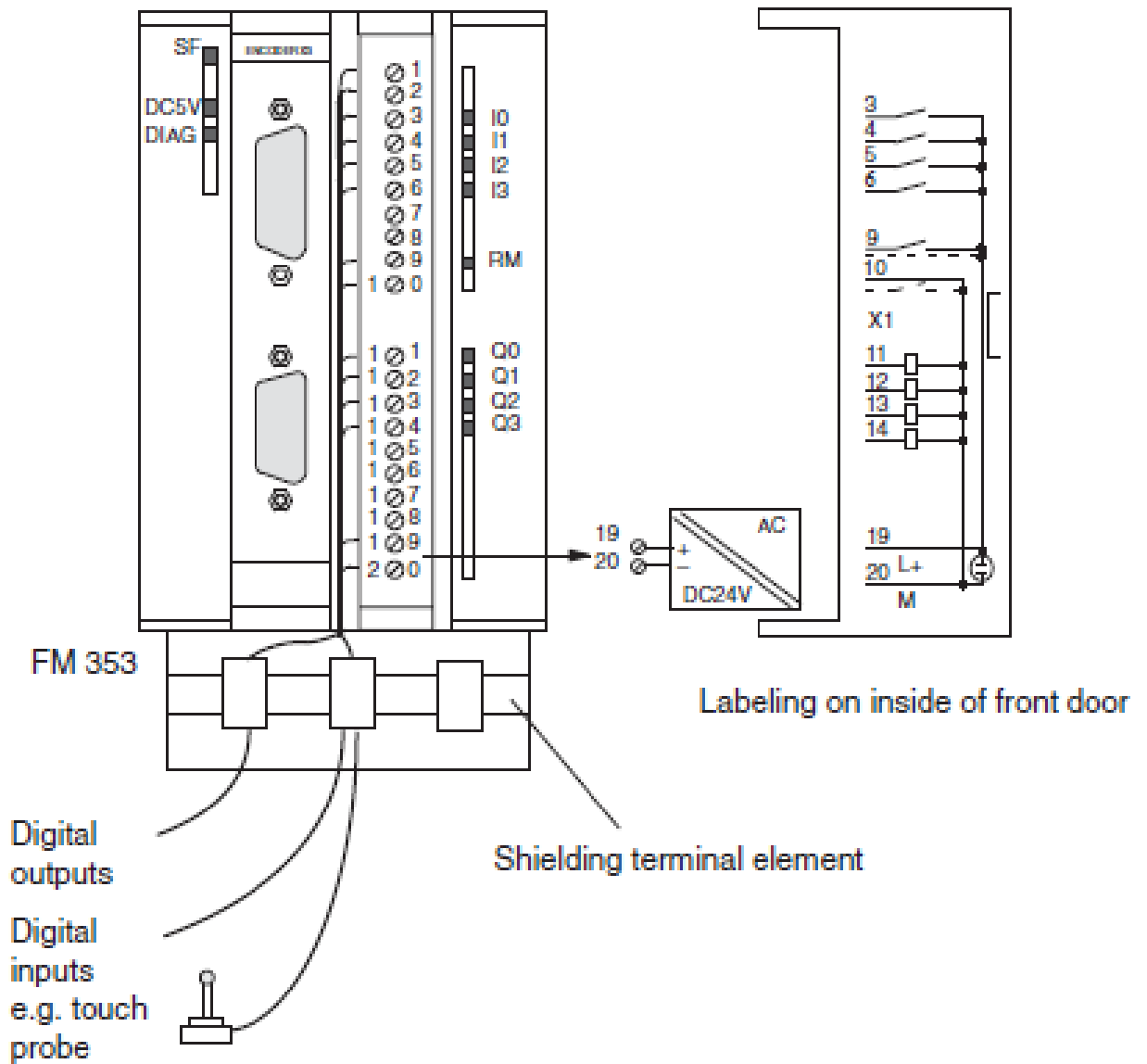


Figura 88: Diagrama de cableado y de bloques de módulo FM353.

### 9.2.3. Motor paso a paso

En el Cuadro 38, se muestran las especificaciones técnicas del motor paso a paso NEMA 23, el cual es el encargado de mover los mecanismos de movimiento de los ejes X, Y y Z; y en la Figura 89, se muestra el diagrama de conexiones del motor.

Especificaciones técnicas	
Tipo	Nema 23
Angulo de paso	1.8 grados
Pasos por vuelta	200
Voltaje	3V DC
Corriente	3A
No. Fases	2
No. Conductores	4
Diámetro de eje	8mm
Torque	14kg/cm
Peso	1kg

Cuadro 38: Especificaciones técnicas de motor paso a paso NEMA 23.

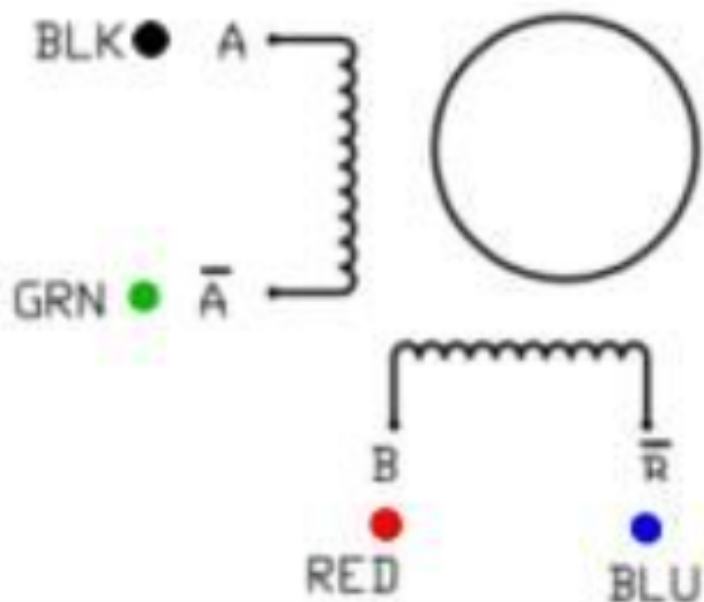


Figura 89: Diagrama de conexiones para el motor NEMA 23.

#### 9.2.4. Driver de motor paso a paso M542

El M542 es un controlador de micropasos. Es adecuado para conducir motores paso a paso híbridos de 2 y 4 fases. Al utilizar la técnica avanzada de corte de corriente constante bipolar, puede generar más velocidad y par desde el mismo motor en comparación con los controladores tradicionales. Su tecnología de control de corriente de 3 estados permite que las corrientes de la bobina estén bien controladas y con una ondulación de corriente

relativamente pequeña, por lo tanto, se logra menos calentamiento del motor. En el Cuadro 39 se muestran las especificaciones técnicas del driver.

Especificaciones técnicas	
Corriente de salida	1-4.2A
Voltaje	20-50V DC
Señal lógica de corriente	7-16mA
Pulso de frecuencia	0-300kHz
Peso	280 g
Dimensiones mm	75.5x33x112

Cuadro 39: Especificaciones técnicas de driver M542.

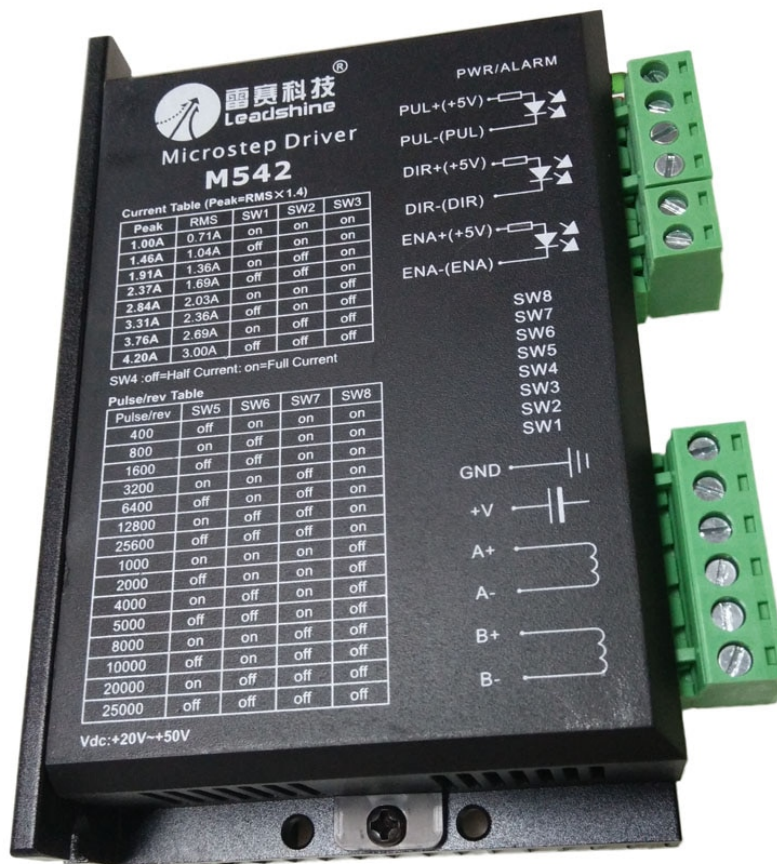


Figura 90: Imagen física del driver M542.

El M542 tiene dos conectores, el primer conector para conexiones de señales de control y el segundo para conexiones de alimentación y motor. Las siguientes tablas son descripciones breves de los dos conectores del M542.

<b>Función de PIN</b>	<b>Descripción</b>
PUL+(+5V)	Ver descripción 1
PUL-(PUL)	
DIR+(+5V)	Ver descripción 2
DIR-(DIR)	
ENA+(+5V)	Ver descripción 3
ENA-(ENA)	

Cuadro 40: Descripción del primer conector del driver M542.

- Señal de pulso: en modo de pulso único (pulso / dirección), esta entrada representa señal de pulso, activa en cada borde ascendente o descendente (establecida por el puente interno J1); 4-5V cuando PUL-HIGH, 0-0.5V cuando PUL-LOW. En modo de doble pulso (pulso / pulso), esta entrada representa el pulso en sentido horario (CW), activo a alta nivel o nivel bajo (establecido por el puente interior J1). Para una respuesta confiable, pulso El ancho debe ser mayor a 1.5s. Resistencias de conexión en serie para Limitación de corriente cuando se usan + 12V o + 24V.
- "Señal DIR: en modo de pulso único, esta señal tiene niveles de voltaje bajo / alto, representando dos direcciones de rotación del motor; en modo de doble pulso (establecido por dentro del puente J3), esta señal es un pulso de contra reloj (CCW), activo a alta nivel o nivel bajo (establecido por el puente interior J1). Para una respuesta de movimiento confiable, La señal DIR debe estar por delante de la señal PUL por al menos 5 s. 4-5V cuando DIR-HIGH, 0-0.5V cuando DIR-LOW"
- "Señal de habilitación: esta señal se utiliza para habilitar / deshabilitar el controlador. Alto nivel (señal de control NPN, PNP y señales de control diferencial están en el al contrario, es decir, Nivel bajo para habilitar.) para habilitar el controlador y bajo nivel para deshabilitar el controlador. Generalmente se deja SIN CONECTAR (HABILITADO)"

<b>Función de PIN</b>	<b>Descripción</b>
GND	Tierra
V+	Fuente de alimentación 20-50V DC.
A+,A-	Fase A motor
B+,B-	Fase V motor

Cuadro 41: Descripción del segundo conector del driver M542.

Este controlador utiliza un interruptor DIP de 8 bits para establecer la resolución de microstep y la corriente de funcionamiento del motor, como mostrado a continuación:

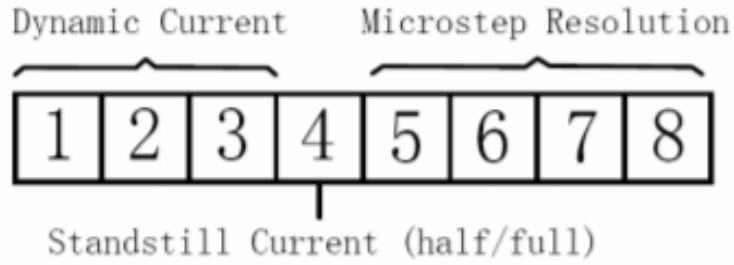


Figura 91: DIP switch para configurar resolución del driver M542.

Como se puede observar en la Figura 90, se identifica una tabla como "Pulse/rev Table", en la cual se indica la resolución del driver, para este caso se seleccionó una resolución de 400, por lo que el DIP de la Figura 91 se colocará como 0 – 1 – 1 – 1 del Switch 5 al 8 respectivamente. Y para la corriente que serían del Sitch 1 al 3, se colocará 0 – 1 – 0. Un sistema de pasos completo debe incluir un motor de pasos, un controlador de pasos, una fuente de alimentación y controlador (generador de pulsos). Una conexión típica se muestra en la siguiente figura:

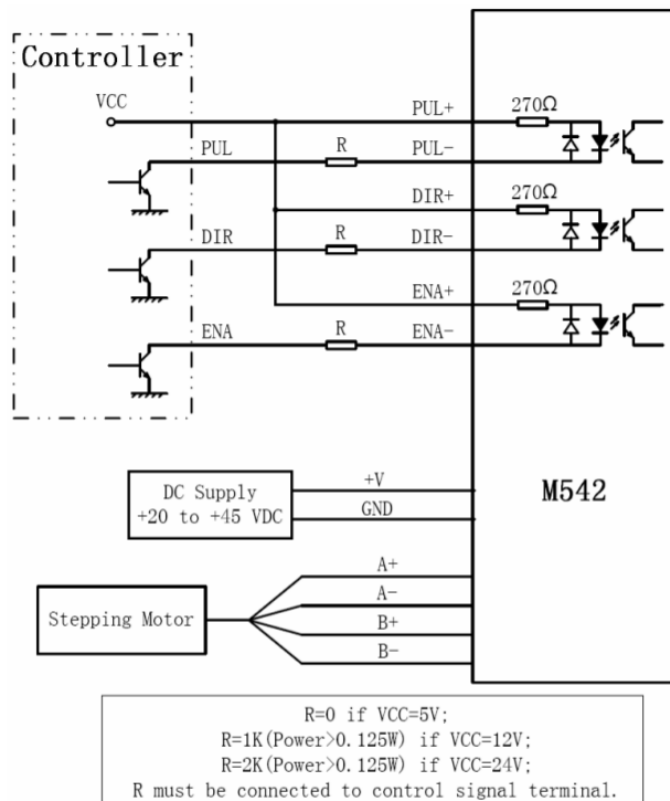


Figura 92: Conexión típica de driver M542.

### 9.2.5. Motor DC

Para mover el mecanismo piñón cremallera de la garra, se posee un motor DC de 24V, controlado por tiempos y un final de carrera, en el siguiente cuadro se muestran las especificaciones técnicas del motor.

Especificaciones técnicas	
Voltaje nominal	24V
Velocidad nominal	19 rpm
Corriente	800mA
Potencia de salida	7.6W

Cuadro 42: Especificaciones técnicas de motor DC.

### 9.2.6. Conexiones del sistema completo para mecanismos de movimiento

Para lograr la integración de todos los componentes descritos anteriormente en esta sección, se muestran los siguientes diagramas para la conexión, desde el CPU hasta el movimiento de los mecanismos, y en la lista se describen los componentes del diagrama.

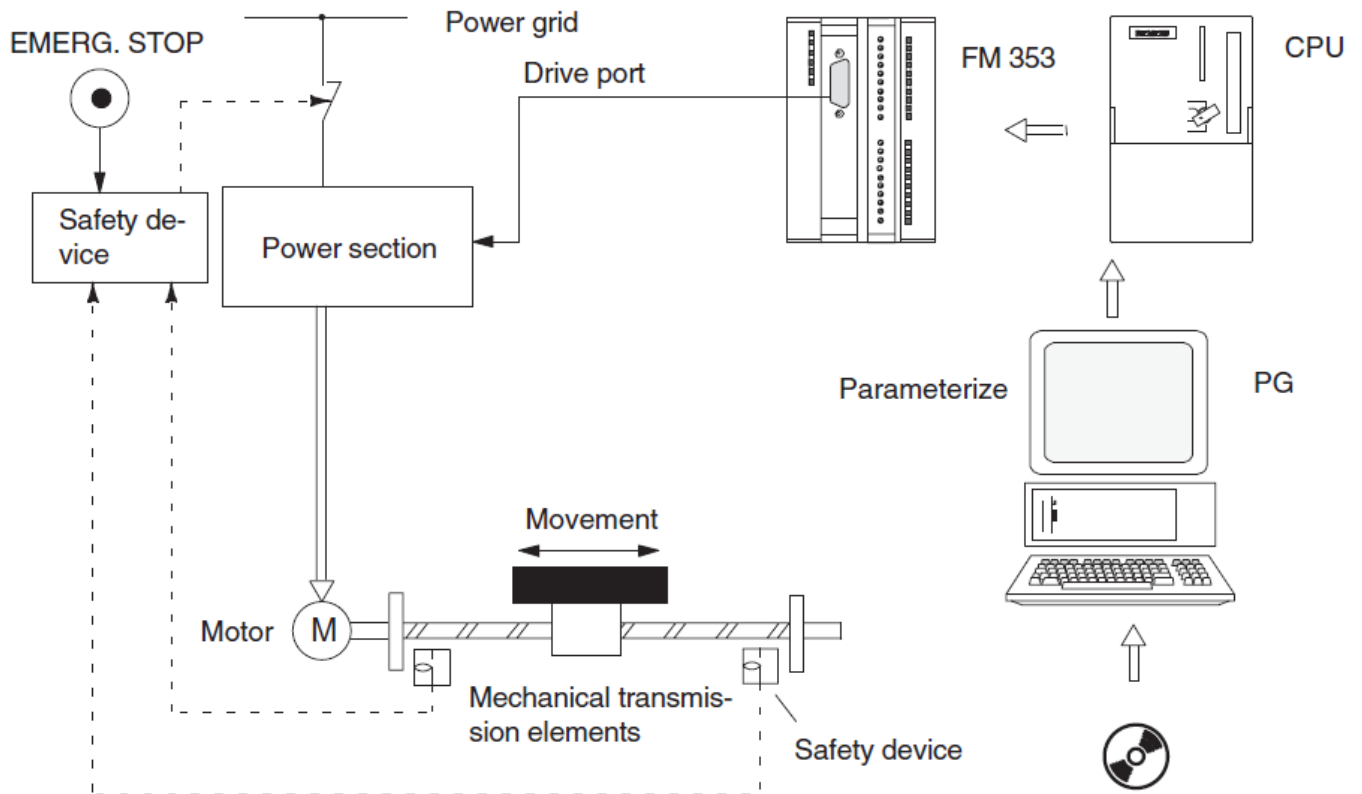


Figura 93: Diagrama de conexión de los componentes electrónicos.

- EMERG. STOP: paro de emergencia.
- Computadora donde se realizará la programación en S7.
- CPU: será el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP.
- FM353: conector al driver.
- Power section: el driver a utilizar es el M542.
- Motor: motor paso a paso NEMA 23.
- Movement: mecanismos de movimiento.
- Mechanical transmission elements: elementos de tornillo de bola SFU1605.
- Safety device: finales de carrera.

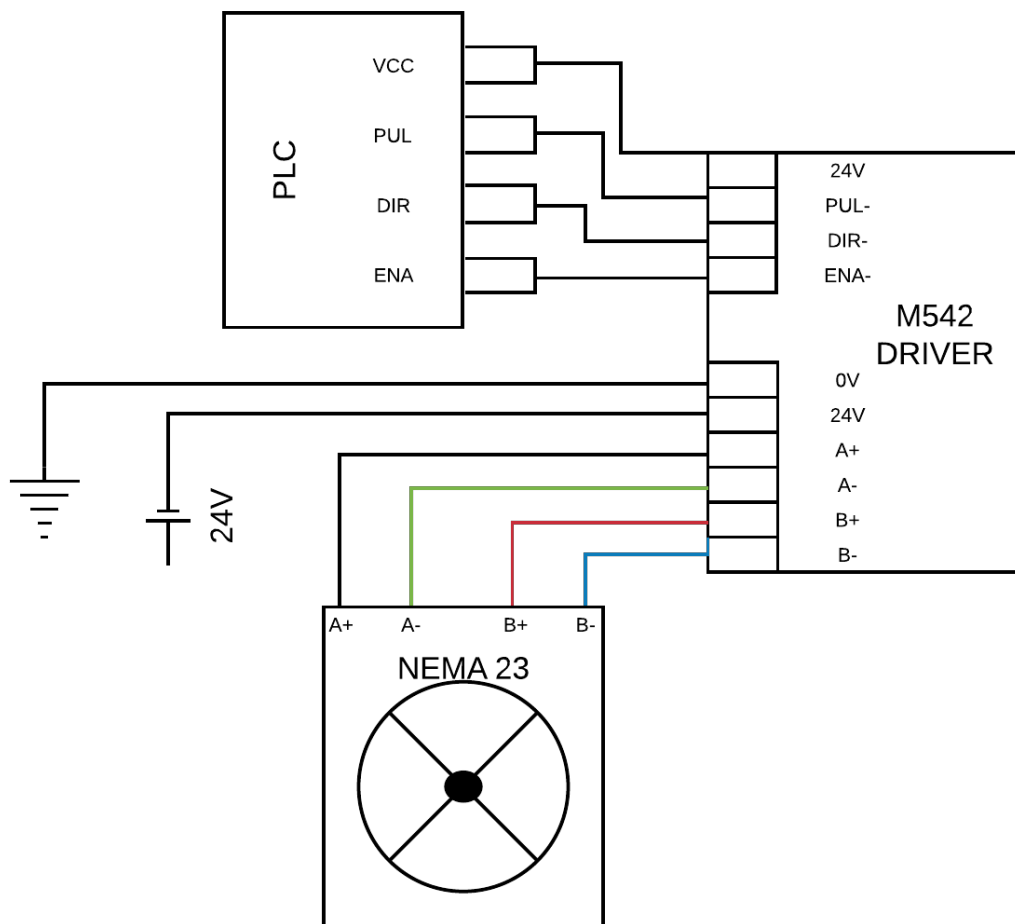


Figura 94: Conexión del motor paso a paso NEMA 23 con Driver M542.

### 9.3. Sistema neumático para gripper de ventosa

#### 9.3.1. Electroválvula 5-2

La electroválvula a utilizar será la de 5/2 vías con LED, mostrada a continuación.

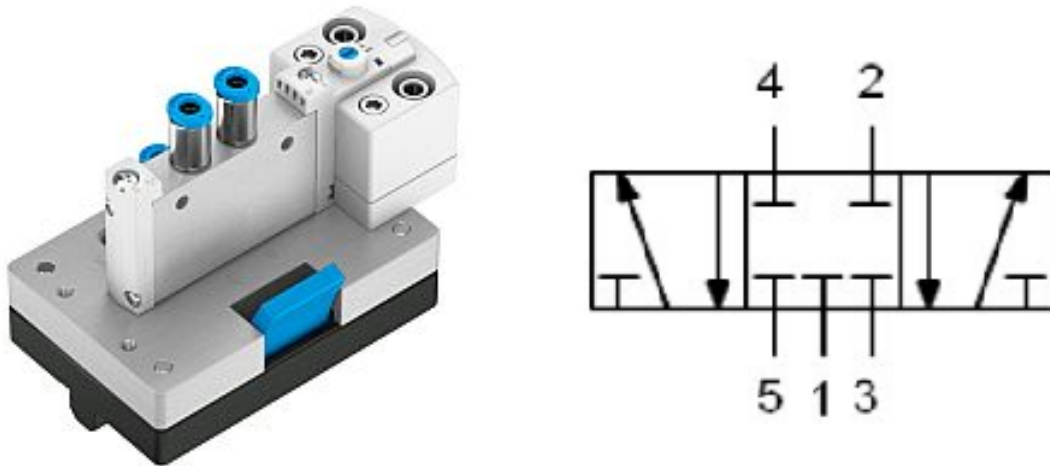


Figura 95: Electroválvula 5/2 a utilizar, con su diagrama.

Especificaciones técnicas	
Tiempo de conmutación	on/off 7/19 ms
Presión de funcionamiento	250 – 800 kPa (2,5 – 8 bar)
Conexión	eléctrica mediante casquillos de seguridad integrados de 4 mm
Alimentación de tensión	24 V DC
Tipo	5-2
Indicador de enclavamiento	LED

Cuadro 43: Especificaciones técnicas de electroválvula 5/2.

#### 9.3.2. Tobera de vacío venturi

La tobera de vacío venturi o generador de vacío a utilizar será el modelo VN-05-H-T2-PQ1-VQ1-RQ1 de la marca festo, sus especificaciones técnicas se muestran a continuación.

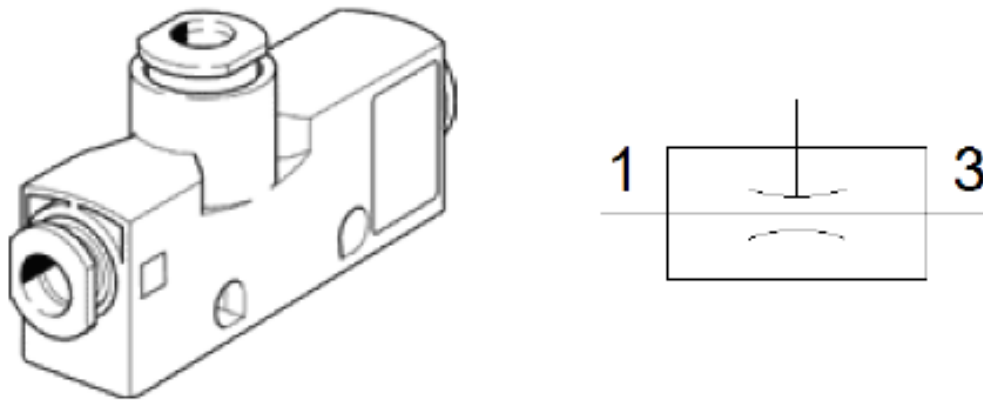


Figura 96: Tobera a utilizar, con su diagrama.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Diámetro nominal de la tobera Laval	0.45 mm
Patrón	10 mm
Posición de montaje	Indistinto
Característica del eyector	Alto vacío estandar
Construcción	Forma en T
Presión de funcionamiento para caudal de aspiración máximo	2.1 bar
Presión de funcionamiento	1 ... 8 bar
Presión de funcionamiento para vacío máximo	4.5 bar
Vacío máximo	88 %
Caudal de aspiración máx. contra atmósfera	6.2 l/min
Fluido	Aire comprimido
Conexión neumática 1	4mm
Conexión neumática 3	4mm
Conexión de vacío	4mm
Indicación sobre el material	Exento de cobre

Cuadro 44: Especificaciones técnicas de tobera de vacío Festo VN-05-H-T2-PQ1-VQ1-RQ1.

### 9.3.3. Ventosa

La ventosa que se utilizará es el modelo ESG-30-SN-HD-QS de la marca festo, a continuación sus especificaciones técnicas.



Figura 97: Ventosa a utilizar, con su forma redondo plano.

Especificaciones técnicas	
Diámetro de la ventosa	30 mm
Siglas del tipo	ESG
Posición de montaje	Vertical
Forma de la ventosa	Redondo plano
Medio de funcionamiento	Aire atmosférico
Temperatura ambiente	-10 ... 70 °C
Conexión de vacío	4
Fuerza de retención	40.8N
Peso	9 g

Cuadro 45: Especificaciones técnicas de ventosa ESG-30-SN-HD-QS.

### 9.3.4. Vacuómetro

El vacuómetro a utilizar es el modelo VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG de la marca festo, este nos servirá para saber el estado de nuestro vacío generado, y así poder monitorear el correcto funcionamiento del gripper. Sus especificaciones técnicas se muestran a continuación:

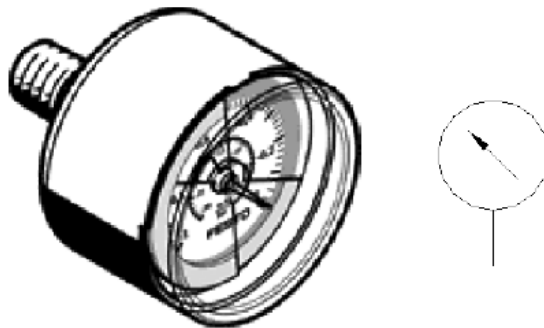


Figura 98: Vacuómetro a utilizar, con su diagrama.

Especificaciones técnicas	
Magnitud nominal manómetro	40
Posición de la conexión	Dorso céntrico
Posición de montaje	indistinto
Margen de la escala [bar]	-1 ... 0 bar
Escala	Escala sencilla
Presión de funcionamiento	-1 ... 0 bar
Peso	65 g

Cuadro 46: Especificaciones técnicas de vacuómetro VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG.

### 9.3.5. Conexión completa del sistema neumático para gripper de ventosa

El ensamble final de todos los componentes del sistema neumático se muestra a continuación.

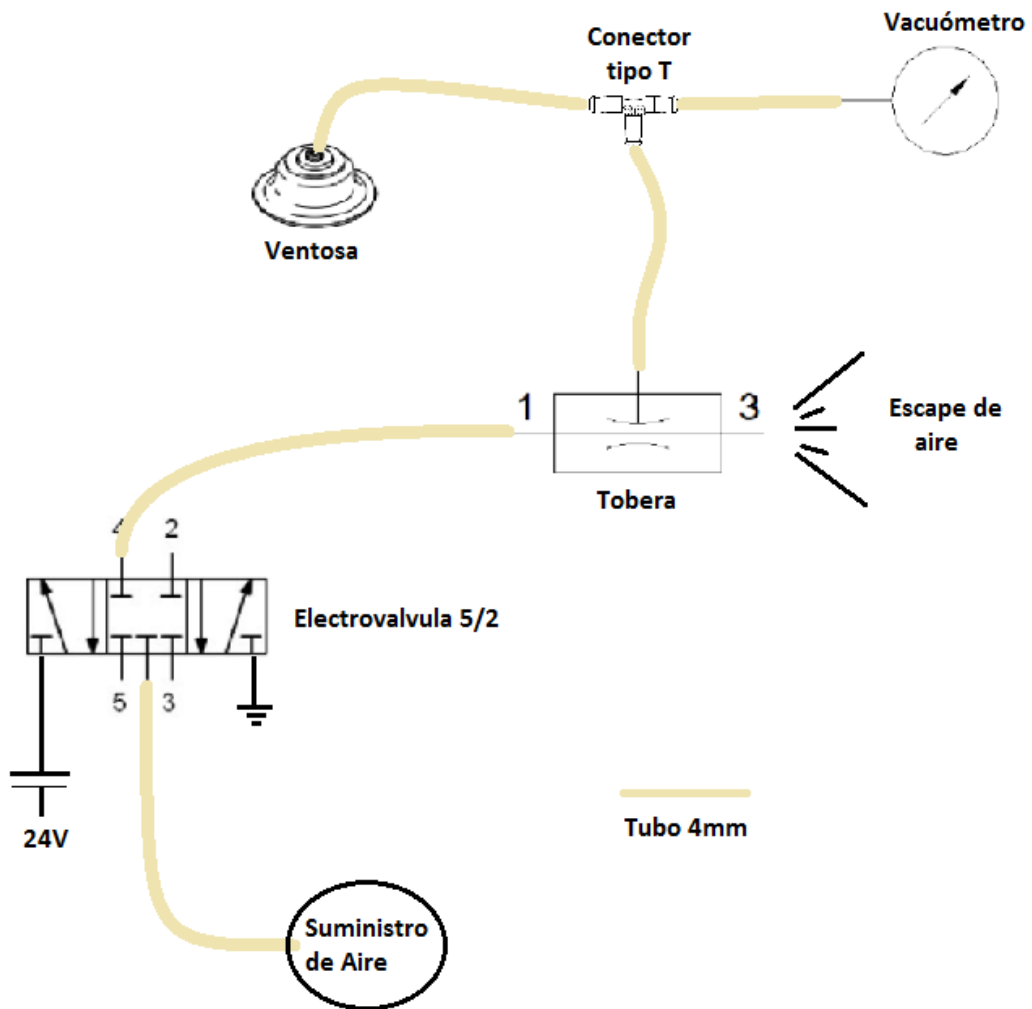


Figura 99: Diagrama de conexión del sistema neumático para gripper de vacío.



---

## Impacto didáctico

---

Uno de los objetivos de la creación de este módulo, es determinar de qué manera se enriquecerá el curso de Instrumentación Electrónica impartido en la universidad; ya que es un curso bastante útil para el futuro profesional de los estudiantes, este se divide en dos cursos, por lo cual se poseen solamente dos semestres para poder aprender la extensa gama de temas que se cubren en la Instrumentación y Automatización Industrial en la industria. Por lo que se observó el programa del curso y se analizaron los temas principales que se imparten, los cuales se detallarán en la siguiente lista:

- Tipos de instrumentos y características de desempeño.
- Errores y calibración.
- Ruido.
- Elementos de conversión de variables y sensores.
- Medición de temperatura, nivel, presión y flujo.
- Transmisión de señales.
- Redes y sistemas digitales modernos.

Se analizaron diferentes situaciones que ocurrían en este curso y la manera en que se impartían los diferentes temas, específicamente en los laboratorios y proyectos, con el fin de poder identificar los puntos en los cuales se podría mejorar el curso los cuales se listan a continuación:

- Se pierde tiempo en los laboratorios al momento de realizar las conexiones de los componentes a utilizar.

- No se poseen maquinaria tipo industrial.
- Se ve poco los mecanismos utilizados en la industria.
- Falta de material didáctico para apoyo al catedrático, como una línea de producción a pequeña escala.
- Los componentes utilizados en la industria son difíciles de adquirir para un estudiante, al momento de realizar su proyecto.

Al identificar los temas mas importantes que se imparte, y al analizar los problemas o contra tiempos que se poseen en el curso, se puede determinar como enriquecerá este módulo y este proyecto al curso de Instrumentación y Automatización Industrial. En sí el enriquecimiento se puede identificar de tres perspectivas, de parte del Módulo almacenador en específico, de la línea de producción completa, y al curso en general.

### **Módulo almacenador**

El módulo almacenador utiliza diferentes motores paso a paso, controladores, motor DC, una parte neumática y una gran variedad de mecanismos de movimiento; y cada uno de ellos se conecta y controla de diferente manera, lo cual aporta el poder saber manipular diferentes tipos de motores, en un solo módulo. A continuación se listan los beneficios que podría aportar la implementación de este módulo al curso:

- En el contenido del curso no se tiene contemplado el control de un motor paso a paso, por lo que esto sería un tema nuevo en el curso, en el cual los estudiantes pueden aprender a programar y controlar los diferentes parámetros que esto conlleva.
- El gripper de vacío propuesto es una gran innovación para el curso ya que este tipo de tecnología se está utilizando de manera masiva en los procesos industriales, por lo que para el catedrático tener este tipo de herramientas le será muy útil para enseñar los diferentes mecanismos y partes que este conlleva, y así dar una buena introducción al estudiante a los sistemas neumáticos.
- El módulo almacenador esta construido por diferentes mecanismos y estructuras, pero su estructura principal está formada a base de perfiles de aluminio, los cuales son muy utilizados en la industria ya que son fáciles de implementar, conseguir en el mercado y de alto rendimiento. Por lo que los estudiantes podrán aprender de estas estructuras a primera mano teniendo el módulo, ya que dichos perfiles se encuentran no solo en la mesa de trabajo, si no que también en la estructura de los mecanismos de movimiento.

### **Línea de producción, cuatro módulos**

El módulo almacenador fue el que se trabajó en este proyecto, pero existen tres módulos más: un sistema de recirculación de agua, un seleccionador/rechazador y un clasificador; y en cada uno de ellos se utiliza una variedad de sensores, actuadores, motores, mecanismos, estructuras, entre otros, en sí es una línea de producción bastante completa, lo que ayudarían

al estudiante a formarse una idea de como se trabaja en la industria, teniendo maquinaria y componentes a escala reales, en el cual puede programar, diseñar, realizar instalaciones y ver el funcionamiento de cada uno de ellos, en un ambiente simulado a la realidad bastante completo.

### **Aporte al curso en general**

Se pueden destacar dos aportes principales que tendría la creación de esta línea de producción al curso, el primero es que al catedrático se le daría una gran cantidad de material didáctico con la que podría ampliar y ejemplificar de mejor manera sus clases, ya que cada uno de los módulos se entrega con un manual de usuario y un manual eléctrico, con los cuales se podría basar para conocer a profundidad el funcionamiento de los módulos. Y el segundo el estudiante estaría mejor preparado en el ámbito industrial, ya que su aprendizaje se desarrollaría en un entorno muy familiarizado al de una industria, pero a pequeña escala, tendría más material y contenido de estudio, conocería mas ramas de la industria y los laboratorios y proyectos serían mas intuitivos y prácticos. También al tener la línea de producción el estudiante ya no tendría que gastar en componentes que probablemente sean caros y que solamente los utilice una vez para el proyecto, y los que tendrá a disposición serán de primera calidad y podrán ser utilizados durante mucho tiempo en la universidad. Al implementar laboratorios que implementen la utilización de alguno de los módulos, ya no se perdería tiempo en al momento de realizar las conexiones de los aparatos a utilizar, ya que todo estará listo para programar una vez ya se haya instalado adecuadamente.



Figura 100: Montaje de módulo almacenador final.



Respecto al objetivo general:

- El módulo puede almacenar a una velocidad de  $312.5mm/s$ , tomando parámetros promedio, el ciclo se tardará aproximadamente  $11segundos$  para recoger y almacenar un objeto empezando desde el punto cero, recoger a la mitad del recibidor, ir lo a almacenar al centro de la bandeja y terminando en el punto cero, a la espera de otro objeto. La bandeja tiene capacidad de almacenar 20 objetos, por lo que este módulo almacenador se tardará un tiempo aproximado de  $220segundos$  o  $3minutos$  con  $40segundos$  para llenar la bandeja completa de objetos.
- Se realizó una simulación en la cual se representa el procedimiento de almacenaje de un objeto, empezando desde la banda transportadora y la máquina empezando desde el punto cero, hasta almacenar el objeto y regresar al punto cero, con el cual se valida que la máquina podrá almacenar los objetos de manera adecuada.

Respecto a los objetivos específicos:

- La garra sujeta firmemente a los objetos con el mecanismo de piñón cremallera controlado por un motor DC de 24V y finales de carrera, teniendo en sus dedos filamentos de goma para aumentar la fricción con el objeto.
- El gripper o garra de vacío que se diseñó puede levantar y mover correctamente los objetos, ya que solo se necesitan  $1.617N$  de fuerza de retención para mover el objeto, y la ventosa posee una fuerza de retención máxima de  $40.8N$ .
- Los mecanismos de movimiento de los ejes X, Y y Z tienen una resolución o precisión de  $0.0125mm$  con los diferentes parámetros configurados para el motor paso a paso, por lo que se podrán almacenar de manera precisa cada uno de los objetos.
- Se diseñó un sistema mecánico de movimiento para los ejes X, Y y Z, estructurado por perfiles de aluminio, y se mueven a través de rieles lineales, impulsados por motores

paso a paso Nema 23 acoplados directamente a tornillos de bola, controlado por Drivers y finales de carrera; los cuales son muy utilizados en la industria ya que son fáciles de implementar, conseguir en el mercado y de alto rendimiento.

- Se realizaron diferentes versiones al diseño, la versión final es la que posee los mejores parámetros, como diseño, estructura, eficiencia, fuerza y precio.
- Se pueden destacar dos aportes principales que tendría la creación de esta línea de producción al curso, el primero es que al catedrático se le daría una gran cantidad de material didáctico con la que podría ampliar y ejemplificar de mejor manera sus clases, ya que cada uno de los módulos se entrega con un manual de usuario y un manual eléctrico, con los cuales se podría basar para conocer a profundidad el funcionamiento de los módulos. Y el segundo el estudiante estaría mejor preparado en el ámbito industrial, ya que su aprendizaje se desarrollaría en un entorno muy familiarizado al de una industria, pero a pequeña escala, tendría más material y contenido de estudio, conocería más ramas de la industria y los laboratorios y proyectos serían más intuitivos y prácticos. También al tener la línea de producción el estudiante ya no tendría que gastar en componentes que probablemente sean caros y que solamente los utilice una vez para el proyecto, y los que tendrá a disposición serán de primera calidad y podrán ser utilizados durante mucho tiempo en la universidad. Al implementar laboratorios que implementen la utilización de alguno de los módulos, ya no se perdería tiempo en el momento de realizar las conexiones de los aparatos a utilizar, ya que todo estará listo para programar una vez ya se haya instalado adecuadamente.

- En el análisis de costos, se cotizaron las piezas para armar el gripper mecánico con el motor de 24V y con el mecanismo piñón cremallera; y el gripper de vacío por medio de una ventosa y su sistema neumático necesario. Se recomienda implementar ambos grippers, ya que al tener los dos se tendría una gama mas amplia de aprendizaje porque en cada uno de ellos se ven componentes y temas de la industria totalmente diferentes. Y tanto el estudiante como el catedrático tendrán mas herramientas para poder aprender y enseñar respectivamente.
- Se recomienda mantener bien lubricados los rieles lineales de desplazamiento, los tornillos de bola, en sí todos los elementos necesarios para que los mecanismos de movimiento se muevan de manera correcta, y no se dañen fácilmente.
- Se recomienda verificar que el lugar de trajo y la mesa de trabajo queden alineadas correctamente, para que todo el mecanismo se encuentre en un lugar estable. En dado caso el lugar de trabajo no se encuentre en un lugar totalmente plano, se recomienda agregarle a las patas de la mesa de trabajo los siguientes niveladores mostrados en la Figura 101, para poder nivelar correctamente la mesa.

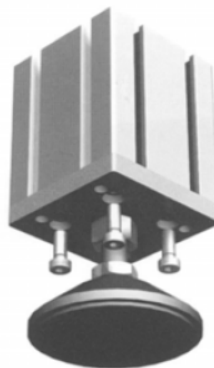


Figura 101: Niveladores para mesa de trabajo.



- 
- [1] R. Aronson. (ago. de 2014). FarmBot - Open-Source CNC Farming, dirección: <https://hackaday.io/project/2552-farmbot-open-source-cnc-farming/details#header>.
  - [2] T. R. Kuphaldt, *Lessons in industrial instrumentation*. Creative Commons Attribution/PAControl.com, 2008.
  - [3] J. L. P. Alonso, *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión, en bienes de equipo y maquinaria industrial. FMEE0208*. IC Editorial, 2013.
  - [4] M. A. P. Garcia, *Instrumentación electrónica*, first. Calle Velázquez, 31, 3ra, 28001 Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A., mayo de 2014.
  - [5] A. G. Higuera, *Cim: el computador en la automatización de la producción*. Univ de Castilla La Mancha, 2007, vol. 50.
  - [6] O. H. Penisi, M. Ceccarelli y G. Carbone, “Clasificación de mecanismos en pinzas industriales de dos dedos”, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 7, n.º 1, págs. 59-75, 2003.
  - [7] J. C. Castillo, *Automatismos Industriales*, first. 28224 Pozuelo de Alarcón (Madrid): Editex, jul. de 2009.
  - [8] N. Khapekar y K. Joshi, “Fully digital control of AC servo motor using fuzzy logic controller”, en *2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)*, IEEE, 2017, págs. 1-5.
  - [9] OMRON, *AC Servomotors/ Servo Drives SMARTSTEP2*, REALIZING, [https://www.mouser.com.gt/datasheet/2/307/r88m-gr7d-bp\\_i813-e196c-sm2685-1265163.pdf](https://www.mouser.com.gt/datasheet/2/307/r88m-gr7d-bp_i813-e196c-sm2685-1265163.pdf), mayo de 2010.
  - [10] C. Ortega, *Motores Paso A Paso*. Universidad de Guadalajara, 2018, vol. Capitulo 3.
  - [11] G. Weber, P. Firouzi, A. Baran, E. Bölke, H. Schrupf, B. Buhren, B. Homey y P. Gerber, “CNC Router nema 23 24v stepper Motor| PROSTEPPER Mini Stepper Motor Suppliers”, *European Journal of Medical Research*, vol. 23, 2018.

- [12] R. Delgado. (feb. de 2019). ¿Cómo se lleva a cabo la aplicación del sistema pick and place en robótica?, dirección: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/pick-and-place/>.
- [13] R. Robots, “Gripper y pinzas para robots industriales”, *Revista de Robots*, 2020.
- [14] A. M. Checa, “Fundamentos Físicos Aplicados a la Ingeniería I”, *Departamento de Física ULL*, pág. 49, dic. de 2016.
- [15] COVAL. (mar. de 2016). Generacion de Vacio, BOMBAS DE VACÍO VENTURI, dirección: <https://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/generacion-de-vacio/>.
- [16] G. C. Luis, “Vacuometro”, *La Habana Editorial Pueblo y Educación*, pág. 619, 2018.
- [17] INTOR. (nov. de 2016). Clasificación de válvulas neumáticas direccionales., dirección: <http://www.intor.com.ar/clasificacion-de-valvulas-neumaticas-direccionales/>.

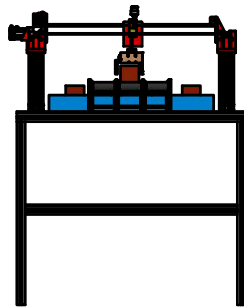
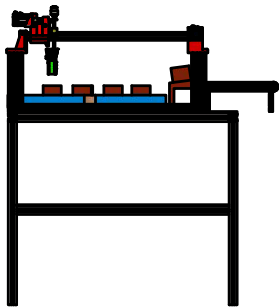
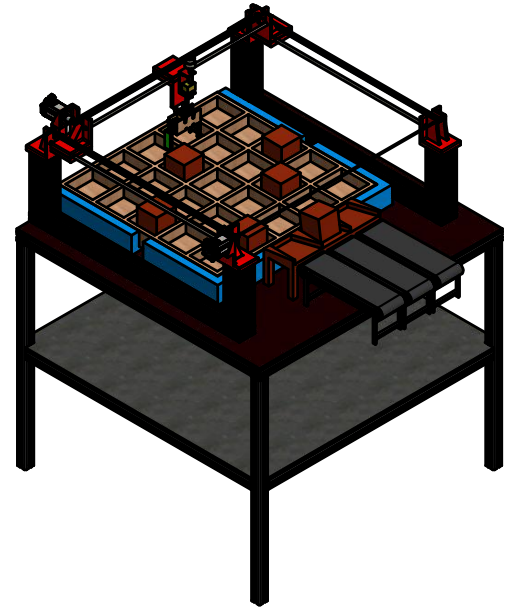
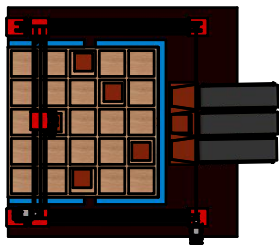
## CAPÍTULO 14

---

Anexos

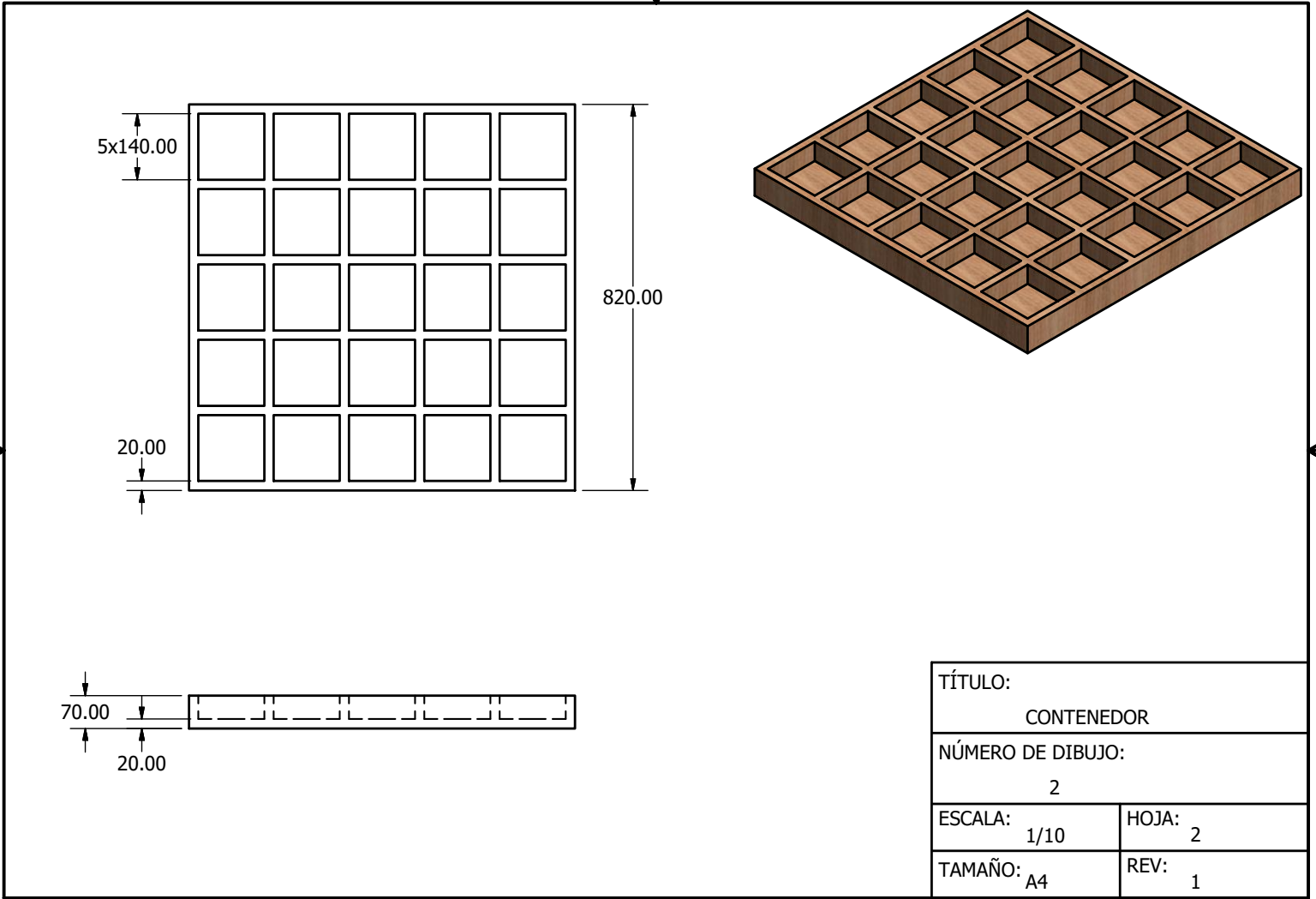
---

Planos de construcción

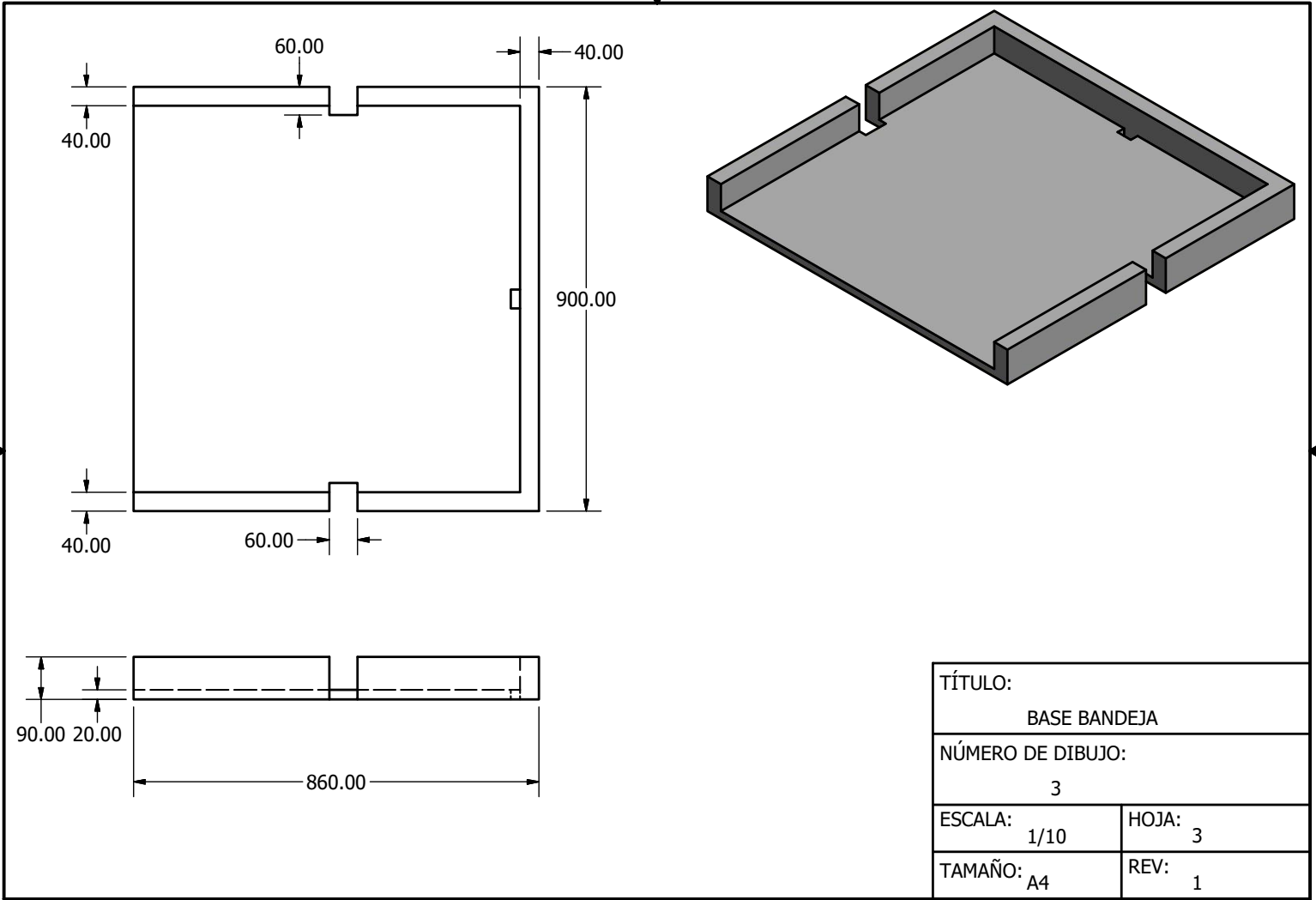


TÍTULO: MODULO ALMACENADOR		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA <b>UVG</b> UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 AVENIDA, 11-95 ZONA 15, VISTA HERMOSA III GUATEMALA, GUATEMALA 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 INFO@UVG.EDU.GT	
NÚMERO DE DIBUJO: 1		DIBUJADO POR: EDGAR RAMIREZ	
TOLERANCIAS: LINEAR .X ± .XX ± .XXX ± ANGULAR ± FRACCIONES ±	TAMAÑO: A4	HOJA: 1	DISEÑADO POR: EDGAR RAMIREZ
	TERCER ANGULO 	U. DE MEDICIÓN: mm	APROBADO POR:
		REV: 1	PESO: N/D
			ESCALA: 1/30

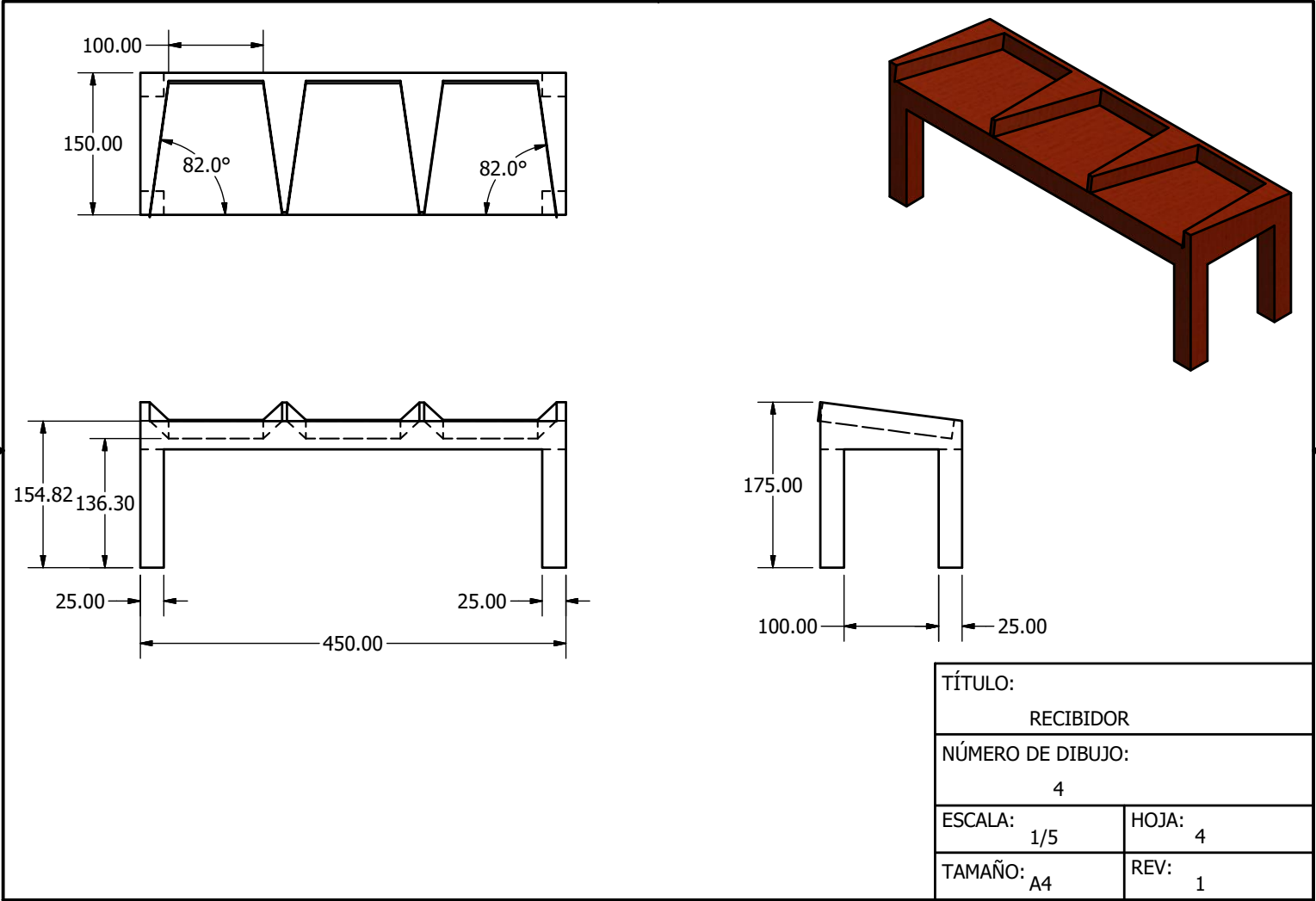




TÍTULO:	
CONTENEDOR	
NÚMERO DE DIBUJO:	
2	
ESCALA:	HOJA:
1/10	2
TAMAÑO:	REV:
A4	1

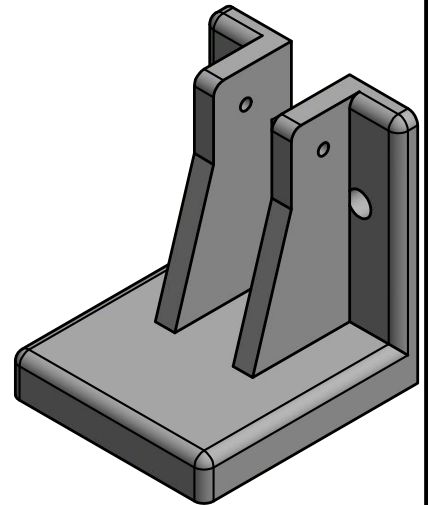
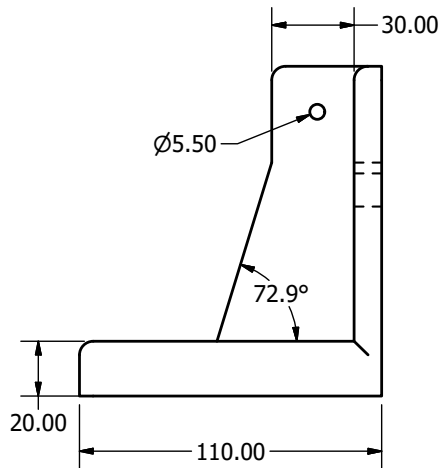
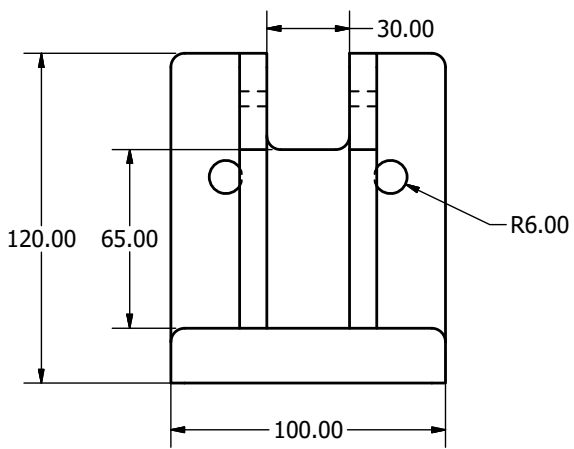
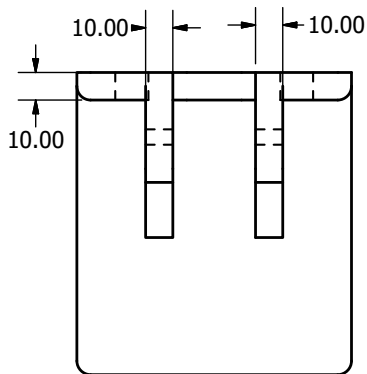


TÍTULO:	
BASE BANDEJA	
NÚMERO DE DIBUJO:	
3	
ESCALA:	HOJA:
1/10	3
TAMAÑO:	REV:
A4	1



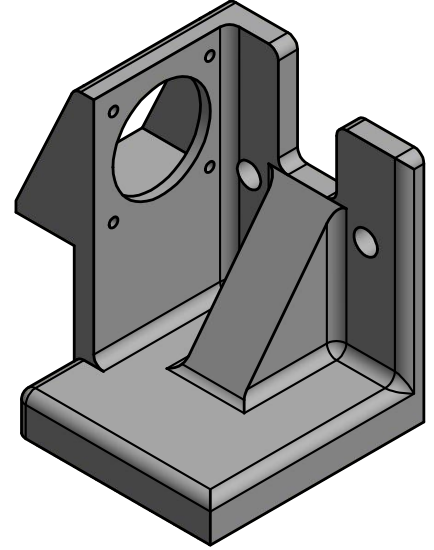
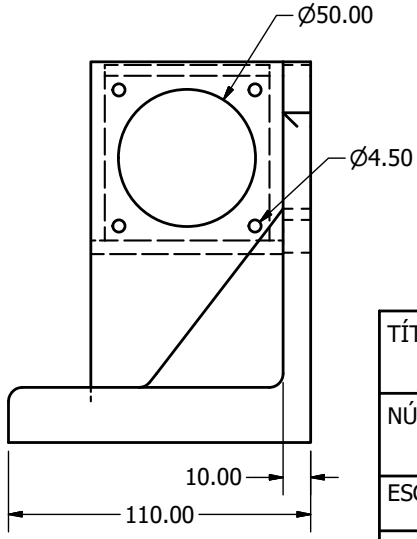
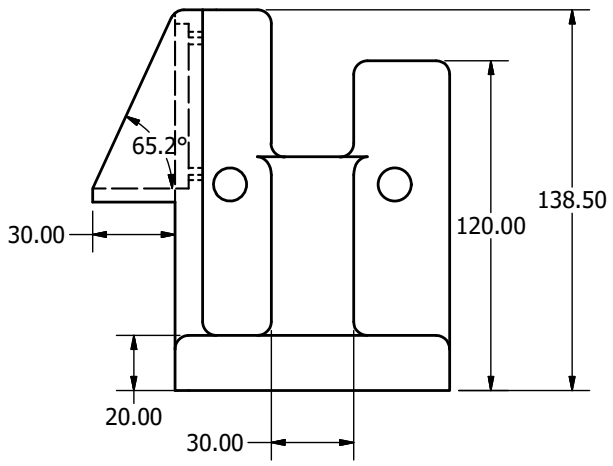
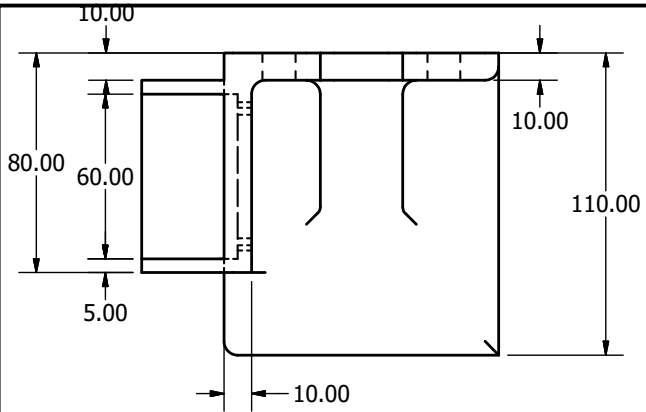
TÍTULO:	
RECIPIENTE	
NÚMERO DE DIBUJO:	
4	
ESCALA:	HOJA:
1/5	4
TAMAÑO:	REV:
A4	1





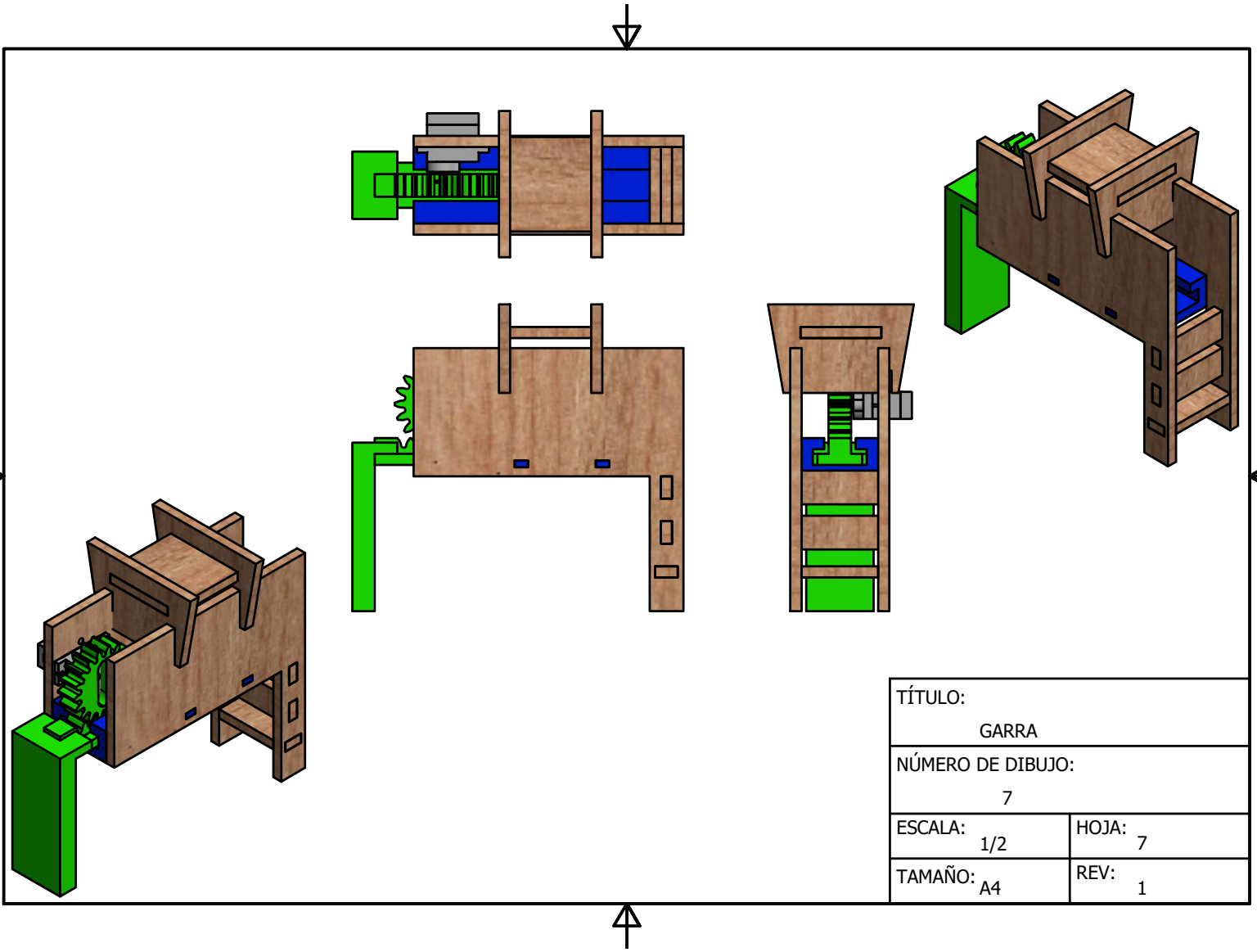
Empalmes r 5mm

TÍTULO:	
BASE SUPERIOR 1	
NÚMERO DE DIBUJO:	
5	
ESCALA:	HOJA:
1/2	5
TAMAÑO:	REV:
A4	1



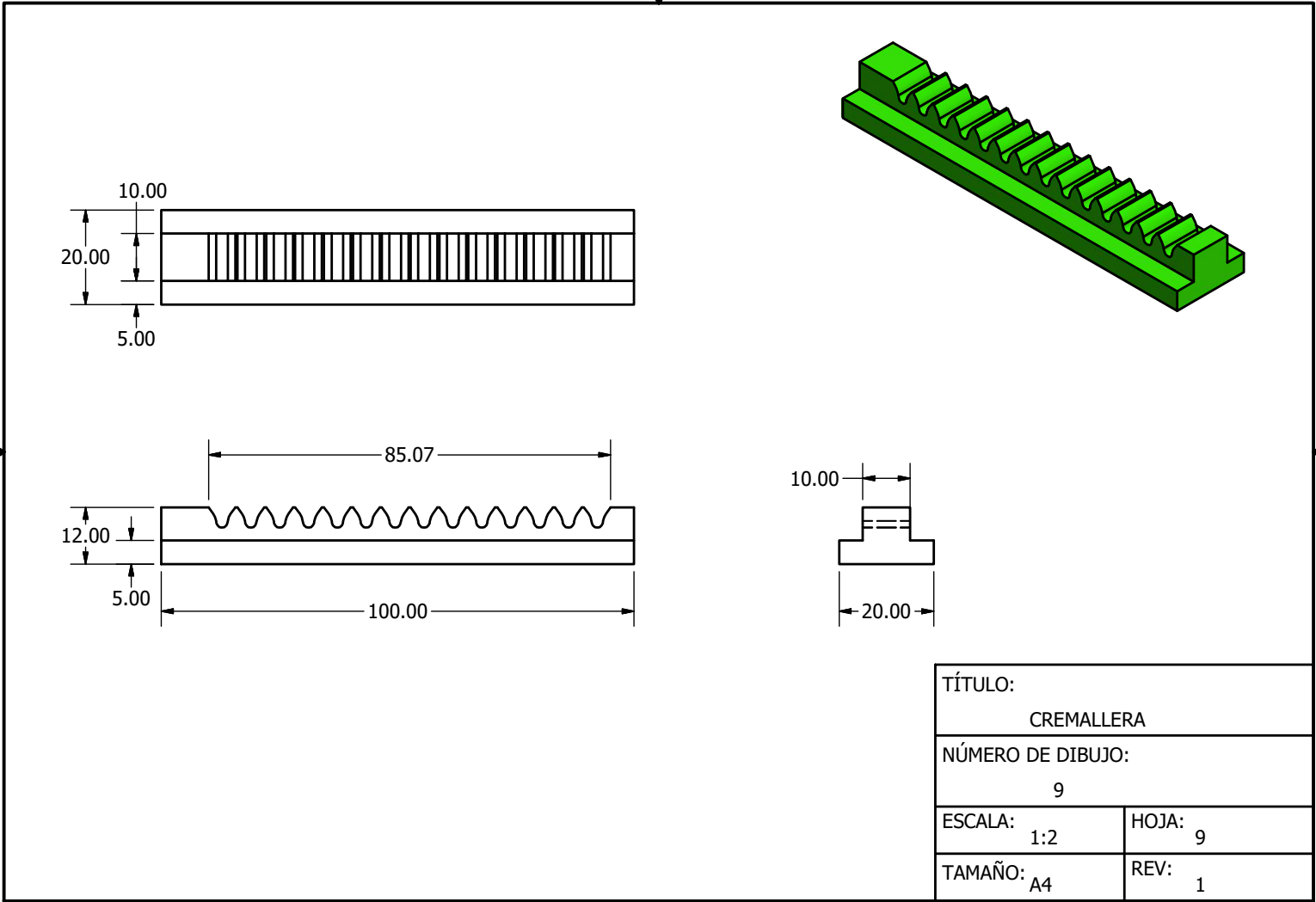
Empalmes r5mm

TÍTULO: BASE SUPERIOR 2	
NÚMERO DE DIBUJO: 6	
ESCALA: 1/2	HOJA: 6
TAMAÑO: A4	REV: 1



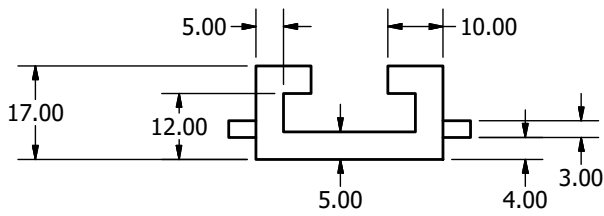
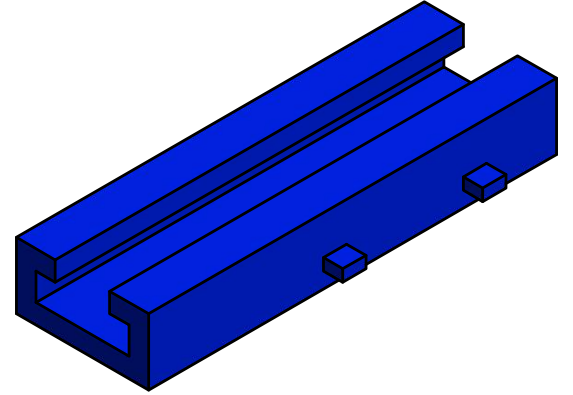
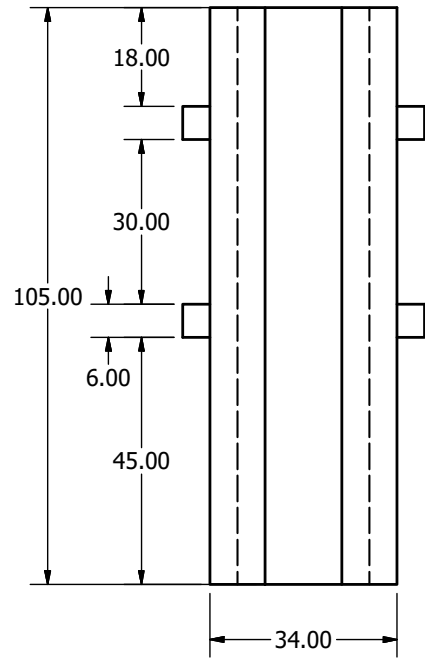
TÍTULO:	
GARRA	
NÚMERO DE DIBUJO:	
7	
ESCALA:	HOJA:
1/2	7
TAMAÑO:	REV:
A4	1



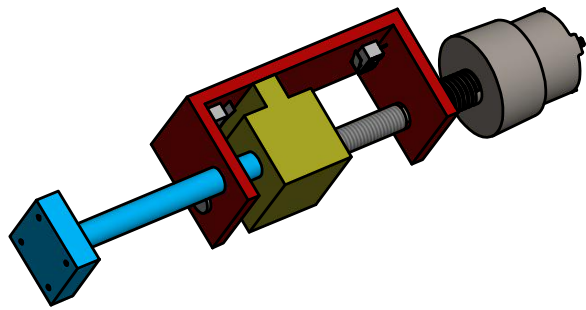
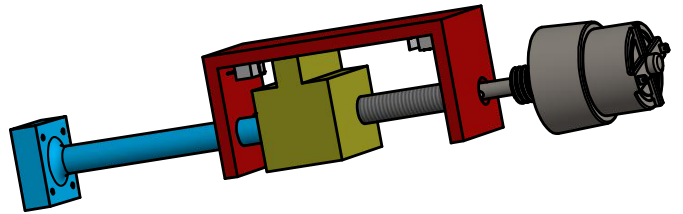
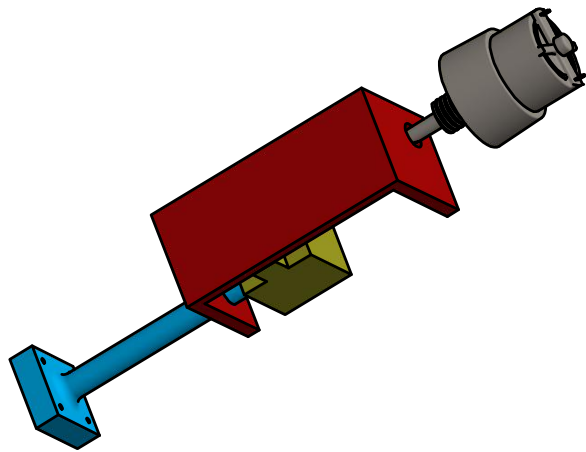


TÍTULO: CREMALLERA	
NÚMERO DE DIBUJO: 9	
ESCALA: 1:2	HOJA: 9
TAMAÑO: A4	REV: 1

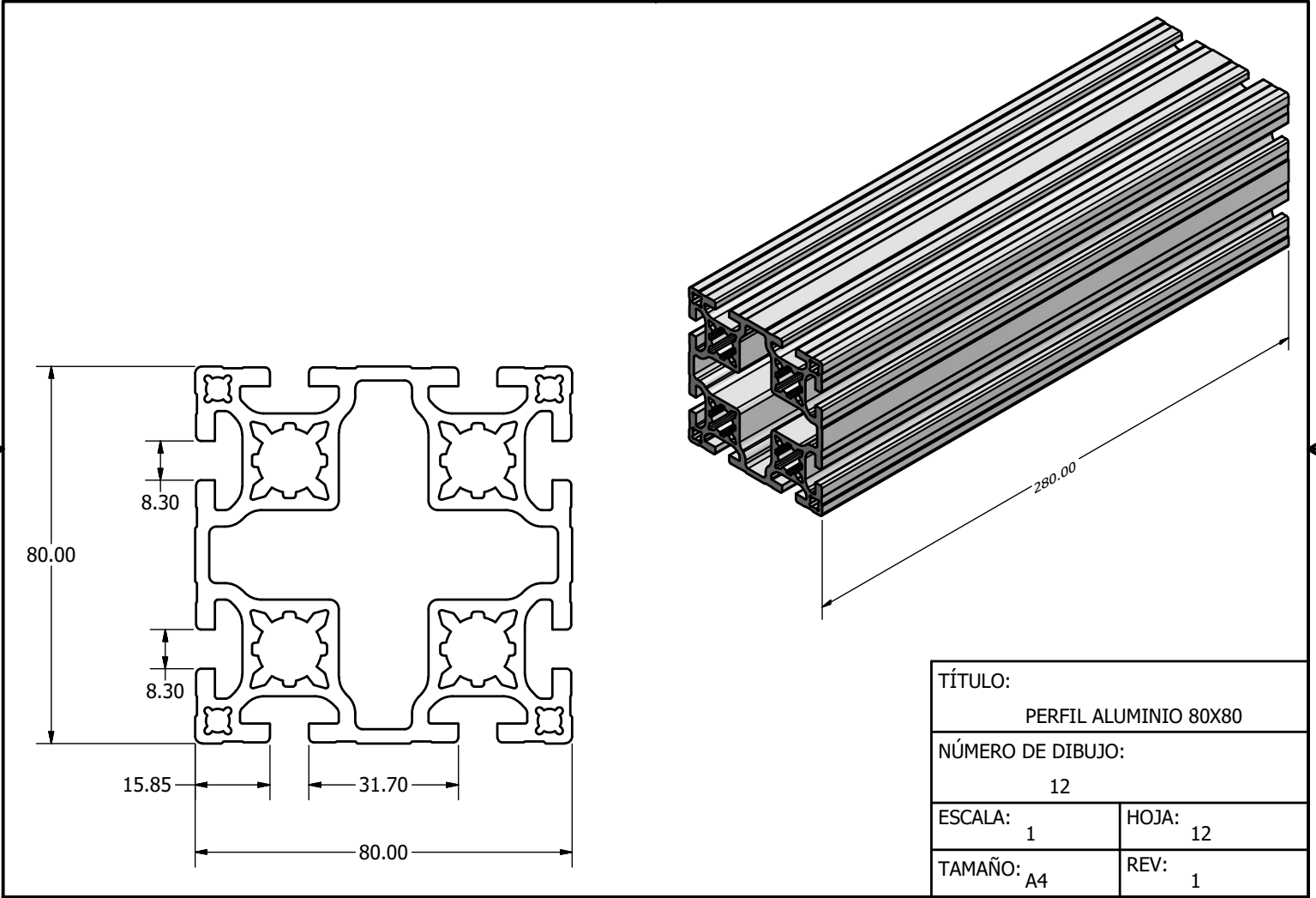




TÍTULO:	
COVERTOR CREMALLERA	
NÚMERO DE DIBUJO:	
10	
ESCALA:	HOJA:
1:1	10
TAMAÑO:	REV:
A4	1

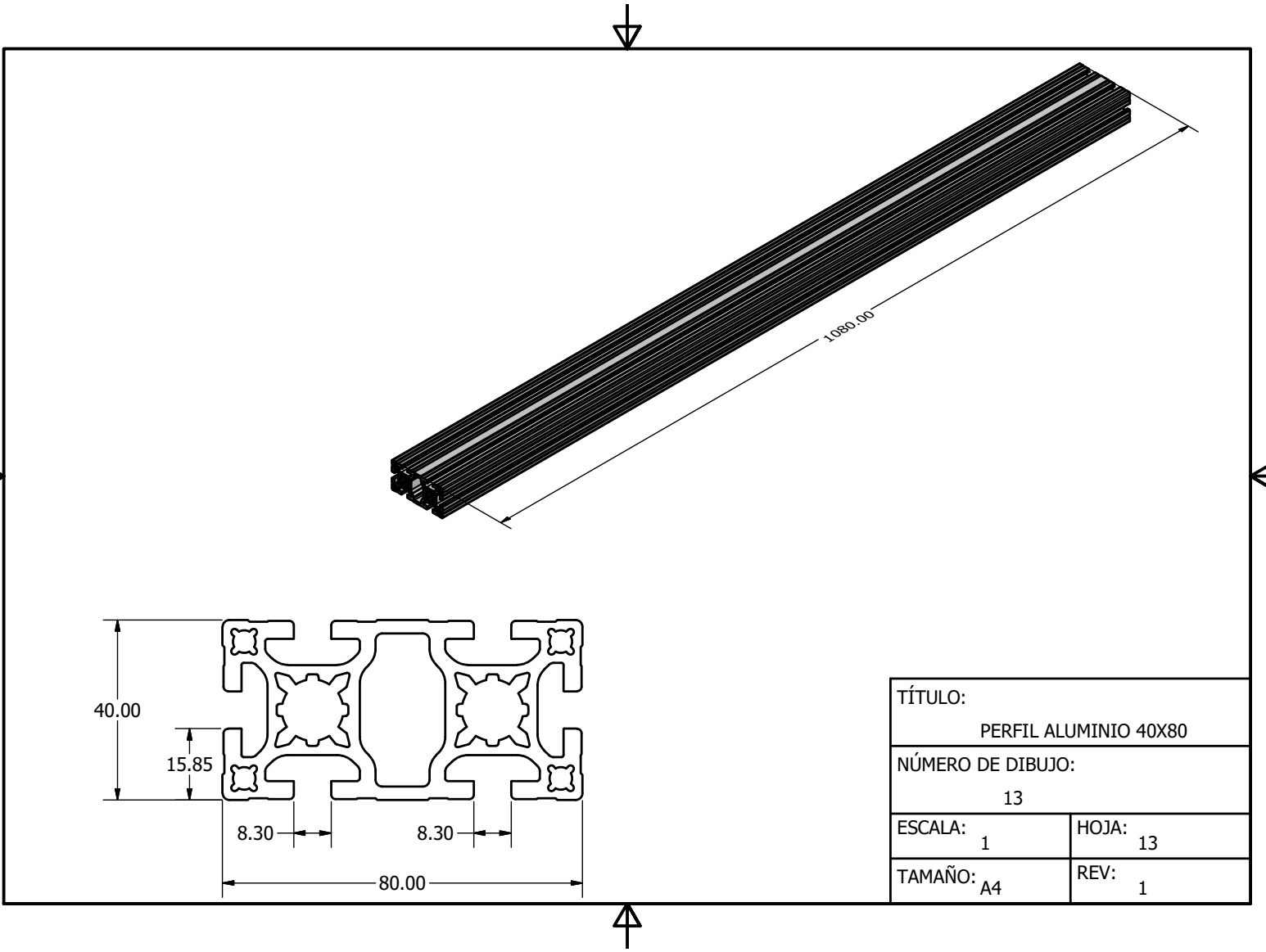


TÍTULO:	
MECANISMO EJE Z	
NÚMERO DE DIBUJO:	
11	
ESCALA:	HOJA:
1:1	11
TAMAÑO:	REV:
A4	1

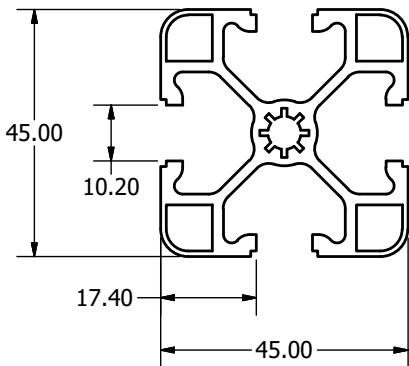
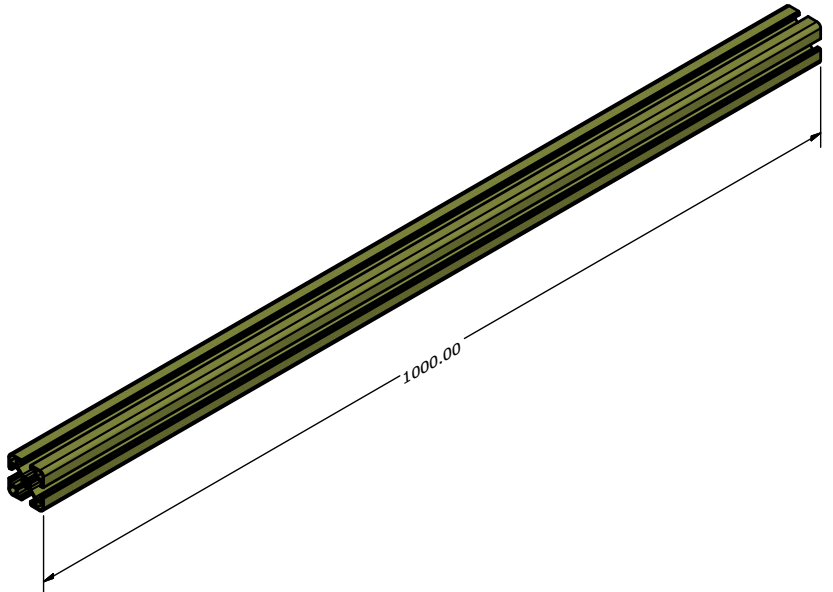


TÍTULO:	
PERFIL ALUMINIO 80X80	
NÚMERO DE DIBUJO:	
12	
ESCALA:	HOJA:
1	12
TAMAÑO:	REV:
A4	1





TÍTULO:	
PERFIL ALUMINIO 40X80	
NÚMERO DE DIBUJO:	
13	
ESCALA:	HOJA:
1	13
TAMAÑO:	REV:
A4	1



TÍTULO:	
PERFIL ALUMINIO 45X45	
NÚMERO DE DIBUJO:	
14	
ESCALA:	HOJA:
1:1	14
TAMAÑO:	REV:
A4	1

Lista de proveedores con Links:

No.	Componente	Proveedor	Link
1	Perfil de aluminio 80mmX80mm	ALU10	<a href="https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/31-perfil-aluminio-ranurado-8080-Vallado-Seguridad.html">https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/31-perfil-aluminio-ranurado-8080-Vallado-Seguridad.html</a>
2	Perfil de aluminio 80mmX40mm	ALU10	<a href="https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/32-perfil-aluminio-ranurado-maquinas-4080-aluminio-maquinas.html">https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/32-perfil-aluminio-ranurado-maquinas-4080-aluminio-maquinas.html</a>
3	Plancha de acero inoxidable	Soluciones de acero S.A.	<a href="https://www.enaceroinox.com/shop/product/lamina-en-acero-inoxidable-ss304-y-pulido-no-1-1247?category=10">https://www.enaceroinox.com/shop/product/lamina-en-acero-inoxidable-ss304-y-pulido-no-1-1247?category=10</a>
4	Soporte perfiles de aluminio	ALU10	<a href="https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/23-escuadra-78x78x78-serie-40-y-80.html">https://alu10.com/es/serie-4080-ranura-8/23-escuadra-78x78x78-serie-40-y-80.html</a>
5	Bandeja	EPA	<a href="https://gt.epaenlinea.com/mdf-25mm-1-formato-4-x8.html">https://gt.epaenlinea.com/mdf-25mm-1-formato-4-x8.html</a>
6	Riel lineal HGR20	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/linear-guideways/ghr-20-detail">https://vallder.com/en/c/linear-guideways/ghr-20-detail</a>
7	BK12	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/bk-12-detail">https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/bk-12-detail</a>
8	BF12	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/bf-12-detail">https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/bf-12-detail</a>
9	Tornillo de bola 1605	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/sfu-1605-cs-detail">https://vallder.com/en/c/ball-screw-support-unit/sfu-1605-cs-detail</a>
10	SF1605	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/ball-screws/sfu-1605-nut-detail">https://vallder.com/en/c/ball-screws/sfu-1605-nut-detail</a>
11	SF1605 doble	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/ball-screws/sfu-1605-nut-detail">https://vallder.com/en/c/ball-screws/sfu-1605-nut-detail</a>
12	HIWIN HGH20CA	Vallder	<a href="https://vallder.com/en/c/linear-guideways/ghh_20ca-detail">https://vallder.com/en/c/linear-guideways/ghh_20ca-detail</a>
13	Acople motor 8-10	Yosoo	<a href="https://www.amazon.com/Flexible-Coupling-Stepper-Motor-Connector/dp/B01NCSG39G">https://www.amazon.com/Flexible-Coupling-Stepper-Motor-Connector/dp/B01NCSG39G</a>

Cuadro 47: Links de proveedores para piezas 1.

14	Stepper Motor-Nema 23	STEPPERONLINE	<a href="https://www.amazon.com/-/es/stores/STEPPERONLINE/page/CC42C048-C998-462F-9C8C-189225C4412C?ref_=ast_bln">https://www.amazon.com/-/es/stores/STEPPERONLINE/page/CC42C048-C998-462F-9C8C-189225C4412C?ref_=ast_bln</a>
15	M542 driver	Sacor SL.	<a href="https://frs-cnc.com/electronica-cnc/controladoras/372/drvm542-4a-detail">https://frs-cnc.com/electronica-cnc/controladoras/372/drvm542-4a-detail</a>
16	Plancha de aluminio	ALUMINOX	<a href="https://www.aluminox.com.gt/">https://www.aluminox.com.gt/</a>
17	Ventosa	Festo	<a href="https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm">https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm</a>
18	Final de carrera	La Electrónica	<a href="https://laelectronica.com.gt/final-de-carrera-spd-t-largo">https://laelectronica.com.gt/final-de-carrera-spd-t-largo</a>
19	Tobera Venturi	Festo	<a href="https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm">https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm</a>
20	Electroválvula5-2	Festo	<a href="https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm">https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm</a>
21	Vacuómetro	Festo	<a href="https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm">https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm</a>
22	AcopleVacuómetro	Festo	<a href="https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm">https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm</a>
23	Tornillos Allen M8	La Casa del Tornillo	<a href="https://casator.com/#/menu/productos">https://casator.com/#/menu/productos</a>
24	Tornillos Allen M10	La Casa del Tornillo	<a href="https://casator.com/#/menu/productos">https://casator.com/#/menu/productos</a>
25	Tornillos Allen M5	La Casa del Tornillo	<a href="https://casator.com/#/menu/productos">https://casator.com/#/menu/productos</a>
26	Tornillos Allen M6	La Casa del Tornillo	<a href="https://casator.com/#/menu/productos">https://casator.com/#/menu/productos</a>
27	Tornillos motor	La Casa del Tornillo	<a href="https://casator.com/#/menu/productos">https://casator.com/#/menu/productos</a>
28	Módulo Siemens FM353	Siemens	<a href="https://www.ebay.com/c/1958203355">https://www.ebay.com/c/1958203355</a>

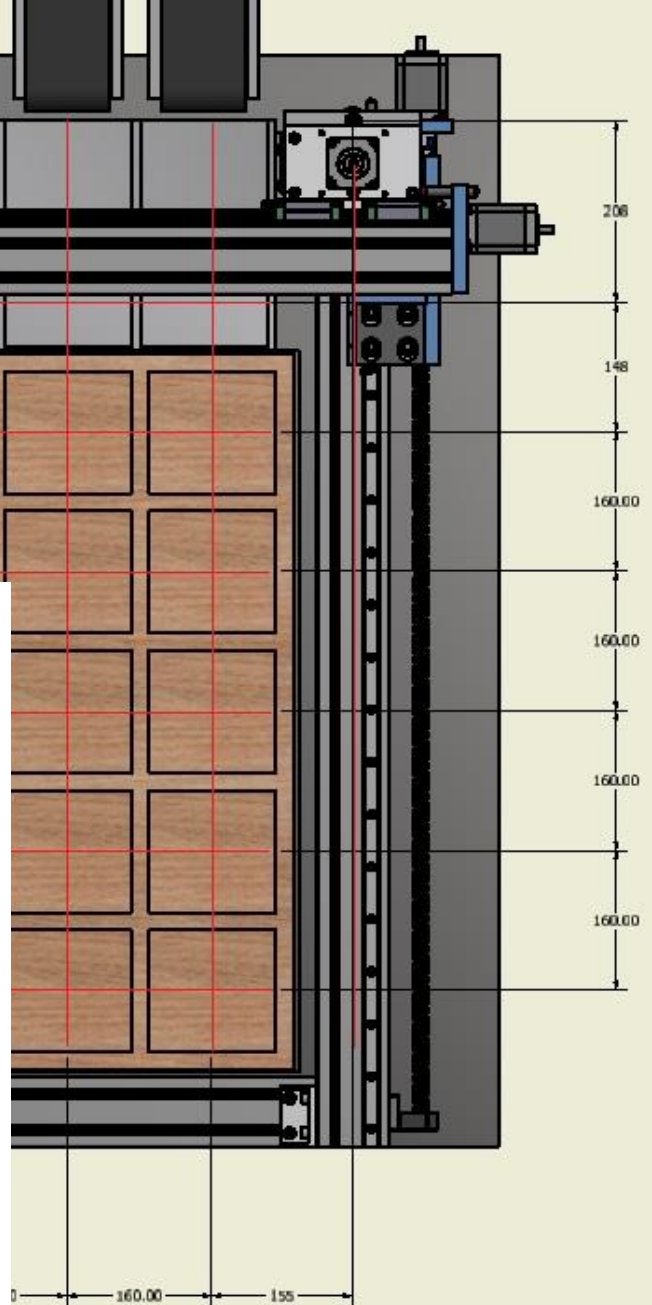
Cuadro 48: Links de proveedores para piezas 2.

Manual de operaciones

# MANUAL DE OPERACIÓN

Diseño de módulo almacenador  
para una línea de producción con  
fines didácticos

Edgar René Ramírez González  
Ingeniería Electrónica  
2020



**UVG** | UNIVERSIDAD  
DEL VALLE  
DE GUATEMALA

---

# Descripción del módulo:

Se diseñó una línea de producción a pequeña escala, con fines didácticos; en dicha línea se divide en 4 módulos: movimiento de fluidos, rechazadora, clasificadora y una almacenadora. La parte que se desarrolló en este trabajo de graduación será el módulo de la almacenadora.

El módulo almacenador consiste en recibir diferentes objetos previamente clasificados en el módulo anterior, se recibirán los objetos de tres bandas transportadoras, cada uno de ellos tendrá tres diferentes pesos pero el mismo tamaño; y la ira almacenando en un contenedor por medio de una garra. Para el movimiento de la garra encargada de mover las piezas, se utilizará un mecanismo que se mueva en los 3 ejes x, y y z con la ayuda de motores paso a paso y un diseño mecánico se logró posicionar de manera adecuada las piezas. Por lo que este será el módulo final de la línea de producción. Ya teniendo el contenedor lleno, se podrá retirar para poder regresar las piezas al principio de la línea.



Figura 1: Módulo almacenador

---

## OBJETIVO:

Elaborar un manual de operaciones que documente las estaciones de procesamiento del módulo almacenador; en el cual se demuestre por medio de diagramas de flujo el funcionamiento general y específico del módulo. Representar cómo funciona la máquina y cómo es la interacción con el usuario, por medio de planos, tablas y figuras.

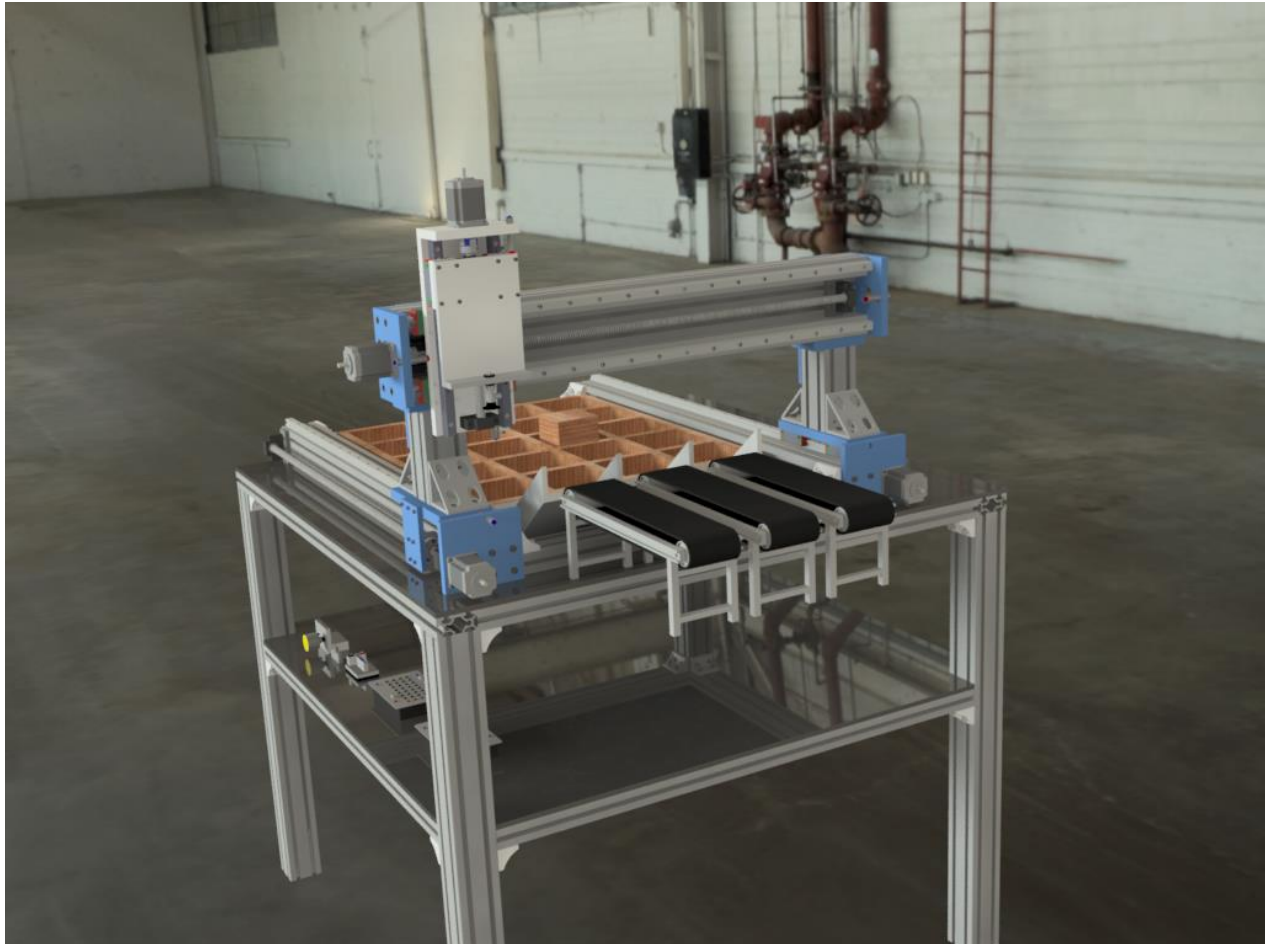


Figura 2: Módulo almacenador, vista en un ambiente simulado de un laboratorio.

# Diagrama de flujo-funcionamiento general para garra mecánica:

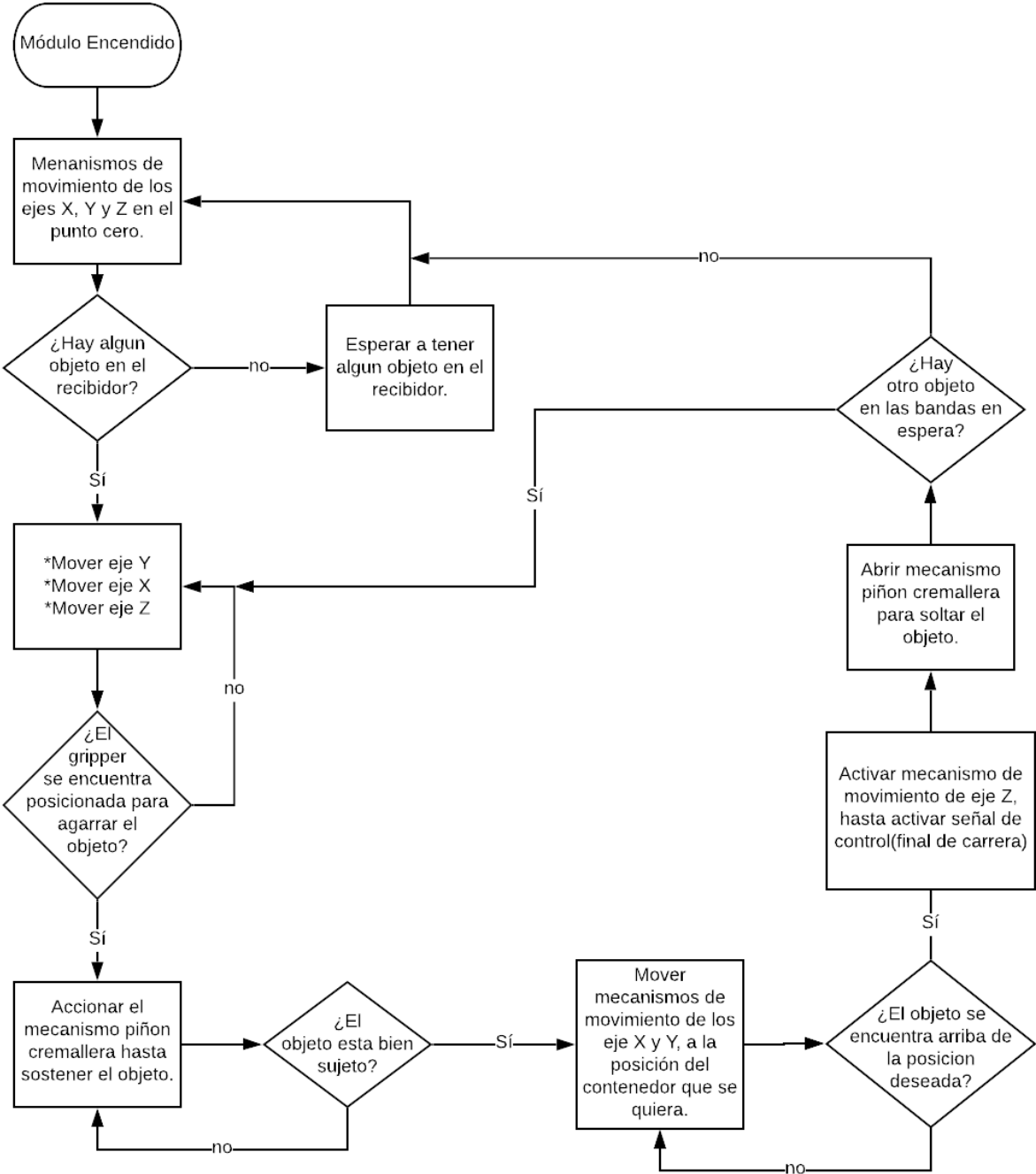


Figura 3: Diagrama de flujo del funcionamiento general del módulo con garra mecánica.

# Diagrama de flujo-funcionamiento general para garra de vacío:

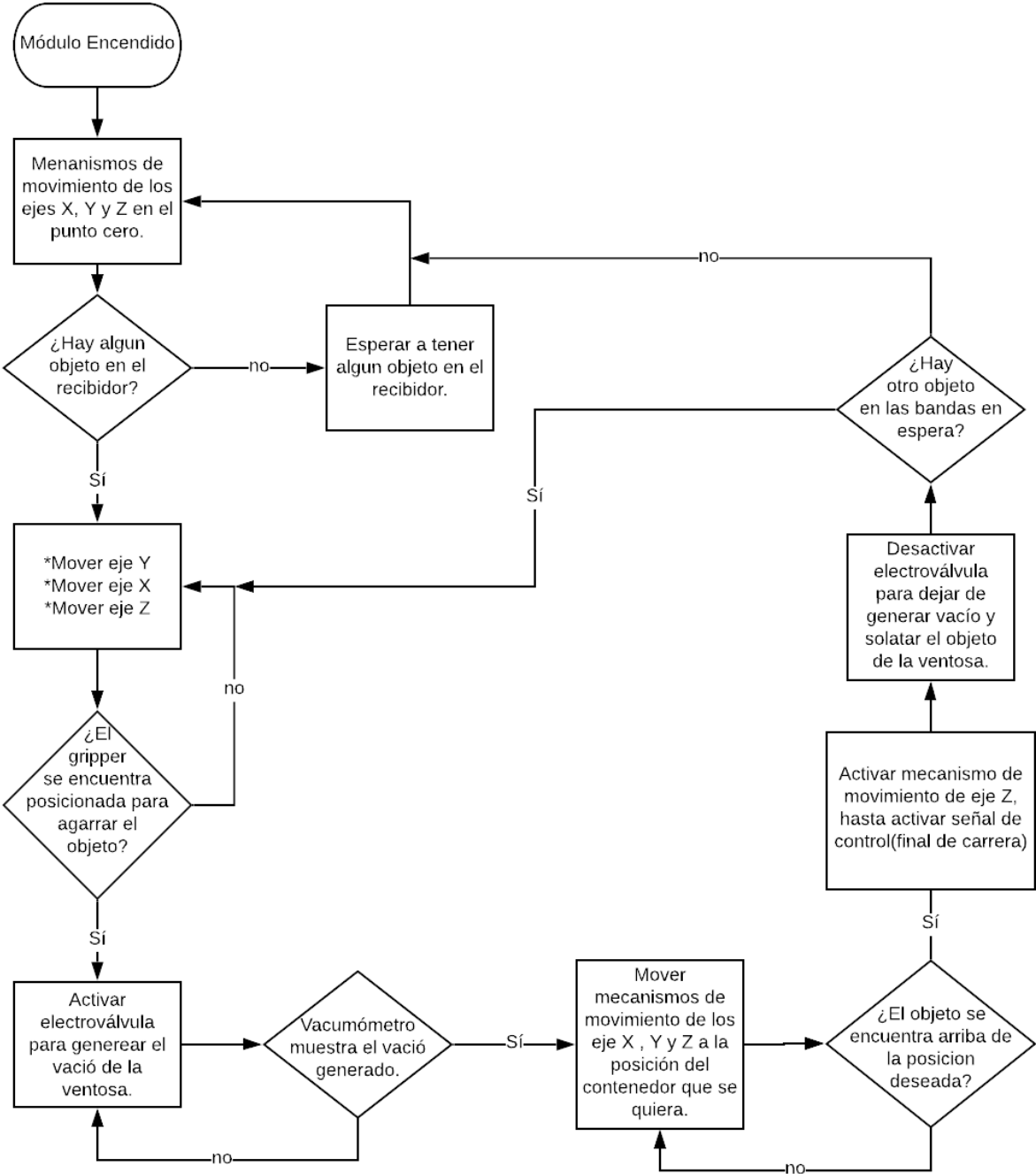


Figura 4: Diagrama de flujo del funcionamiento general del módulo con garra mecánica.

# FUNCIONAMIENTO DE MECANISMOS DE MOVIMIENTO DE LOS EJES X, Y Y Z:

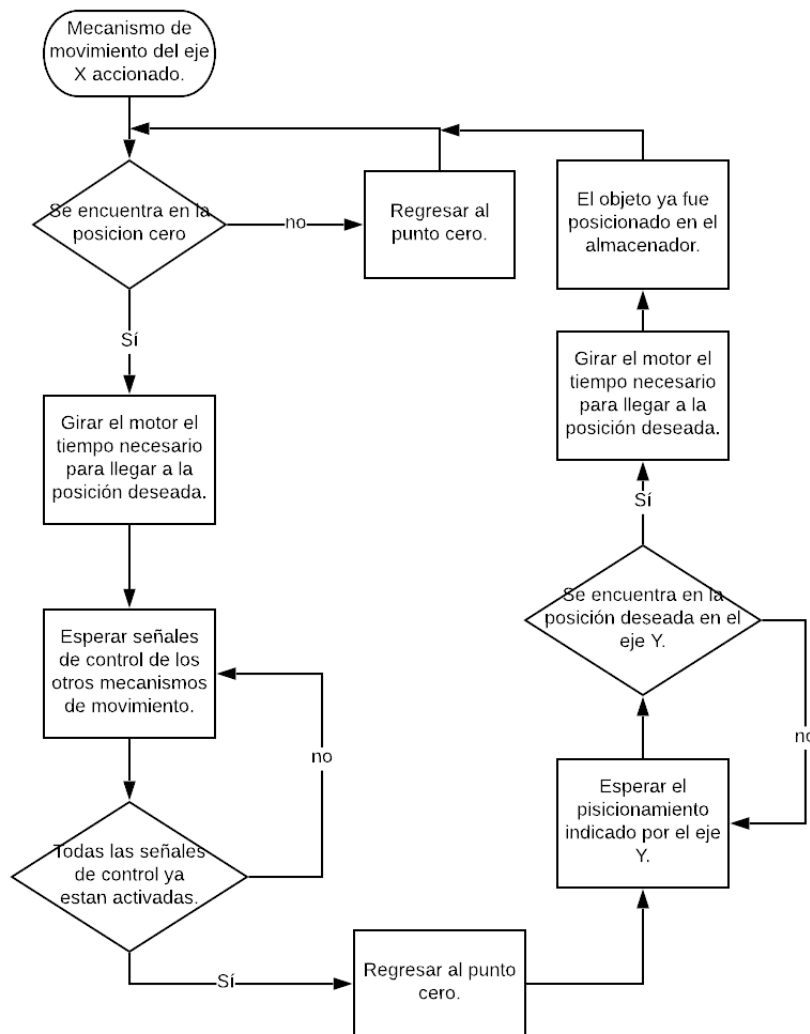
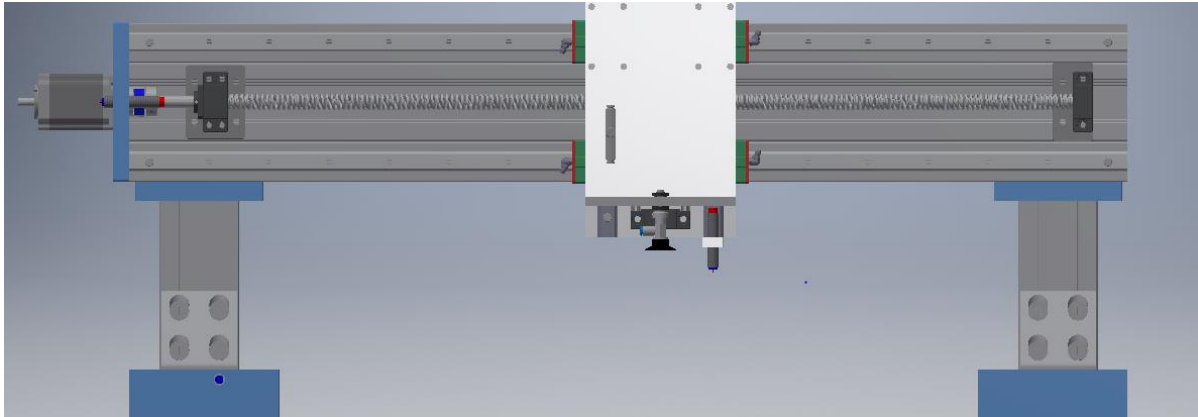
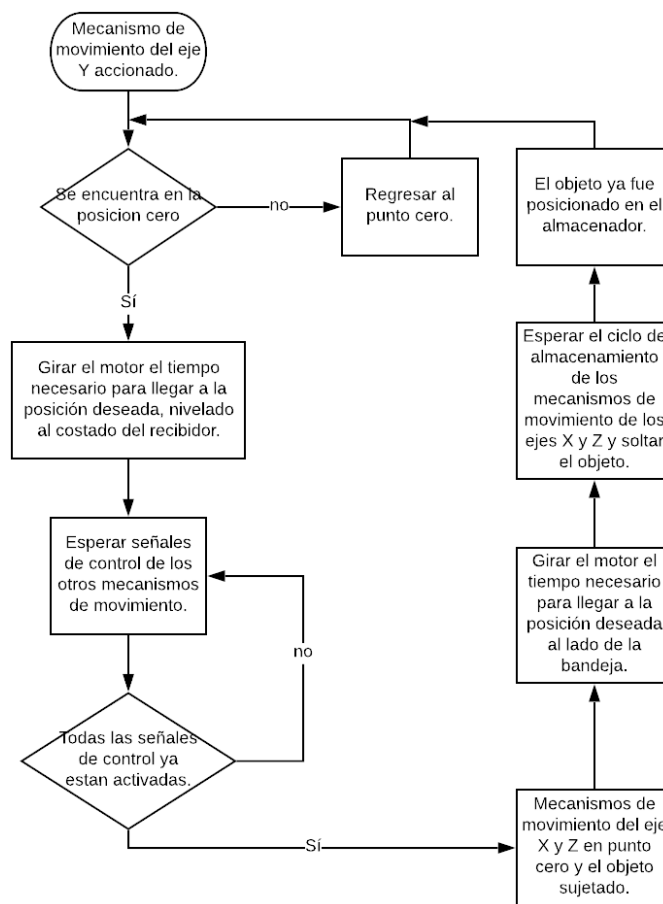


Figura 5: Diagrama de flujo del funcionamiento mecanismo de movimiento del eje X.



**Figura 6: Mecanismo de movimiento del eje X.**



**Figura 7: Diagrama de flujo del funcionamiento mecanismo de movimiento del eje Y.**

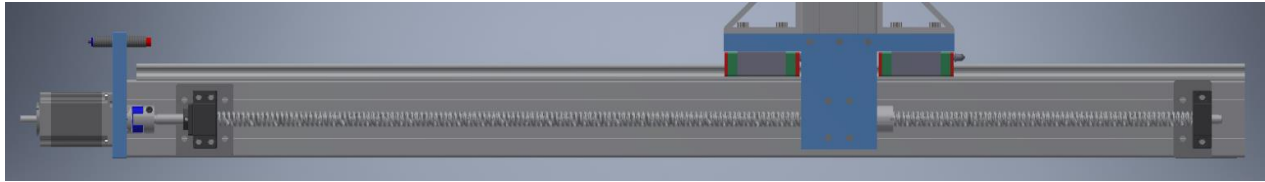


Figura 8: Mecanismo de movimiento del eje Y.

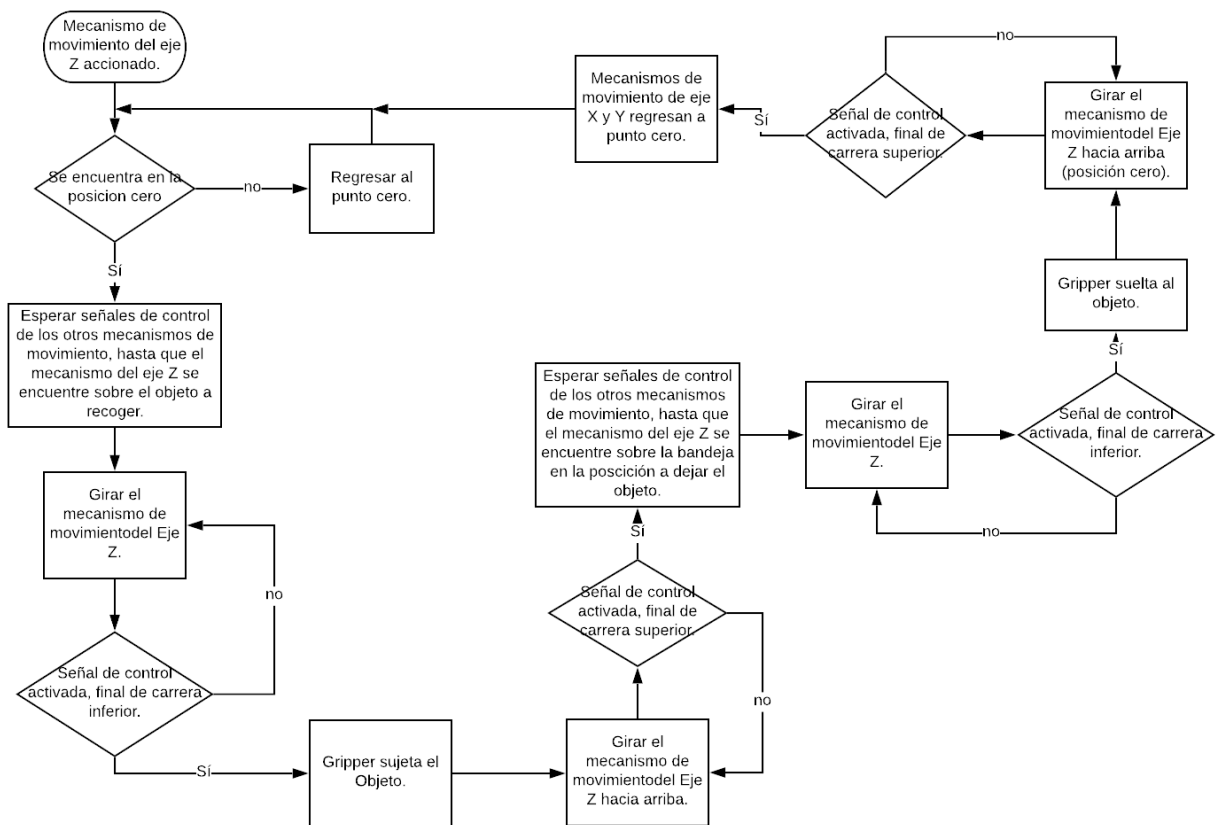
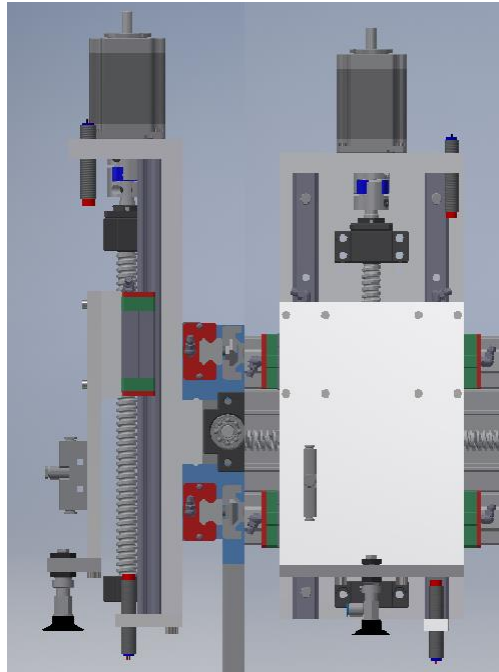


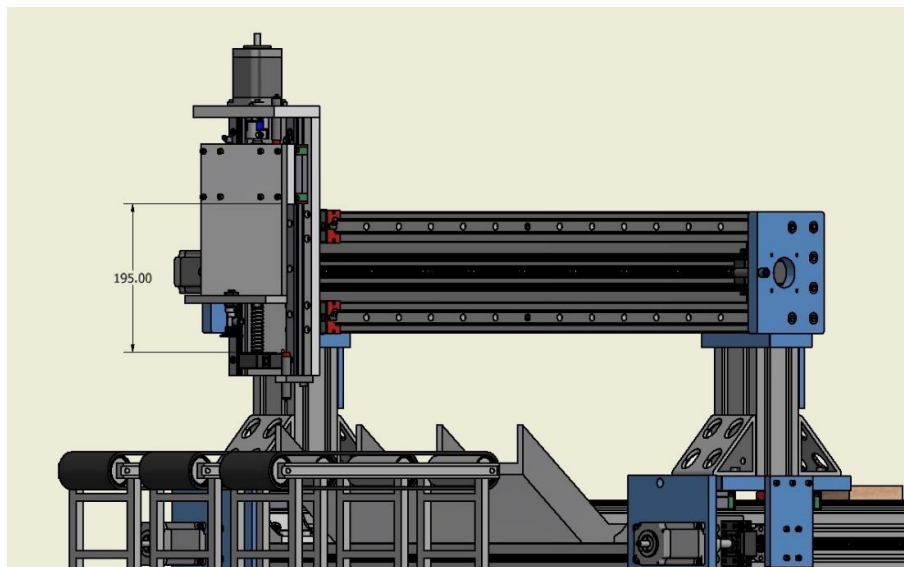
Figura 9: Diagrama de flujo del funcionamiento mecanismo de movimiento del eje Z.



**Figura 10: Mecanismo de movimiento del eje Z.**

### DISTANCIAS A RECORRER POR LOS MECANISMOS DE MOVIMIENTO:

En la Figura 12 se muestran las distancias que tienen que recorrer los mecanismos de movimiento de los ejes X y Y, y en la Figura 11 se muestra la distancia que tendrá que recorrer el mecanismo de movimiento del eje Z.



**Figura 11: Distancia en milímetros única a recorrer del eje Z.**

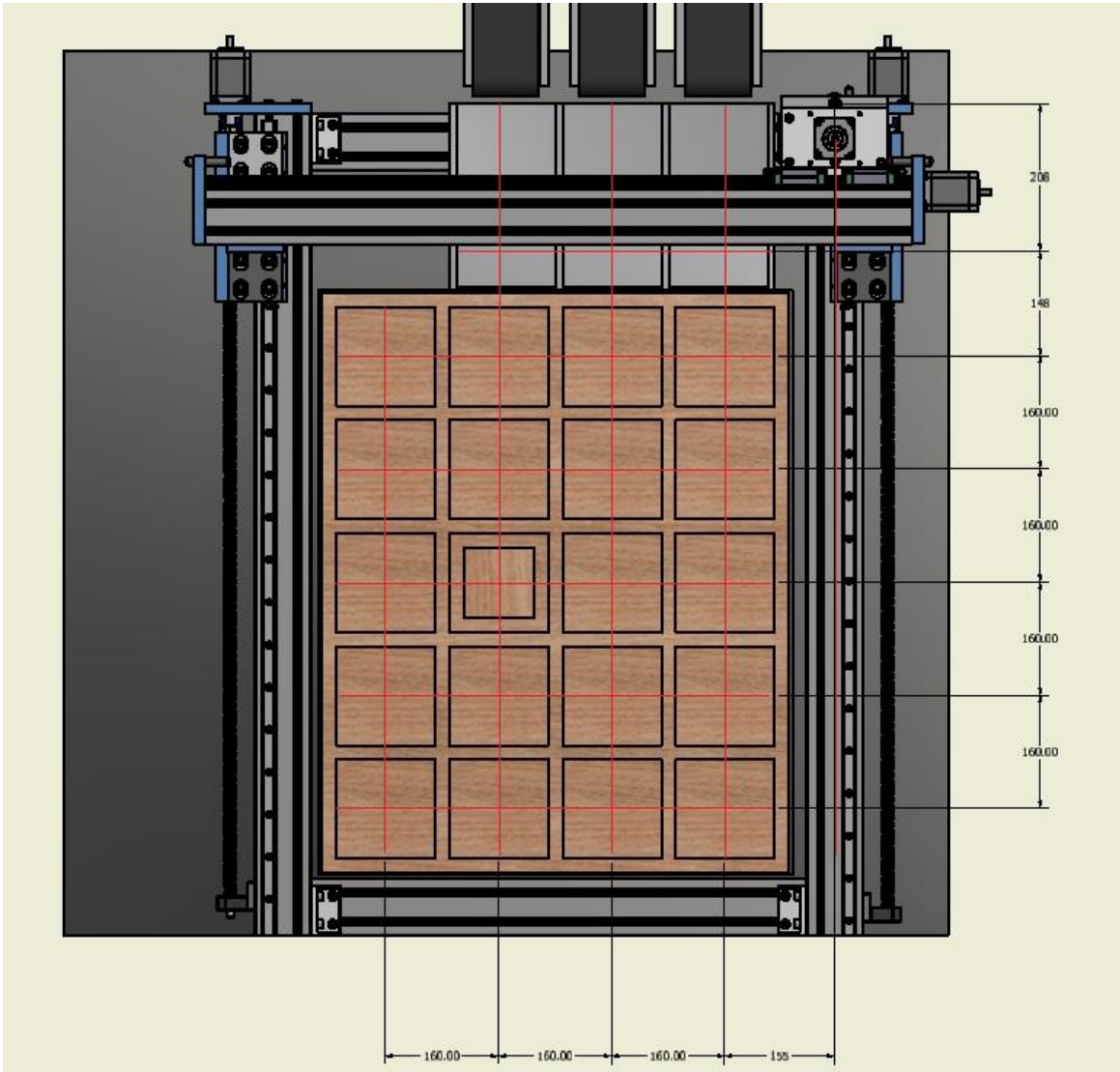


Figura 12: Distancias a recorrer en milímetros de los mecanismos de movimiento de los ejes X y Z.

## CONEXIONES DEL SISTEMA COMPLETO PARA MECANISMOS DE MOVIMIENTO

Para lograr la integración de todos los componentes descritos anteriormente en esta sección, se muestran los siguientes diagramas para la conexión, desde el CPU hasta el movimiento de los mecanismos, y en la lista se describen los componentes del diagrama.

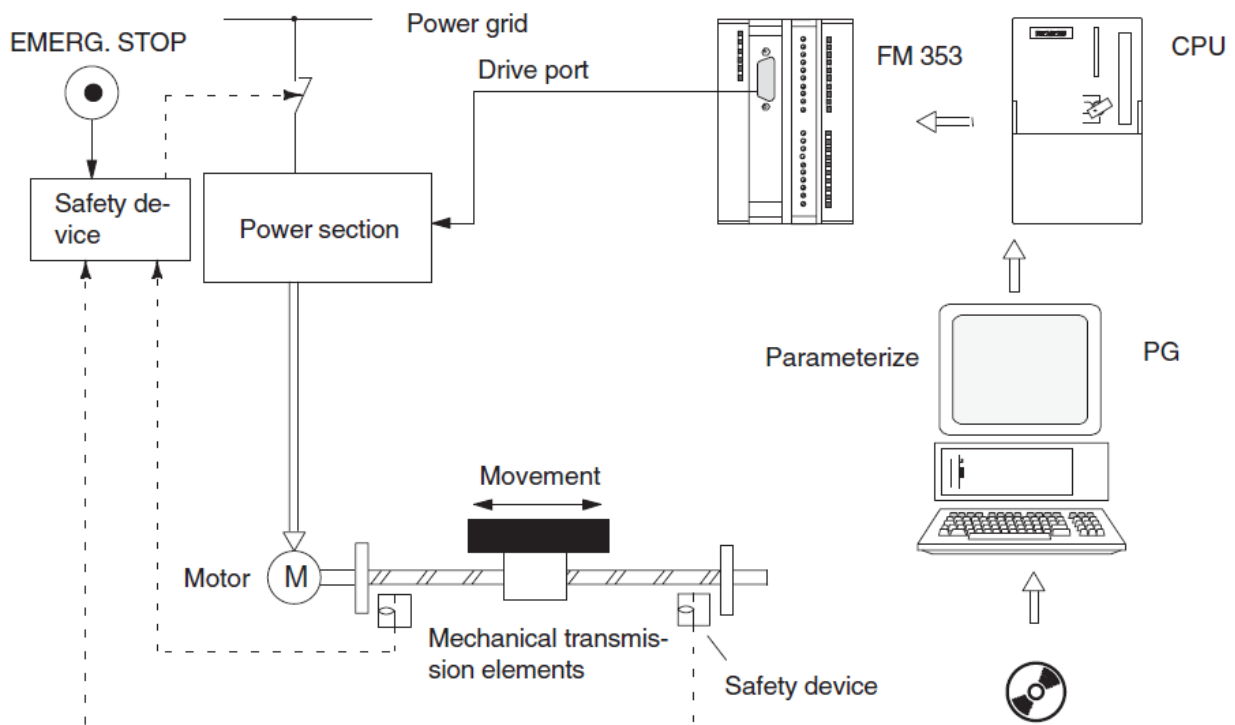


Figura 13: Diagrama de conexión de los componentes electrónicos.

Donde:

- EMERG. STOP: paro de emergencia.
- Computadora donde se realizará la programación en S7.
- CPU: será el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP.
- FM353: conector al driver.
- Power section: el driver a utilizar es el M542.
- Motor: motor paso a paso NEMA 23.
- Movement: mecanismos de movimiento.
- Mechanical transmission elements: elementos de tornillo de bola SFU1605.
- Safety device: finales de carrera.

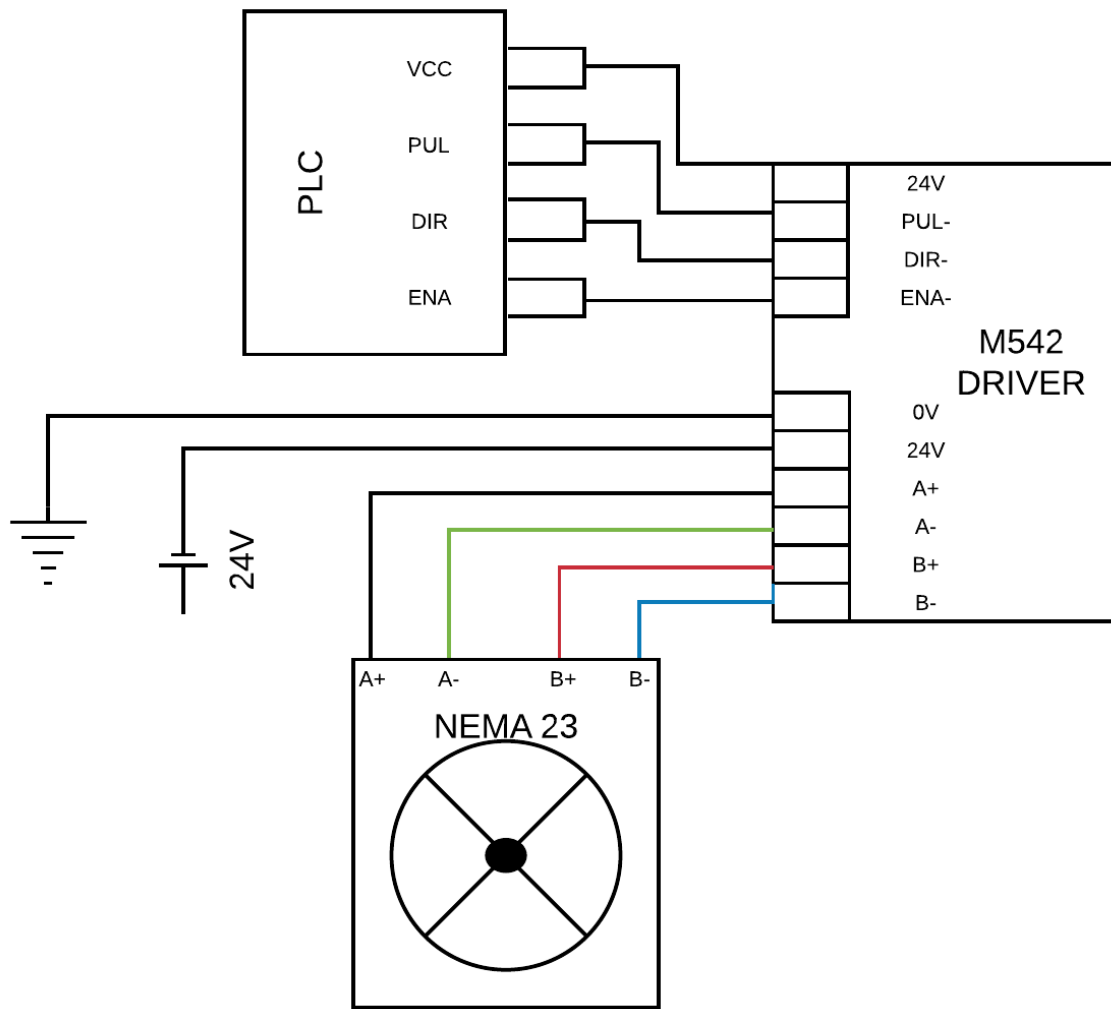


Figura 14: Conexión del motor paso a paso NEMA 23 con Driver M542 y PLC.

## FUNCIONAMIENTO DE GARRA MECÁNICA Y PARA GARRA DE VACÍO:

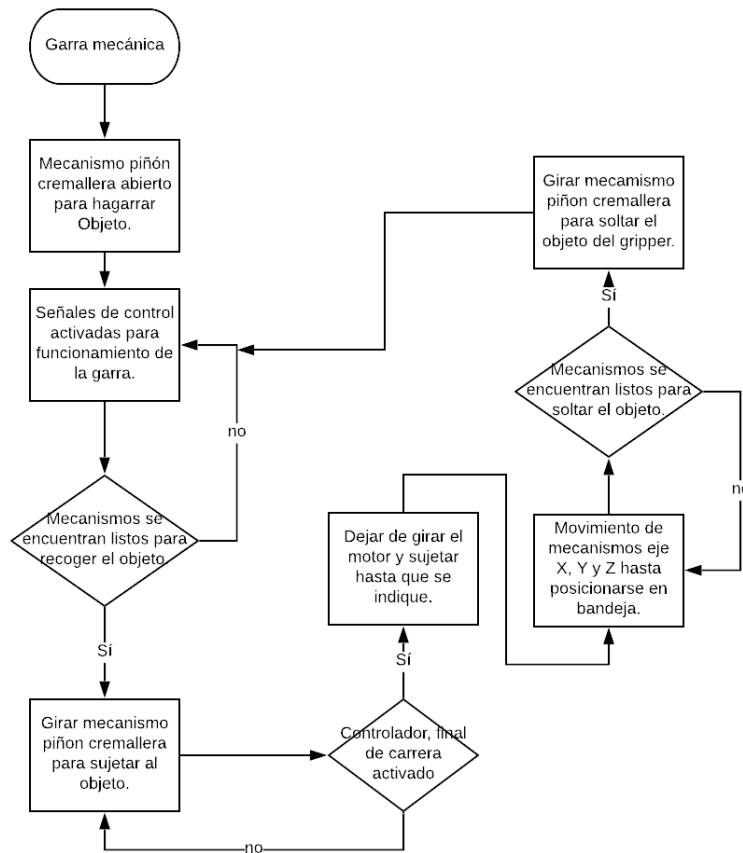


Figura 15: Diagrama de flujo del funcionamiento garra mecanismo piñón cremallera motor DC.

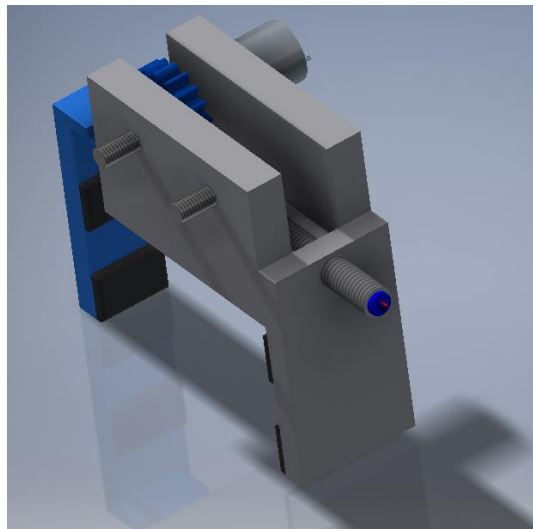


Figura 16: Garra o gripper mecánico.

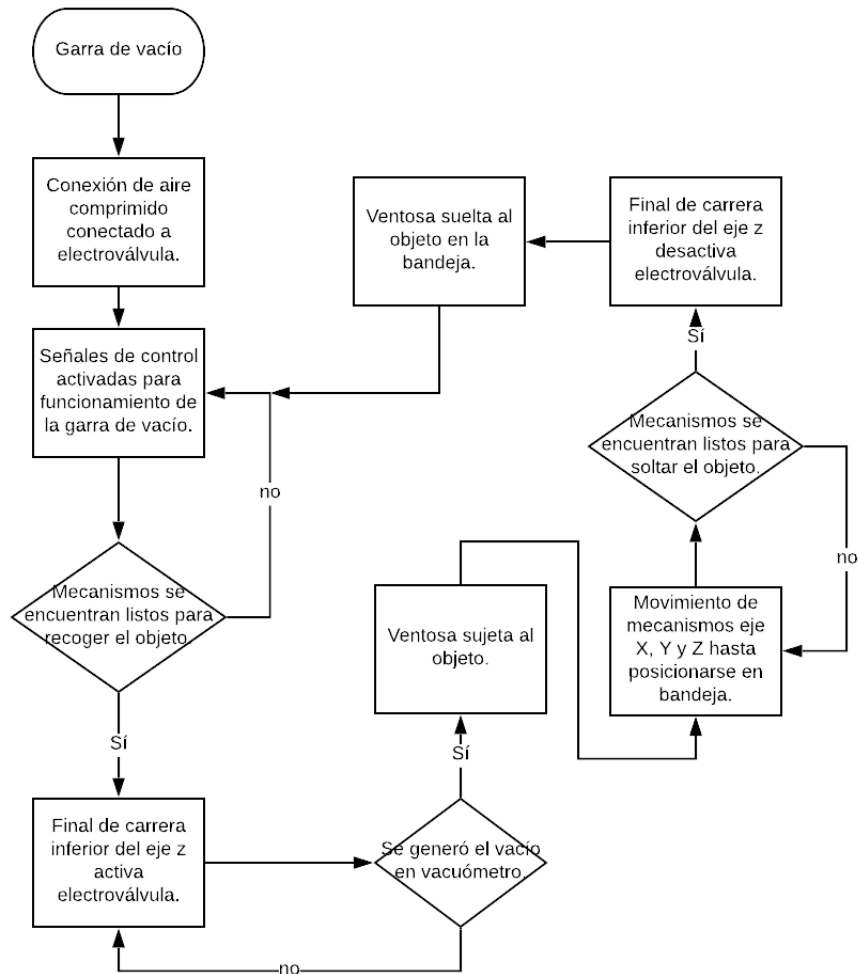


Figura 17: Diagrama de flujo del funcionamiento de la garra de vacío.



Figura 18: Ventosa a utilizar, con su forma redondo plano.

## CONEXIÓN COMPLETA DEL SISTEMA NEUMÁTICO PARA GRIPPER DE VACÍO

El ensamble final de todos los componentes del sistema neumático se muestra a continuación en la Figura 19.

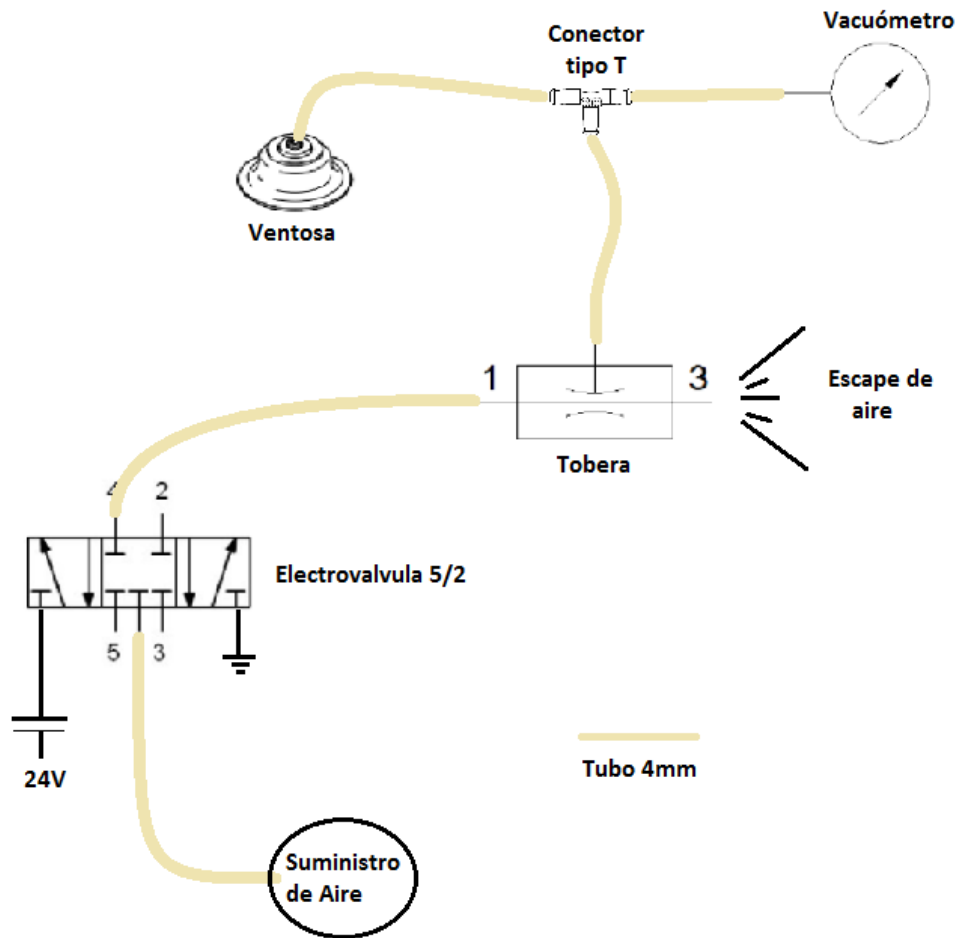


Figura 19: Diagrama de conexión del sistema neumático para gripper de vacío.

---

# Interacción con el usuario:

## BOTONES

Se poseen tres botones:

Símbolo	Tipo	Descripción
ON	Digital	Arranque del sistema.
STOP	Digital	Paro del sistema.
EMSTOP	Digital	Paro de emergencia.

Tabla 1: Descripción de botones utilizados.

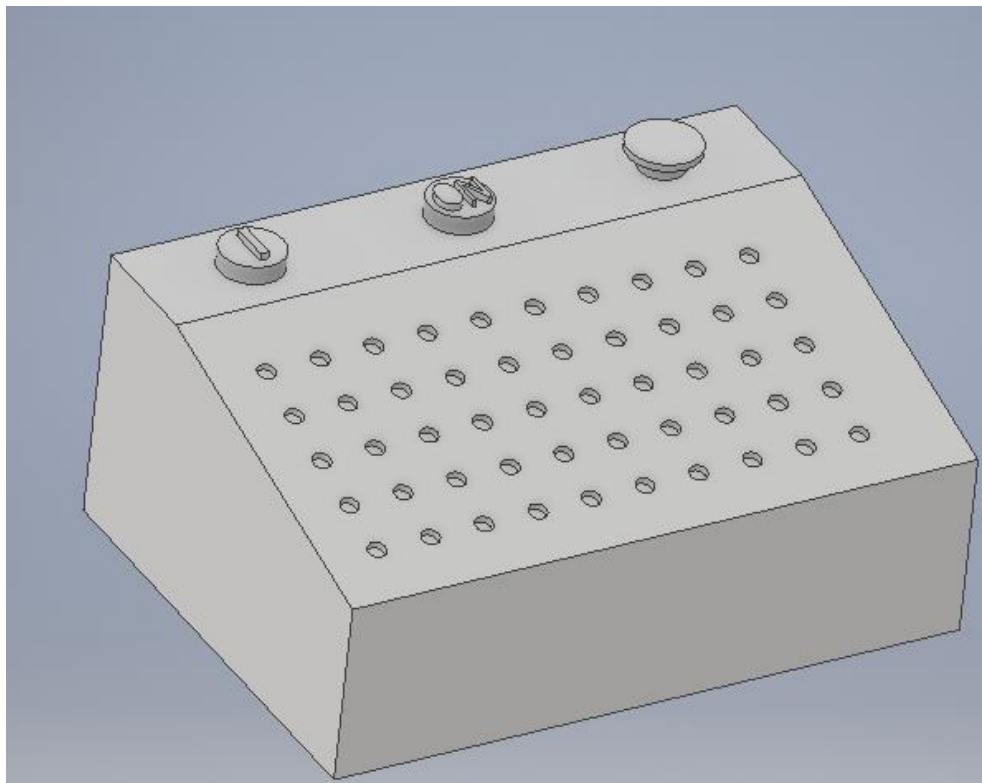


Figura 20: Diseño de conexiones y botones.





# MANUAL ELÉCTRICO & NEUMÁTICO

---

Diseño de módulo almacenador  
para una línea de producción con  
fines didácticos

---

Edgar René Ramírez González  
Ingeniería Electrónica  
2020

**UVG** | UNIVERSIDAD  
DEL VALLE  
DE GUATEMALA

---

# Sistema Eléctrico

## Listado de señales

A continuación se muestran las entradas y salidas del sistema. Se especifica el símbolo que tendría cada una de estas, el tipo de señal, ya sea digital o analógica, y se da una pequeña descripción para cada una de las señales.

Entradas		
Símbolo	Tipo	Descripción
ON	DIGITAL	Arranque del sistema.
STOP	DIGITAL	Paro del sistema.
ESTOP	DIGITAL	Paro de emergencia del sistema
FCX	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje X.
FCY	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Y.
FCZ1	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Z superior.
FCZ2	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento eje Z inferior.
FCGrip	DIGITAL	Final de carrera mecanismo de movimiento de Gripper.

**Tabla 1: Entradas con su símbolo y descripción del sistema.**

Salidas		
Símbolo	Tipo	Descripción
MDCGRIP1-2	DIGITAL	Motor DC 24V para gripper mecánico.
STEPMX	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje X.
STEPMY	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje Y.
STEPMZ	DIGITAL	Pulsos para driver de motor stepper eje Z.
EVAL	DIGITAL	Electroválvula.

**Tabla 2: Salidas con su símbolo y descripción del sistema.**

---

# Instrumentos

## PLC

El CPU que se posee el PLC en la universidad es el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP, con el cual se controlara el sistema, manipulando las señales de entradas y salidas, con la adecuada programación, se logrará el correcto funcionamiento del módulo.



**Figura 1: PLC que se utilizará.**

## MÓDULO ENTRADAS DIGITALES

El módulo de entradas digitales a utilizar es el SM321 de 16 entradas de DC 24V, el modelo específico es 6ES7321-1BH02-0AA0. En el Cuadro 3 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 2 el diagrama de cableado y de bloques.

Especificaciones técnicas	
Dimensiones mm	40x125x117
Peso	200 g
Número de entradas	16
Estado de interrupto	LED Verde por canal
Voltaje	24V DC
Señal "1"	de 13V a 30V
Señal "0"	de -30V a 5V

Tabla 3: Especificaciones técnicas del módulo de entradas digitales SM321 de 16 entradas de DC 24V.

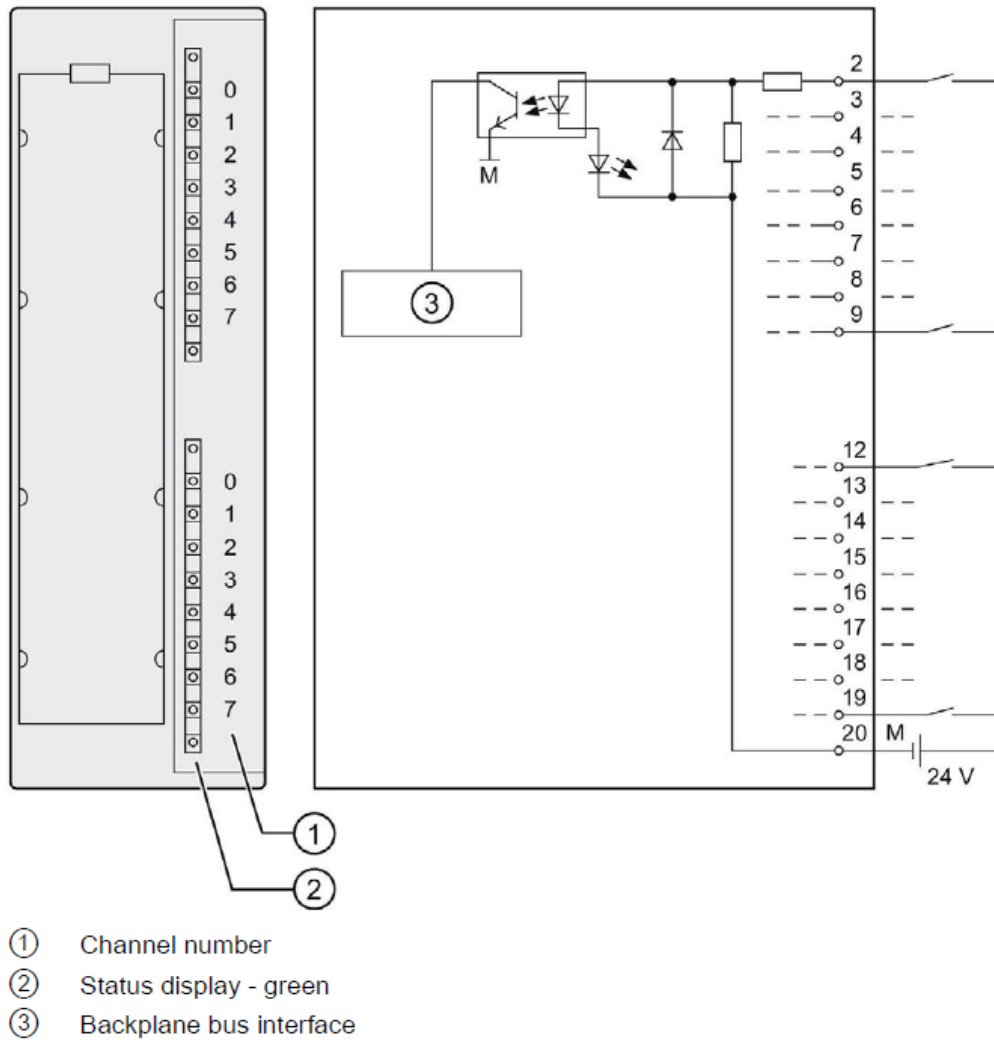


Figura 2: Diagrama de cableado y de bloques de módulo de entradas digitales.

## MÓDULO SALIDAS DIGITALES

El módulo de salidas digitales a utilizar es el SM322 de 32 entradas de DC 24V, el modelo específico es 6ES732-1BL00-0AA0. En la Tabla 4 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 3 el diagrama de cableado y de bloques.

Especificaciones técnicas	
Dimensiones mm	40x125x117
Peso	260
Número de salidas	32
Estado de interrupto	Led Verde por canal
Voltaje	24V DC
Corriente	4A

Tabla 4: Especificaciones técnicas del módulo de salidas digitales SM322 de 32 salidas de DC 24V.

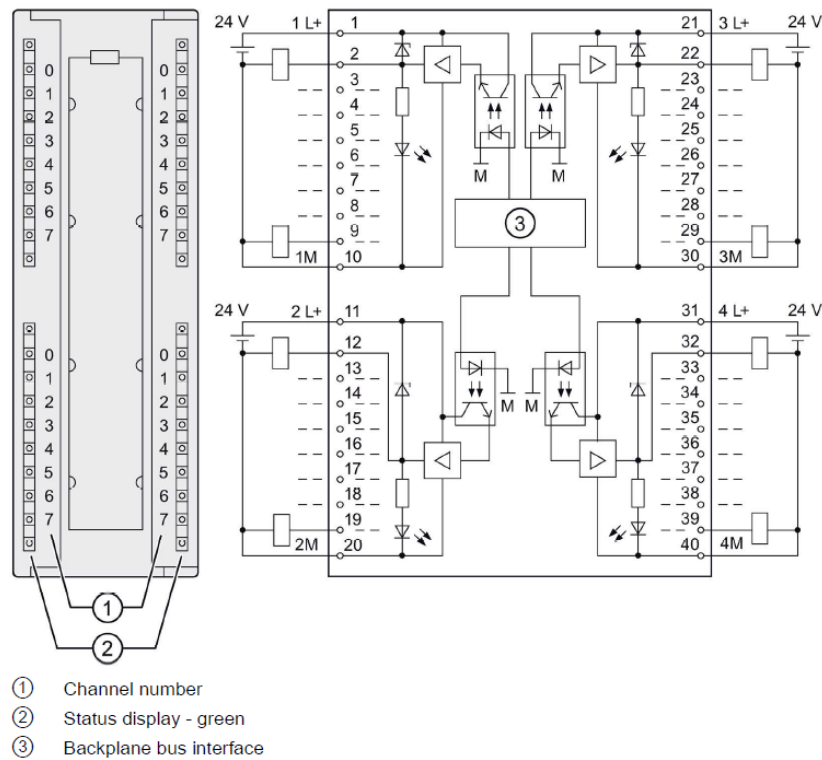


Figura 3: Diagrama de cableado y de bloques de módulo de salidas digitales.

## MÓDULO FM353

El módulo de control de posición de motor paso a paso a utilizar es el FM 353. En la Cuadro 5 se muestran las especificaciones del módulo y en la Figura 4 el diagrama de cableado y de bloques de módulo FM353.

Especificaciones técnicas	
Dimensiones mm	80x125x118
Peso	95 g
Voltaje	20.4-28.8V
Consumo de potencia	0.3A
Señal de salida	5V
Pulso de frecuencia máximo	200kHz

Tabla 5: Especificaciones técnicas del módulo FM353.

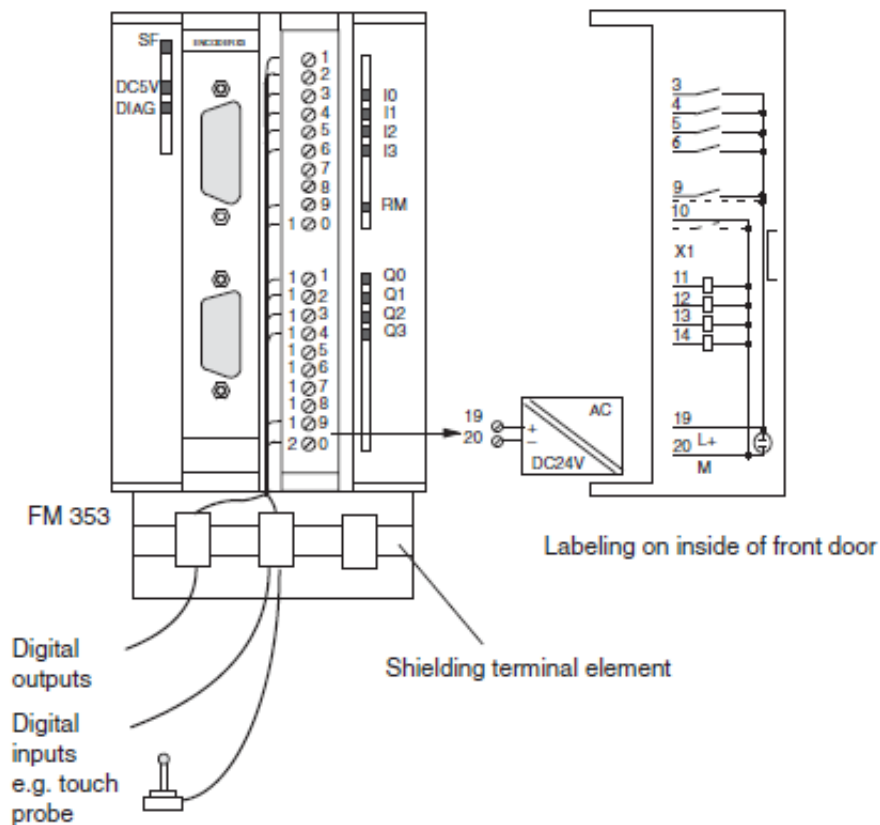


Figura 4: Diagrama de cableado y de bloques de módulo FM353.

## MOTOR PASO A PASO – NEMA 23

En el Tabla 6, se muestran las especificaciones técnicas del motor paso a paso NEMA 23, el cual es el encargado de mover los mecanismos de movimiento de los ejes X, Y y Z; y en la Figura 5, se muestra el diagrama de conexiones del motor.

Especificaciones técnicas	
Tipo	Nema 23
Angulo de paso	1.8 grados
Pasos por vuelta	200
Voltaje	3V DC
Corriente	3A
No. Fases	2
No. Conductores	4
Diámetro de eje	8mm
Peso	1kg

Tabla 6: Especificaciones técnicas de motor paso a paso NEMA 23.

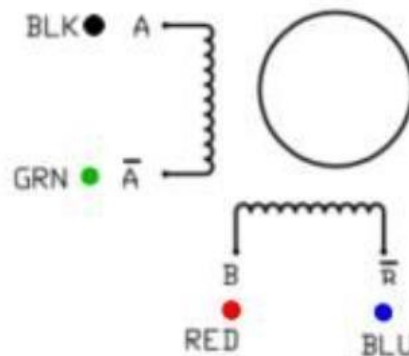


Figura 5: Diagrama de conexiones para el motor NEMA 23.

## DRIVER DE MOTOR PASO A PASO M542

El M542 es un controlador de micro pasos, el cual será el encargado de controlar el motor NEMA 23 a utilizar, en la Tabla 7 se muestran las especificaciones técnicas del driver.

Especificaciones técnicas	
Corriente de salida	1-4.2A
Voltaje	20-50V DC
Señal lógica de corriente	7-16mA

Pulso de frecuencia	0-300kHz
Peso	280 g
Dimensiones mm	75.5x33x112

Tabla 7: Especificaciones técnicas de driver M542.

Para la resolución del driver se seleccionó una resolución de 400, por lo que el DIP de la Figura 6 se colocará como 0-1-1-1 del Switch 5 al 8 respectivamente. Y para la corriente que serían del Sitch 1 al 3, se colocará 0-1-0. Un sistema de pasos completo debe incluir un motor de pasos, un controlador de pasos, una fuente de alimentación y controlador (generador de pulsos). Una conexión típica se muestra en la Figura 7.

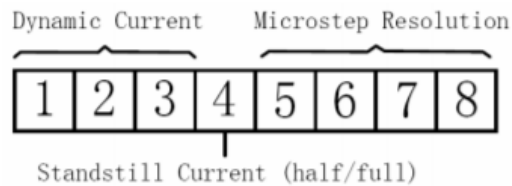


Figura 6: DIP switch para configurar resolución del driver M542

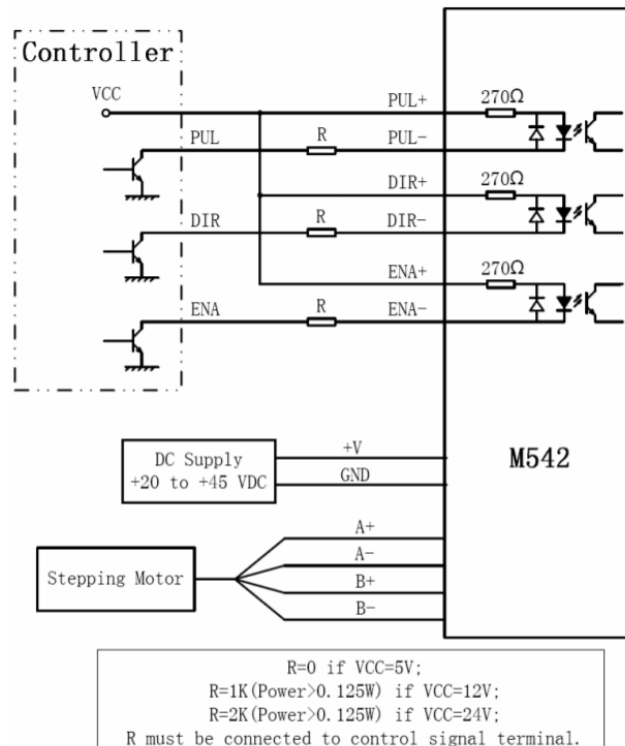


Figura 7: Conexión típica de driver M542.

## CONEXIONES DEL SISTEMA COMPLETO PARA MECANISMOS DE MOVIMIENTO

Para lograr la integración de todos los componentes descritos anteriormente en esta sección, se muestran los siguientes diagramas para la conexión, desde el CPU hasta el movimiento de los mecanismos, y en la lista se describen los componentes del diagrama.

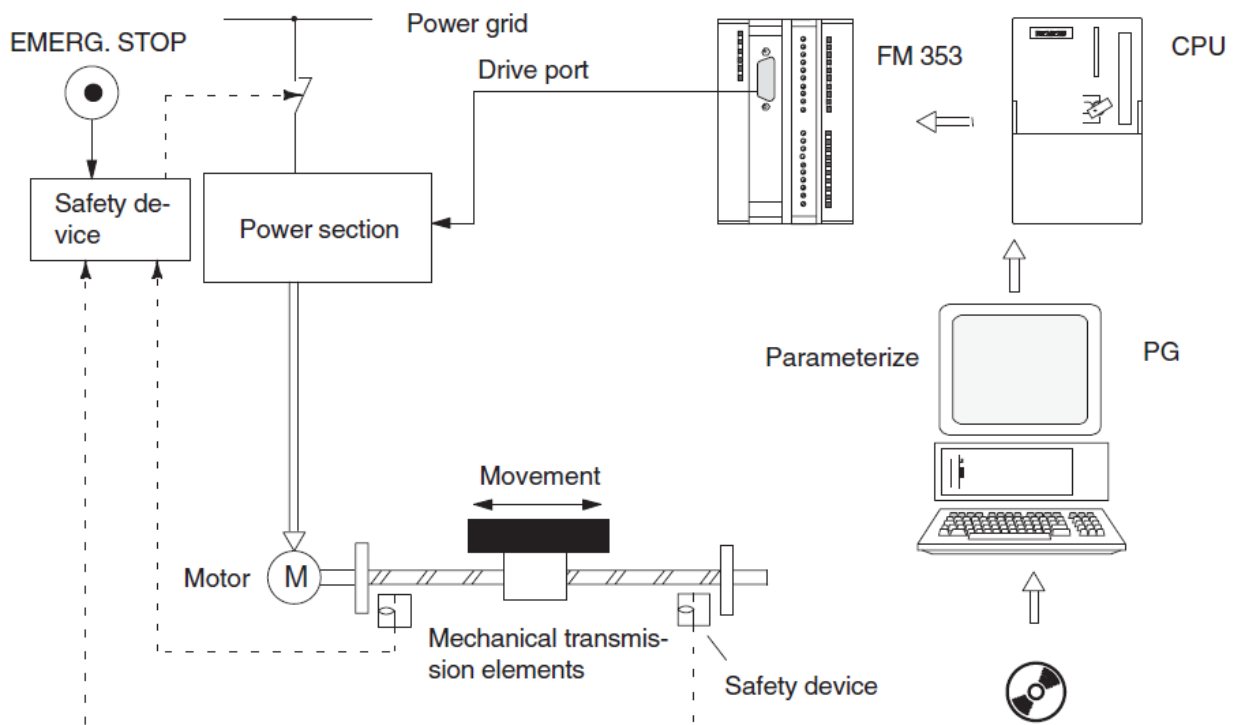


Figura 8: Diagrama de conexión de los componentes electrónicos.

Donde:

- EMERG. STOP: paro de emergencia.
- Computadora donde se realizará la programación en S7.
- CPU: será el SIMATIC S7-300 CPU 317-2 PN/DP.
- FM353: conector al driver.
- Power section: el driver a utilizar es el M542.
- Motor: motor paso a paso NEMA 23.
- Movement: mecanismos de movimiento.
- Mechanical transmission elements: elementos de tornillo de bola SFU1605.
- Safety device: finales de carrera.

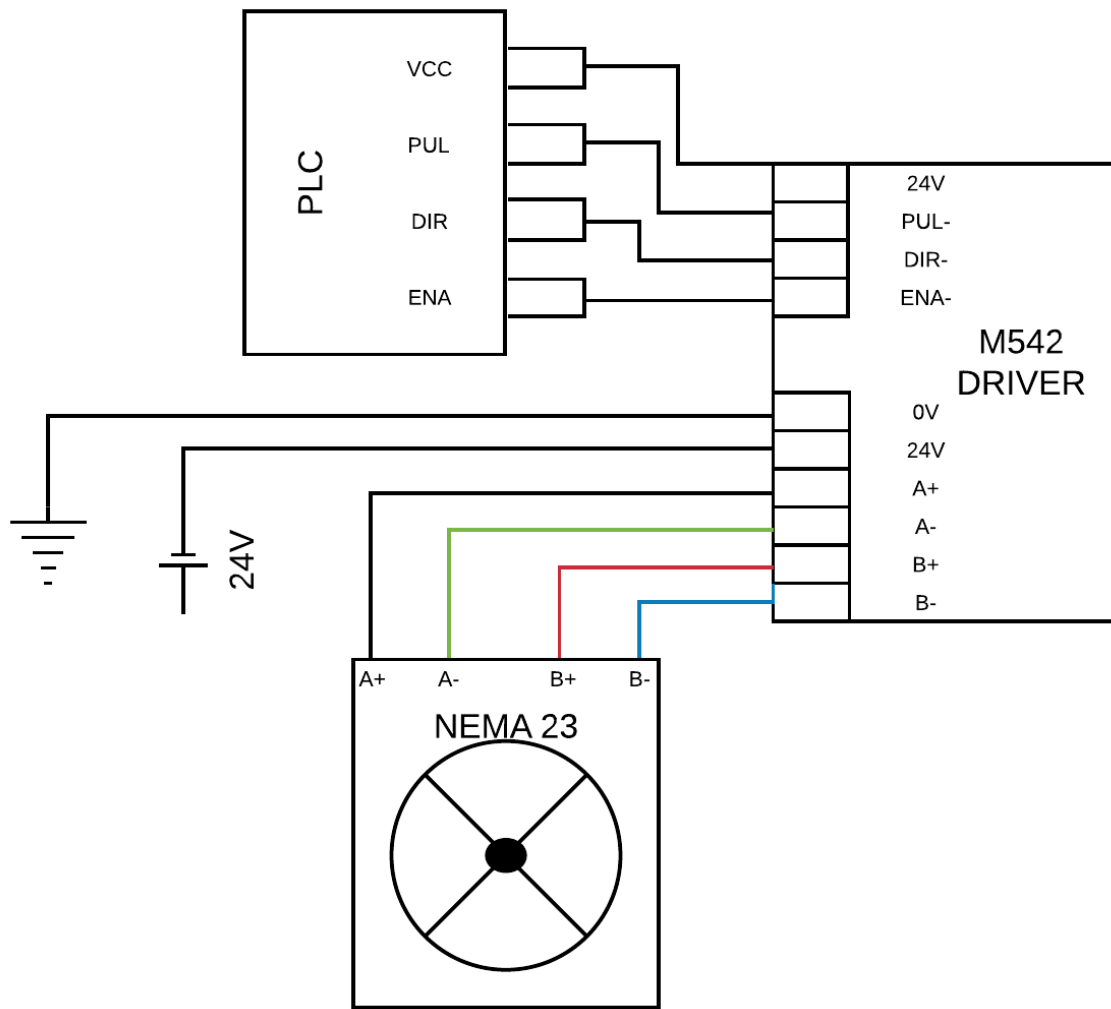


Figura 9: Conexión del motor paso a paso NEMA 23 con Driver M542 y PLC.

## MOTOR DC PARA GRIPPER MECÁNICO

Para mover el mecanismo piñón cremallera de la garra, se posee un motor DC de 24V, controlado por tiempos y un final de carrera, en la Tabla 8 se muestran las especificaciones técnicas del motor, y en la Figura 10 se muestra el circuito a utilizar para controlar la dirección del movimiento del eje del motor, dicho circuito se conoce como puente H.

Especificaciones técnicas	
Voltaje nominal	24V
Velocidad nominal	19 rpm
Corriente	800mA
Potencia de salida	7.6W

Tabla 8: Especificaciones técnicas de motor DC.

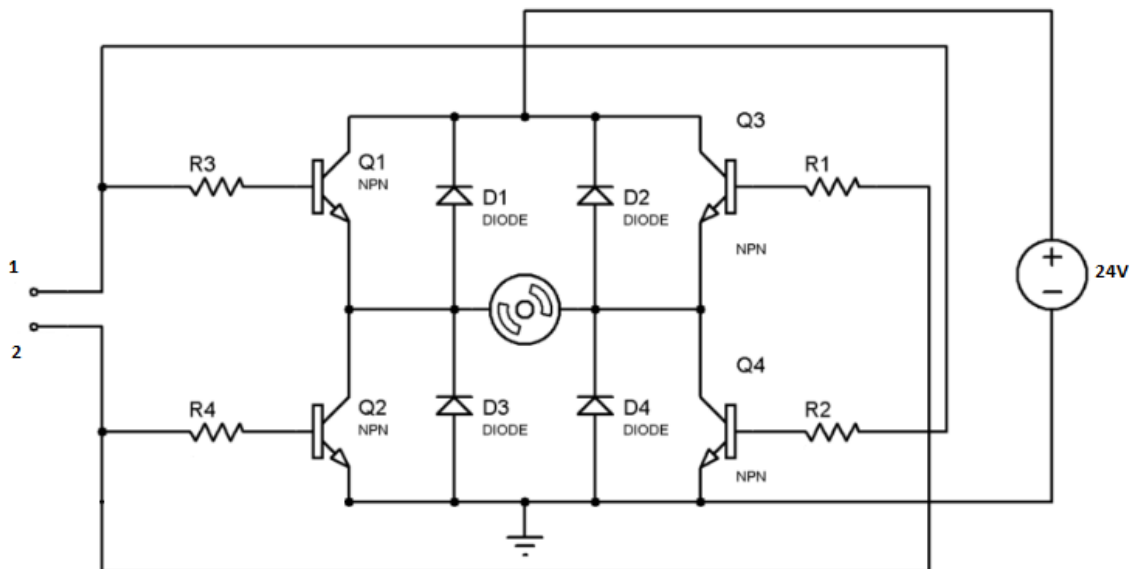


Figura 10: Diagrama de cableado y de bloques de módulo FM353.

# Sistema neumático

## ELECTROVÁLVULA 5-2

La electroválvula a utilizar será la de 5/2 vías con LED, en la tabla 9 se muestran sus especificaciones técnicas, y en la Figura 11 la imagen física con su diagrama.

Especificaciones técnicas	
Tiempo de conmutación	on/off 7/19 ms
Presión de funcionamiento	250 – 800 kPa (2,5 – 8 bar)
Conexión	eléctrica mediante casquillos de seguridad integrados de 4 mm
Alimentación de tensión	24 V DC
Tipo	5-feb
Indicador de enclavamiento	LED

Tabla 9: Especificaciones técnicas de electroválvula 5/2.

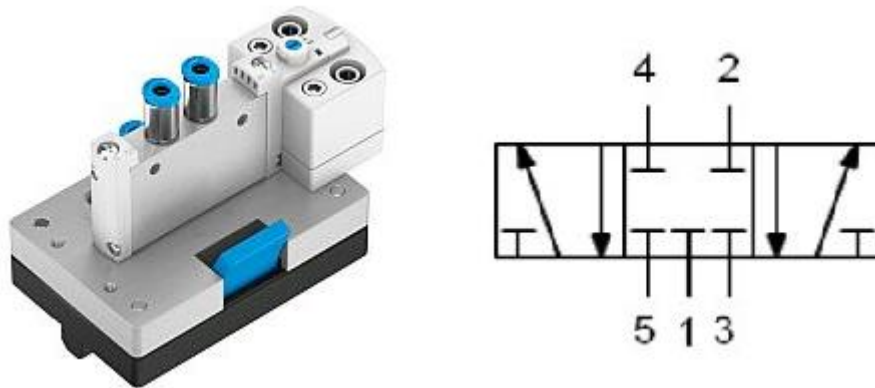


Figura 11: Electroválvula 5/2 a utilizar, con su diagrama.

## TOBERA DE VACÍO

La tobera de vacío venturi o generador de vacío a utilizar será el modelo VN-05-H-T2-PQ1-VQ1-RQ1 de la marca festo, sus especificaciones técnicas se muestran en la Cuadro 10 y en la Figura 12 la imagen física con su diagrama.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Diámetro nominal de la tobera Laval	0.45 mm
Patrón	10 mm
Posición de montaje	Indistinto
Característica del eyector	Alto vacío estandar
Construcción	Forma en T
Presión de funcionamiento para caudal de aspiración máximo	2.1 bar
Presión de funcionamiento	1 ... 8 bar
Presión de funcionamiento para vacío máximo	4.5 bar
Vacío máximo	88%
Caudal de aspiración máx. contra atmósfera	6.2 l/min
Fluido	Aire comprimido
Conexión neumática 1	4mm
Conexión neumática 3	4mm
Conexión de vacío	4mm
Indicación sobre el material	Exento de cobre

Tabla 10: Especificaciones técnicas de tobera de vacío Festo VN-05-H-T2-PQ1-VQ1-RQ1.

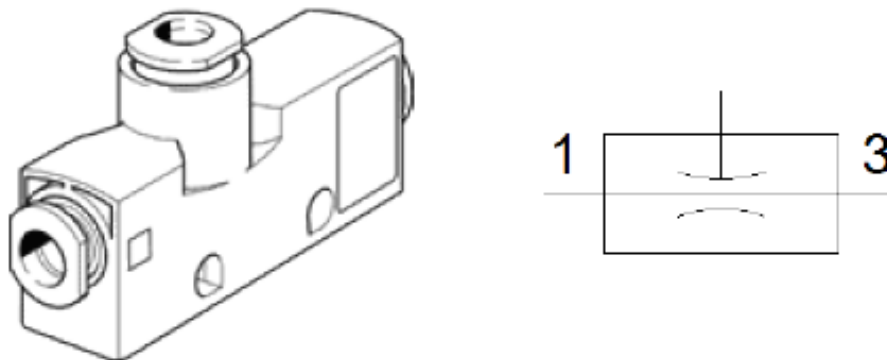


Figura 12: Tobera a utilizar, con su diagrama.

## VENTOSA

La ventosa que se utilizará es el modelo ESG-30-SN-HD-QS de la marca Festo, a continuación sus especificaciones técnicas. Sus especificaciones técnicas se muestran en la Cuadro 11 y en la Figura 13 la imagen física con su diagrama.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Diámetro de la ventosa	30 mm
Siglas del tipo	ESG
Posición de montaje	Vertical
Forma de la ventosa	Redondo plano
Medio de funcionamiento	Aire atmosférico
Temperatura ambiente	-10 ... 70 °C
Conexión de vacío	4
Fuerza de retención	40.8N
Peso	9 g

Tabla 11: Especificaciones técnicas de ventosa ESG-30-SN-HD-QS.



Figura 13: Ventosa a utilizar, con su forma redondo plano.

## VACUÓMETRO

El vacuómetro a utilizar es el modelo VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG de la marca festo, este nos servirá para saber el estado de nuestro vacío generado, y así poder monitorear el correcto funcionamiento del gripper. Sus especificaciones técnicas se muestran en la Cuadro 12 y en la Figura 14 la imagen física con su diagrama.

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Magnitud nominal manómetro	40
Posición de la conexión	Dorso céntrico
Posición de montaje	indistinto
Margen de la escala [bar]	-1 ... 0 bar
Escala	Escala sencilla
Presión de funcionamiento	-1 ... 0 bar
Peso	65 g

Tabla 12: Especificaciones técnicas de vacuómetro VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG.

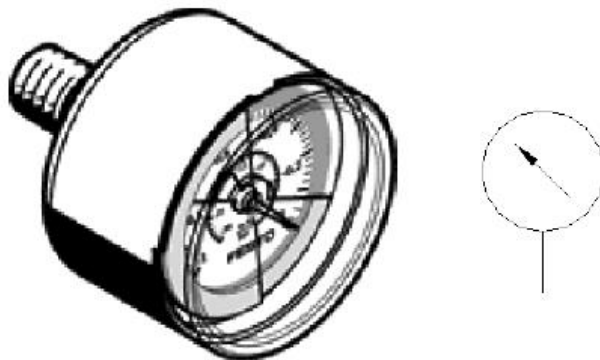


Figura 14: Especificaciones técnicas de vacuómetro VAM-40-V1/0-R1/8-E-RG.

# CONEXIÓN COMPLETA DEL SISTEMA NEUMÁTICO PARA GRIPPER DE VACÍO

El ensamble final de todos los componentes del sistema neumático se muestra a continuación en la Figura 15.

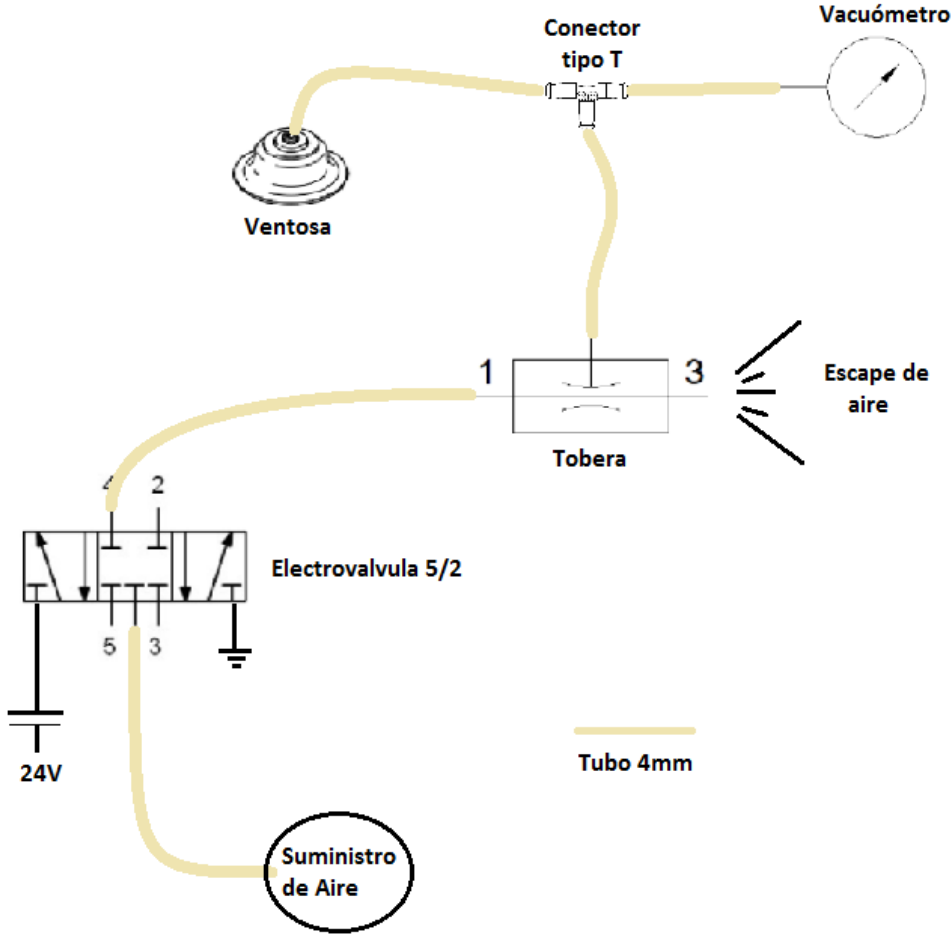


Figura 15: Diagrama de conexión del sistema neumático para gripper de vacío.

Manual de ensamble



# MANUAL DE ENSAMBLAJE

---

**Diseño de módulo almacenador  
para una línea de producción con  
fines didácticos**

---

**Edgar René Ramírez González**  
**Ingeniería Electrónica**  
**2020**

**UVG** | UNIVERSIDAD  
DEL VALLE  
DE GUATEMALA

## Visión general del módulo:

El módulo almacenador consiste en recibir diferentes objetos previamente clasificados en el módulo anterior, se recibirán los objetos de tres bandas transportadoras, cada uno de ellos tendrá tres diferentes pesos pero el mismo tamaño; y la ira almacenando en un contenedor por medio de una garra. Para el movimiento de la garra encargada de mover las piezas, se utilizará un mecanismo que se mueva en los 3 ejes X, Y y Z con la ayuda de motores y un diseño mecánico se logró posicionar de manera adecuada las piezas. Por lo que este será el módulo final de la línea de producción. Ya teniendo el contenedor lleno, se podrá retirar para poder regresar las piezas al principio de la línea. El módulo está compuesto por diferentes perfiles de aluminio, piezas mecánicas, motores, entre otros.



Figura 1: Módulo almacenador

# MECANISMO DE MOVIMIENTO DE EJE X

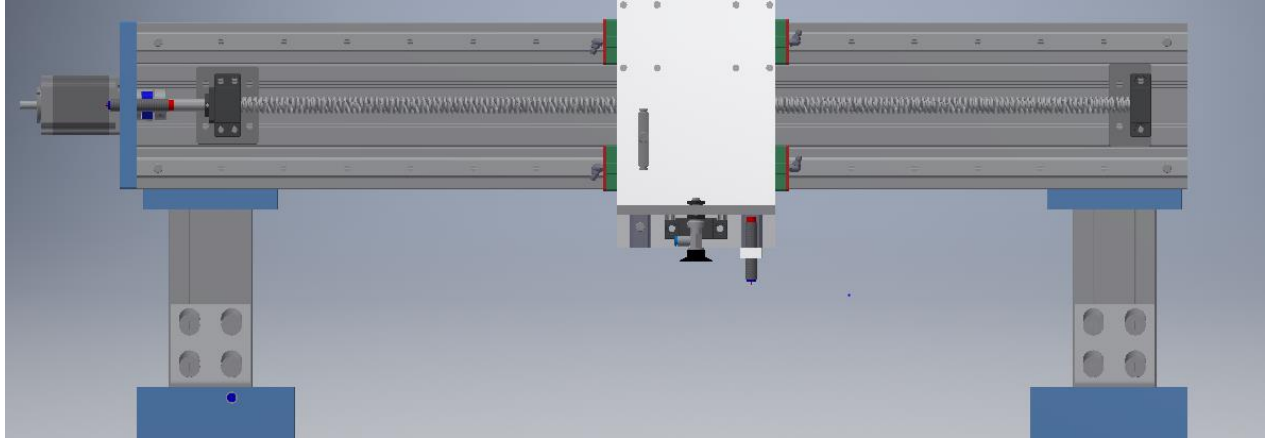
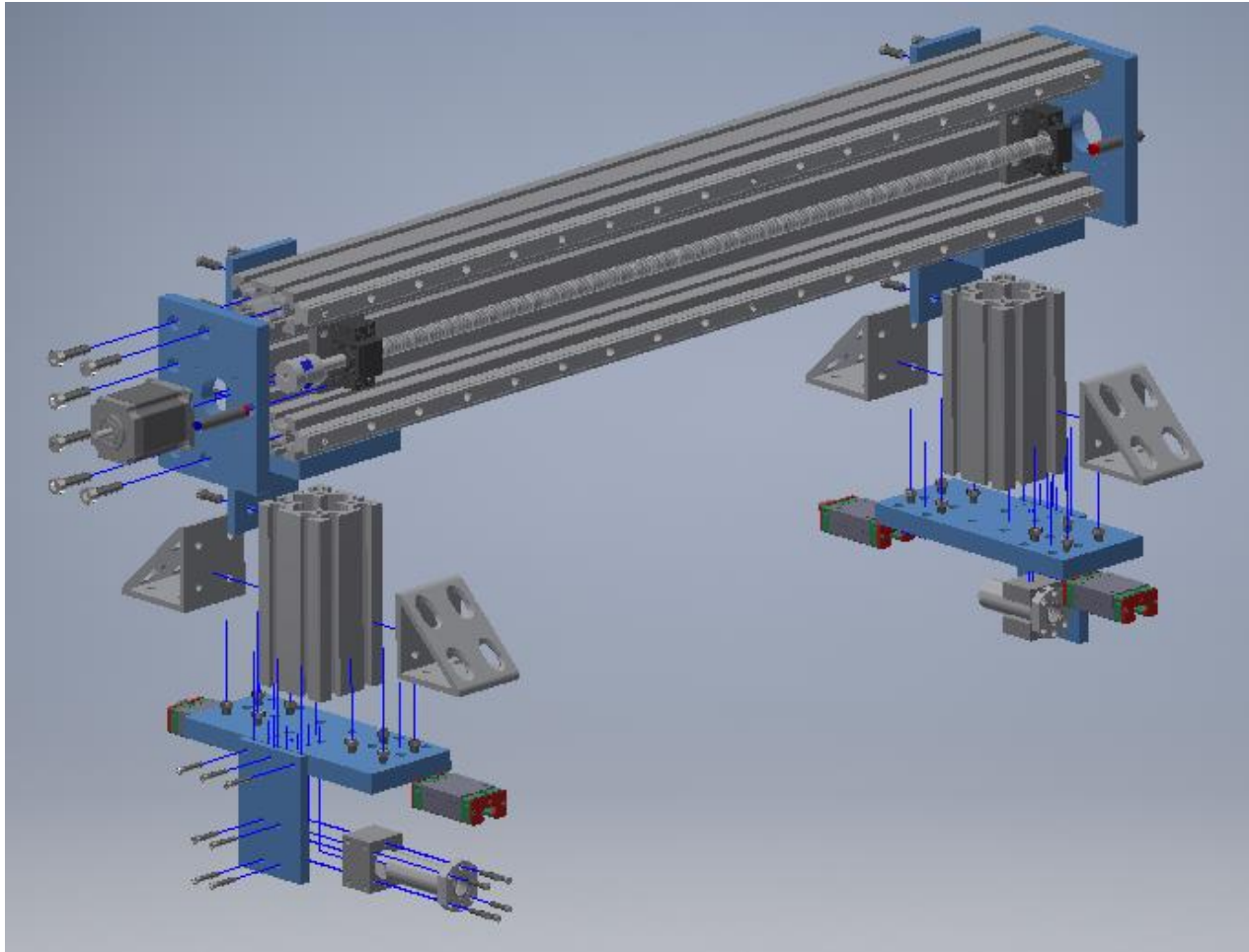


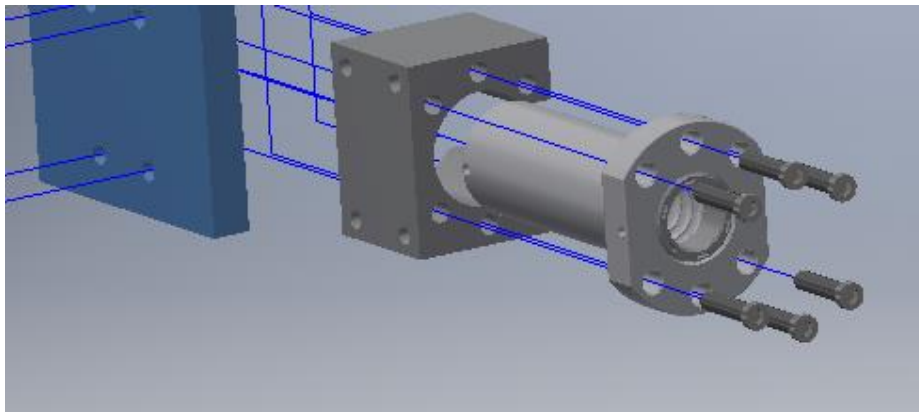
Figura 2: Mecanismo de movimiento de eje x completo.

No.	Componentes Eje X	Cantidad
1	Perfil de aluminio 80mmx40mm	3pza - 1000mm
2	Perfil de aluminio 80mmx80mm	2pza - 170mm
3	Tornillo de bola 1605	1pza - 1000mm
4	SFU1605 Doble	2
5	Plates de aluminio	10
6	Riel Lineal HGR20	2pza - 1000mm
7	HIWIN HGH20CA	4
8	BK12	1
9	BF12	1
10	40-4338	4
11	Nema 23	1
12	Final de carrera	1
13	Acople motor 8-10	1
14	Tornillos Allen M5	40
15	Tornillos Allen M8	12
16	Tornillos Allen M6	24

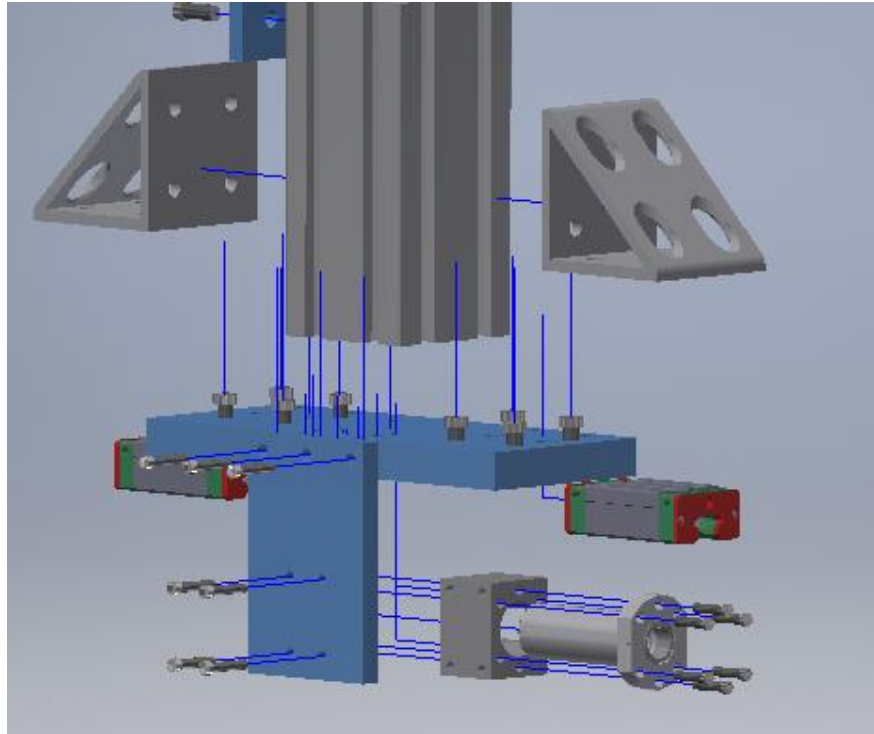
Tabla 1: Lista de componentes del eje X



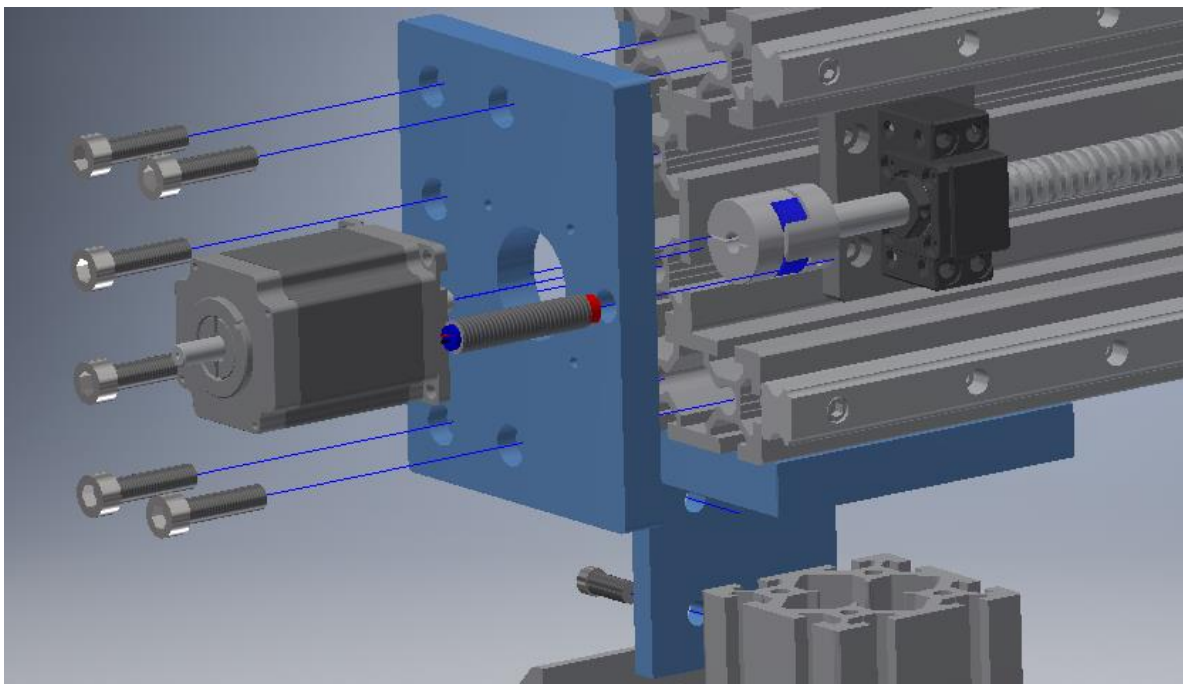
**Figura 3: Explosión completa del mecanismo**



**Figura 4: Instalación de SFU1605 Doble, con tornillos M5**



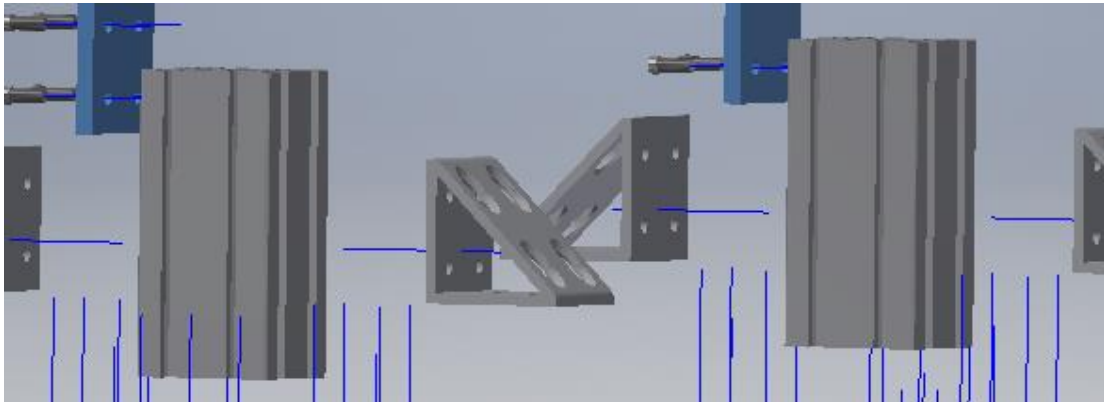
**Figura 5: Instalación de pata inferior, tornillos M8 para acople de 40-4338, tornillos m5 para acople de plate SFU1605 y dos Hiwin HGH20CA.**



**Figura 6: Instalación de NEMA 23, Tornillos M5 para plate de motor, instalación de final de carrera y acople motor 8-10 con tornillo de bola.**



**Figura 7: Tornillos M5 para plates de unión de perfiles de aluminio 80x40.**



**Figura 8: Instalación de perfiles de aluminio 80x80.**

# MECANISMO DE MOVIMIENTO DE EJE Y

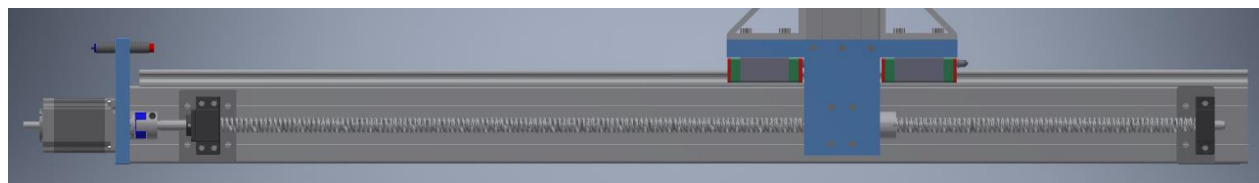
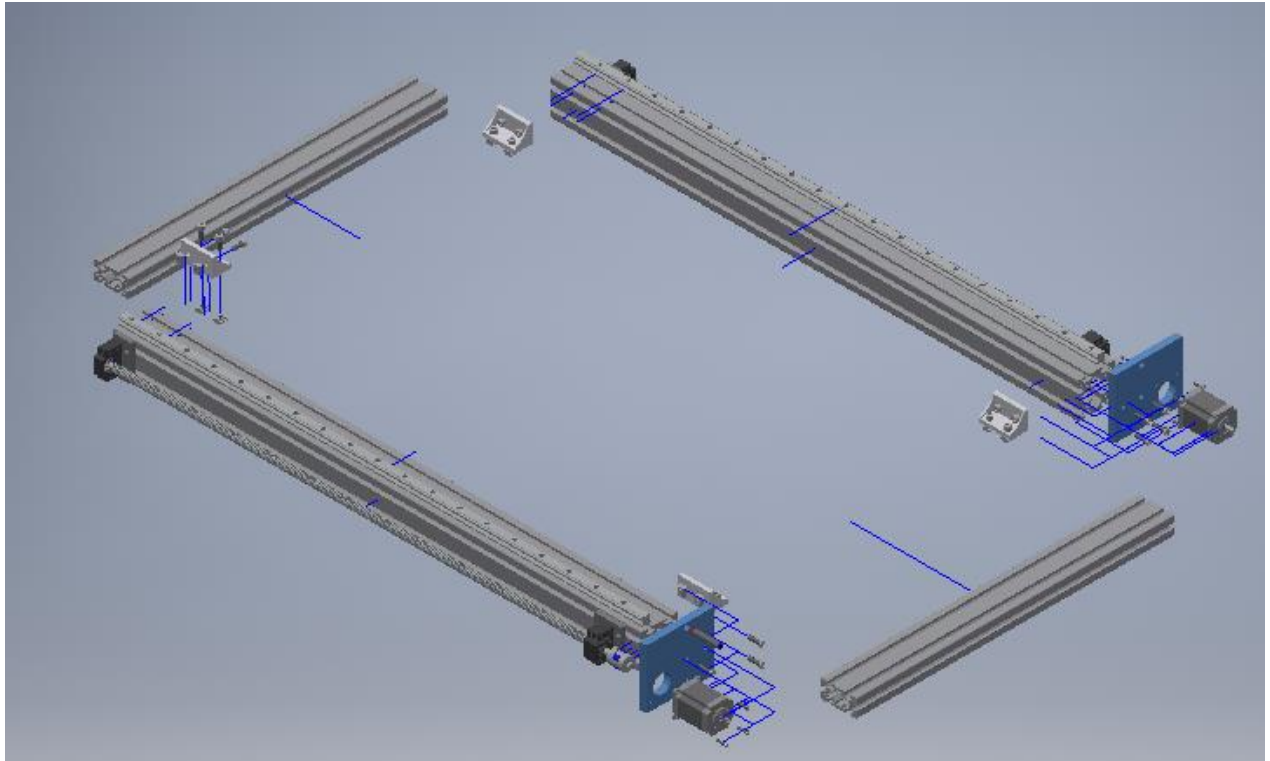


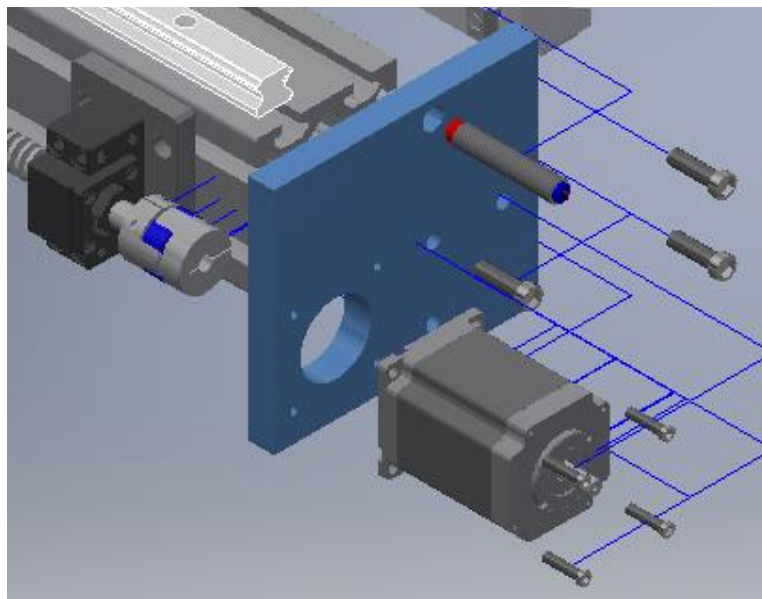
Figura 3: Mecanismo de movimiento de eje y completo.

No.	Componentes Eje Y	Cantidad
1	Perfil de aluminio 80mmx40mm	2pza - 700mm
2	Perfil de aluminio 80mmx80mm	2pza - 1150mm
3	Soporte perfiles de aluminio	4
4	Tornillo de bola 1605	2pza - 1050mm
5	Plates de aluminio	2
6	Riel lineal HGR20	2pza - 1050mm
7	BK12	2
8	BF12	2
9	Nema 23	2
10	Final de carrera	2
11	Acople motor 8-10	2
12	Tornillos Allen M5	36
13	Tornillos Allen M6	16

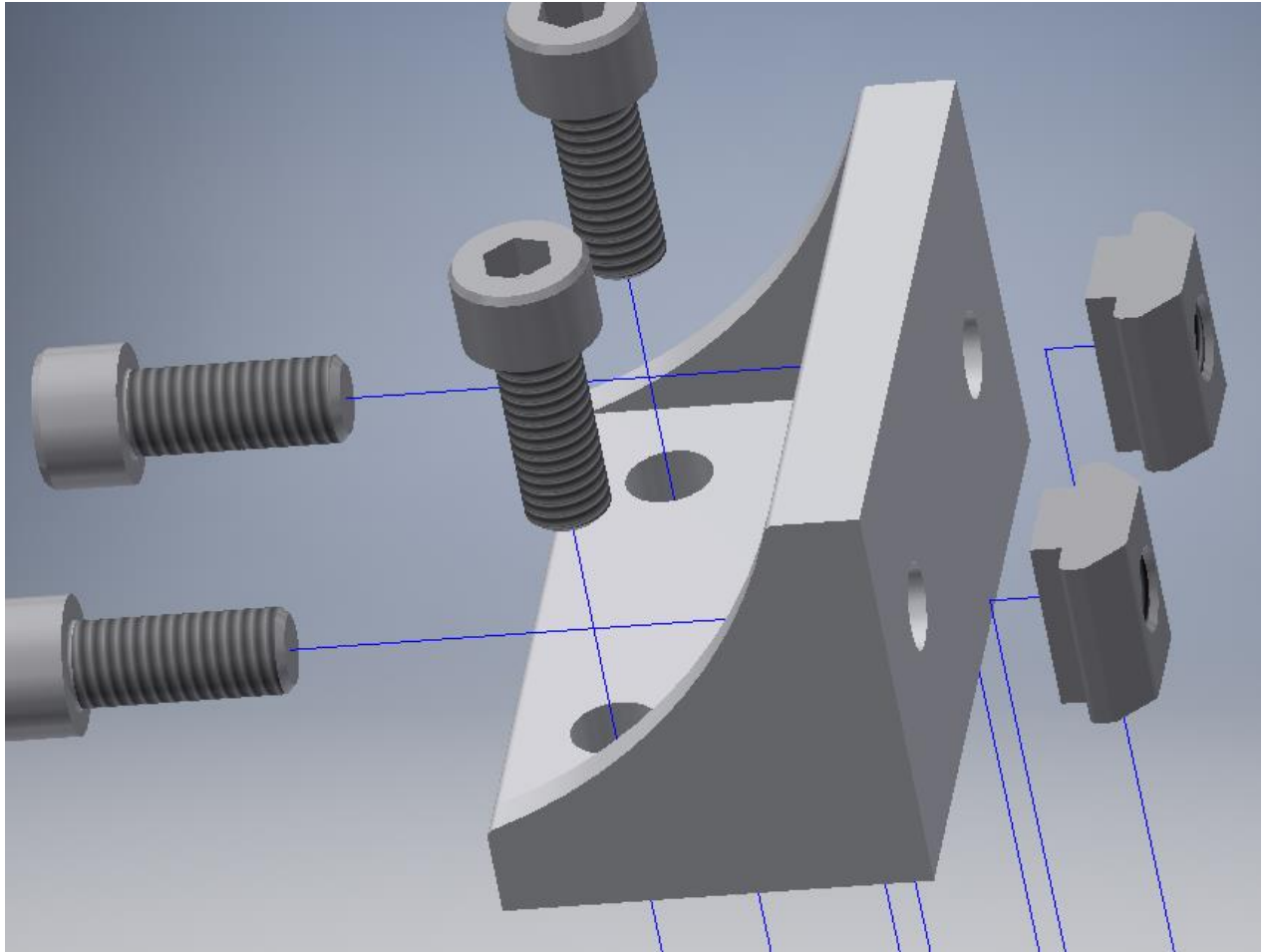
Tabla 2: Lista de componentes del eje Y



**Figura 9: Explosión general del mecanismo.**



**Figura 10: Instalación del motor**



**Figura 11: Acople de perfiles de aluminio**

# MECANISMO DE MOVIMIENTO DE EJE Z

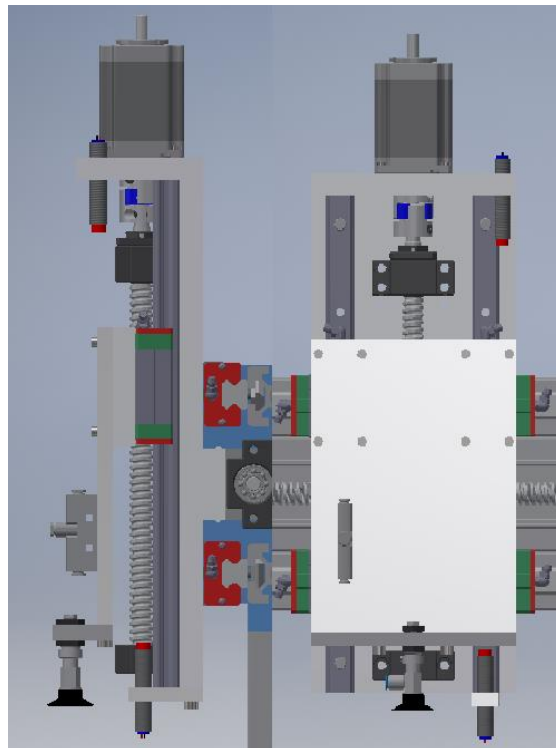


Figura 3: Mecanismo de movimiento de eje x completo.

No.	Componentes Eje X	Cantidad
1	Tornillo de bola 1605	1pza - 300mm
2	SFU1605	2
3	Plates de aluminio	7
4	Riel lineal HGR20	2pza - 340mm
5	HIWIN HG20CA	6
6	BK12	1
7	BF12	1
8	Nema 23	1
9	Final de carrera	1
10	Acople motor 8-10	1
11	Tornillos Allen M5	30

Tabla 3: Lista de componentes del eje Z

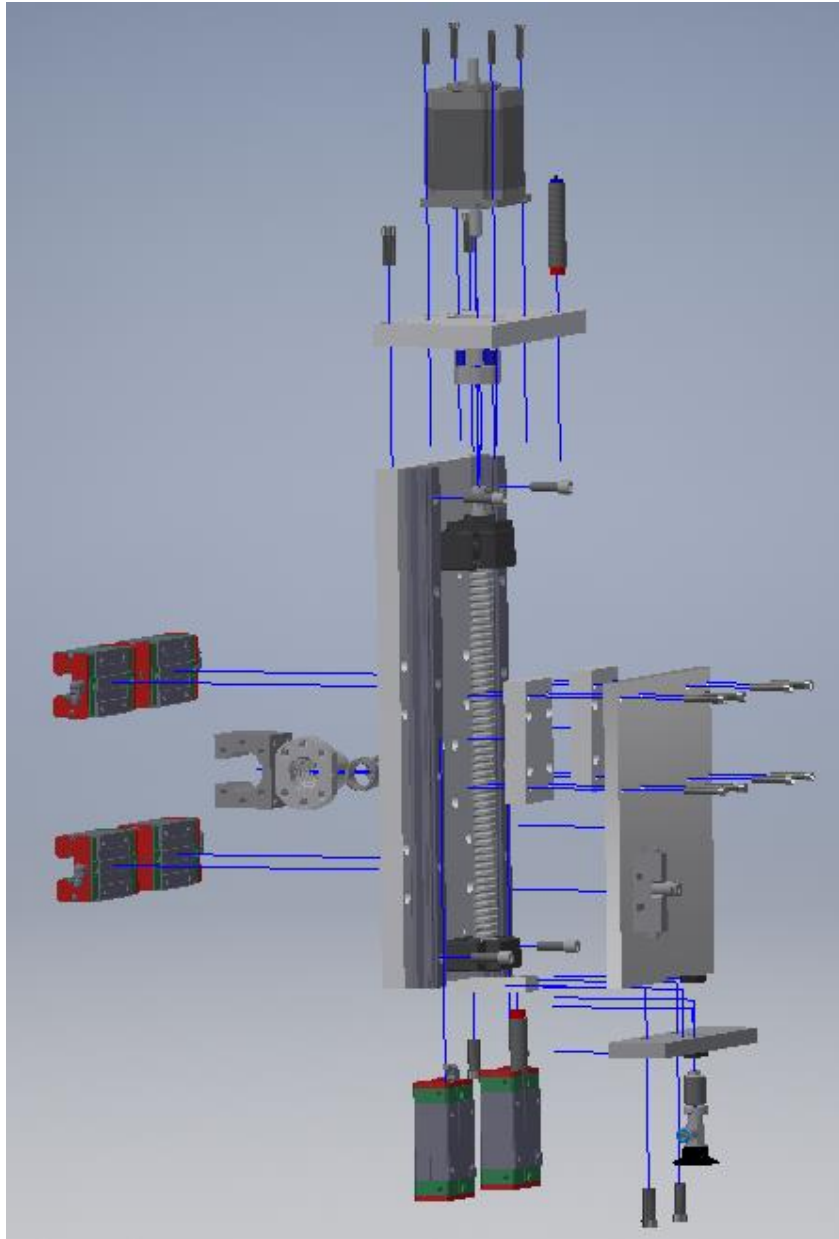
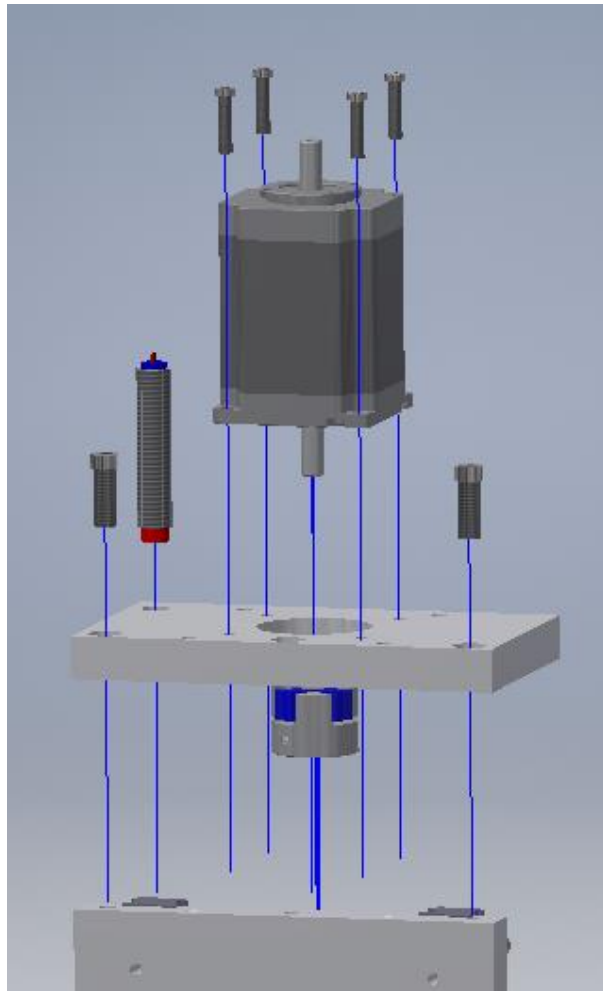
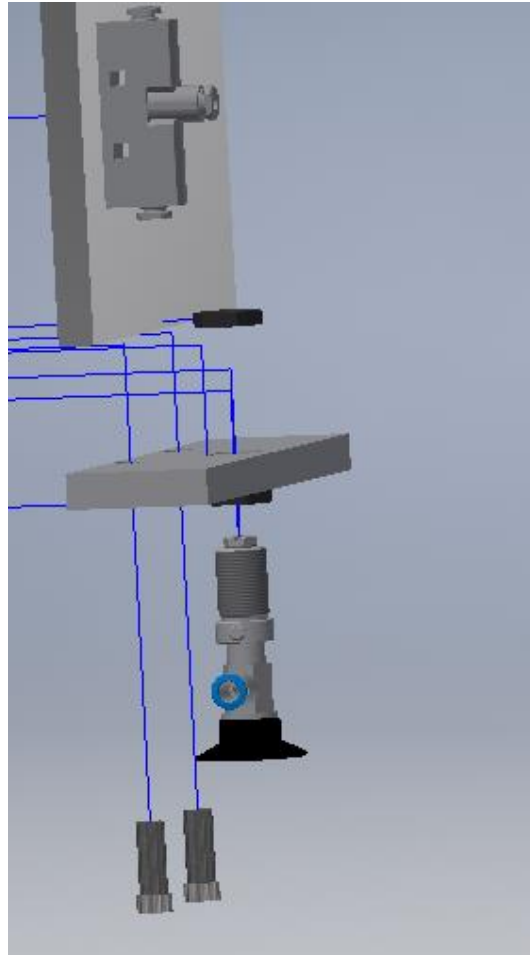


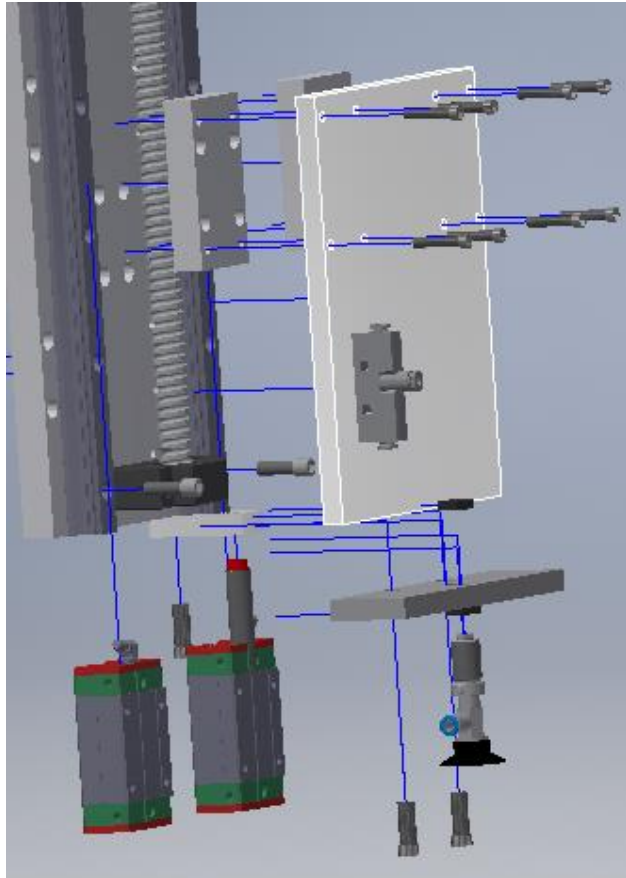
Figura 12: Explosión completa



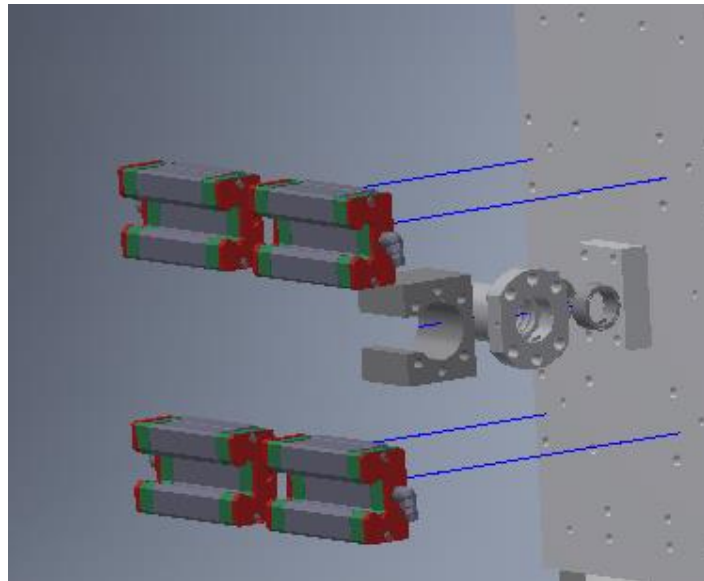
**Figura 13: Instalación del motor y acople**



**Figura 14: Instalación de gripper y plate de gripper.**

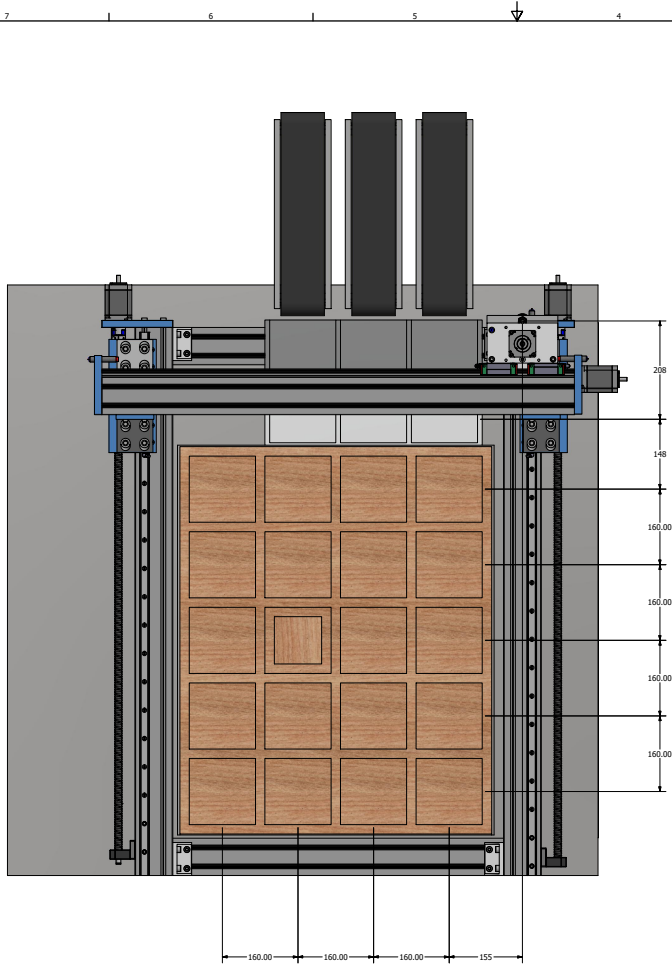


**Figura 15: Instalación de rieles, plates y tornillos**

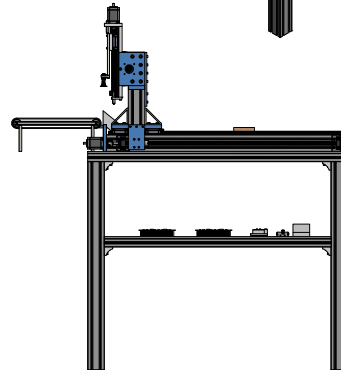
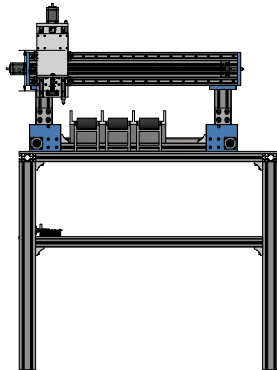
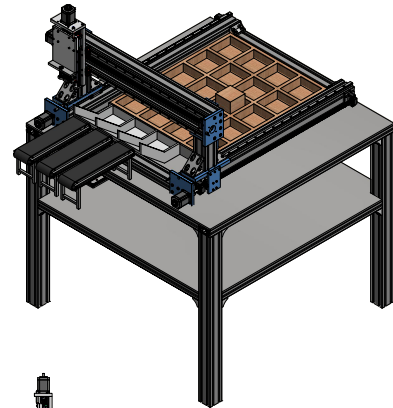
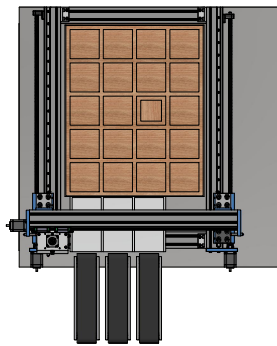


**Figura 16: Instalación de rieles y sfu1605**

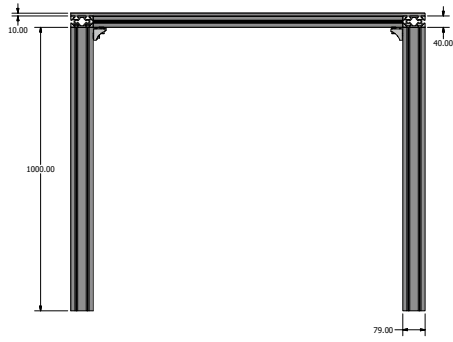
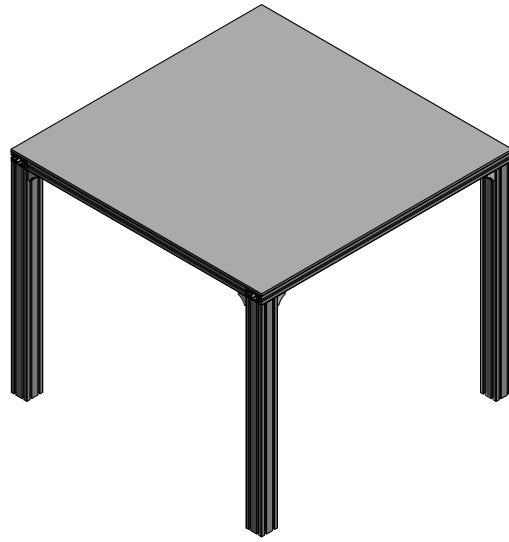
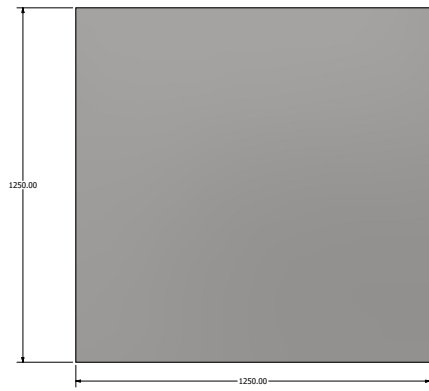
Planos



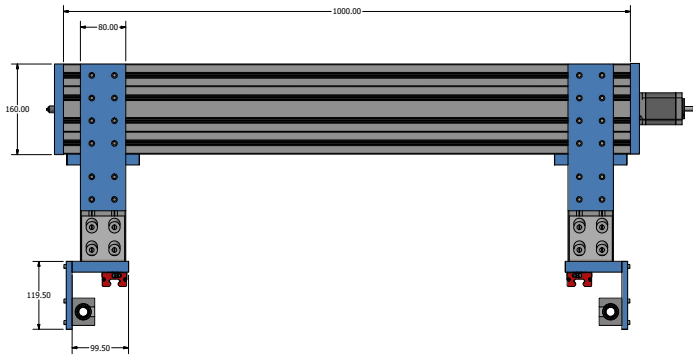
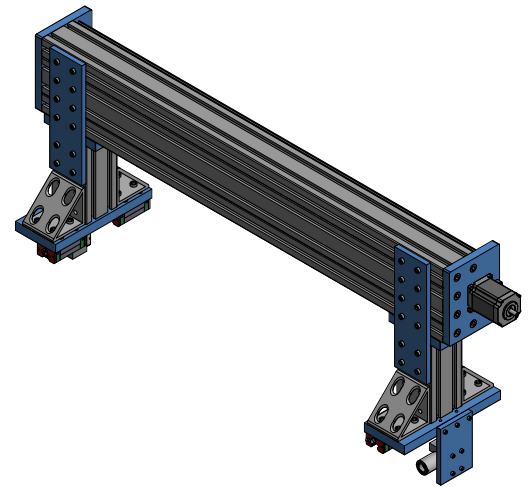
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.25 : 1
				SHEET 1 OF 18



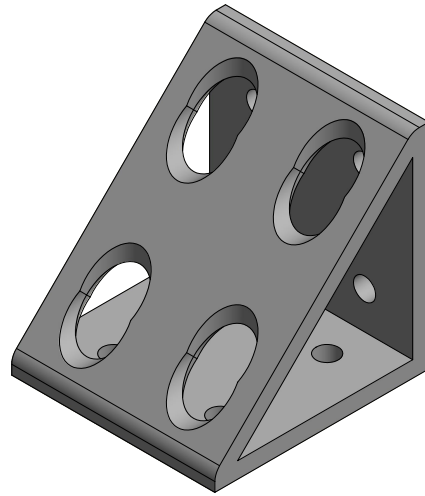
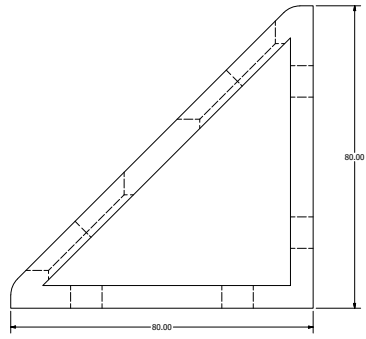
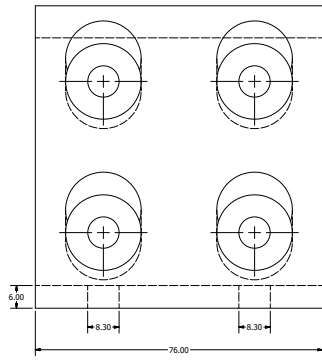
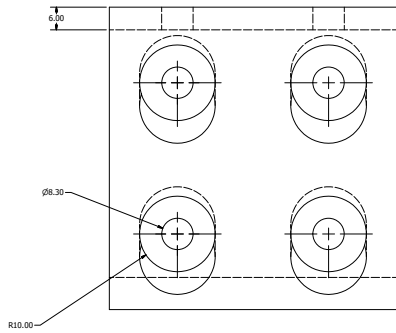
DRAWN Edgar Ramirez CHECKED QA RFG APPROVED	16/06/2020	TITLE	SHEET NO. D	DRAW NO. Ensemble Completo	REV.
SCALE 0.11 : 1		SHEET 2 OF 18			



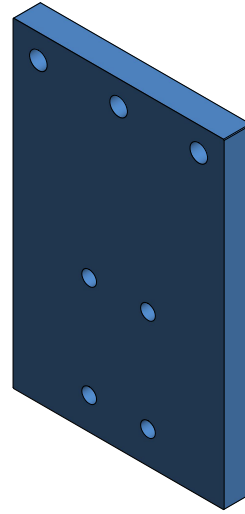
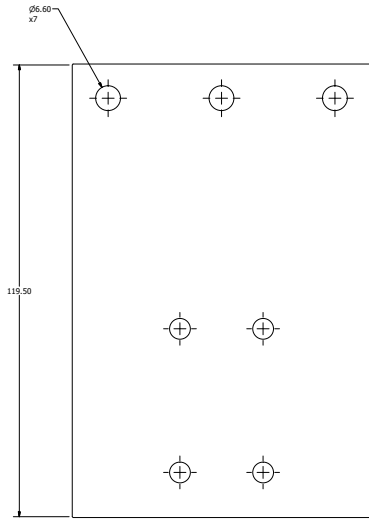
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.15 : 1
				SHEET 3 OF 18



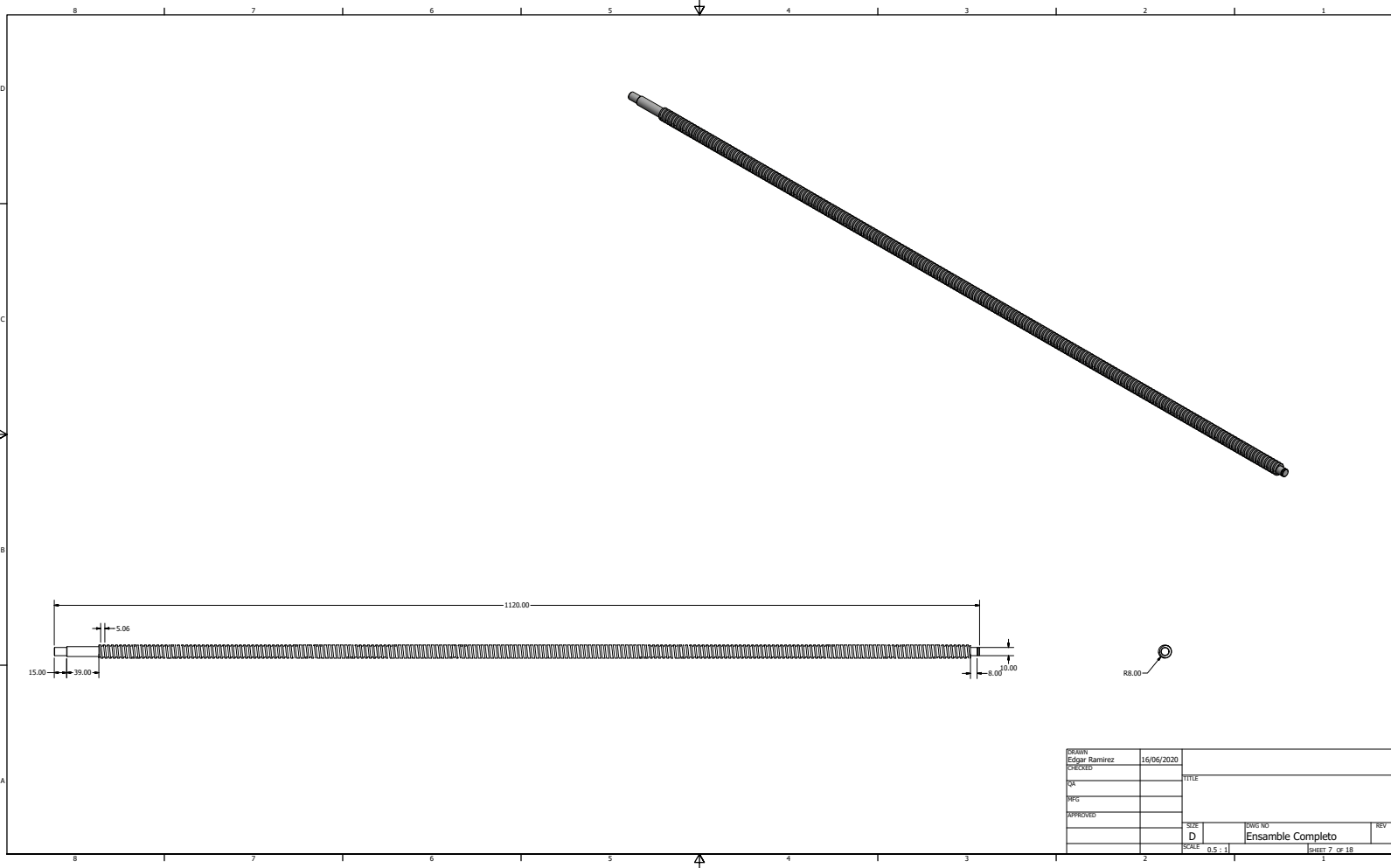
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.3 : 1
				SHEET 4 OF 18



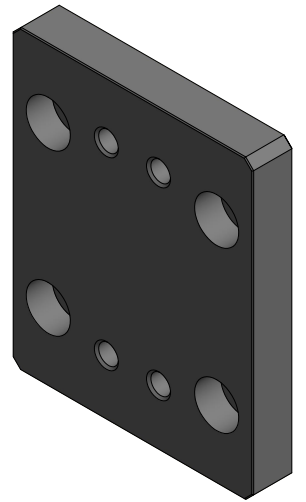
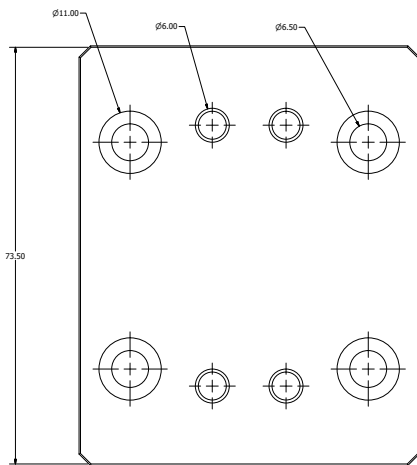
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020	TITLE	
CHECKED				
DATE				
APPROVED			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	2:1
				SHEET 5 OF 18



DRAWN Edgar Ramirez	16/06/2020	TITLE	
CHECKED		APPROVED	
DATE		SCALE	2:1
APPROVED		SIZE	D
		DWG NO	Ensamble Completo
		SCALE	SHEET 6 OF 18

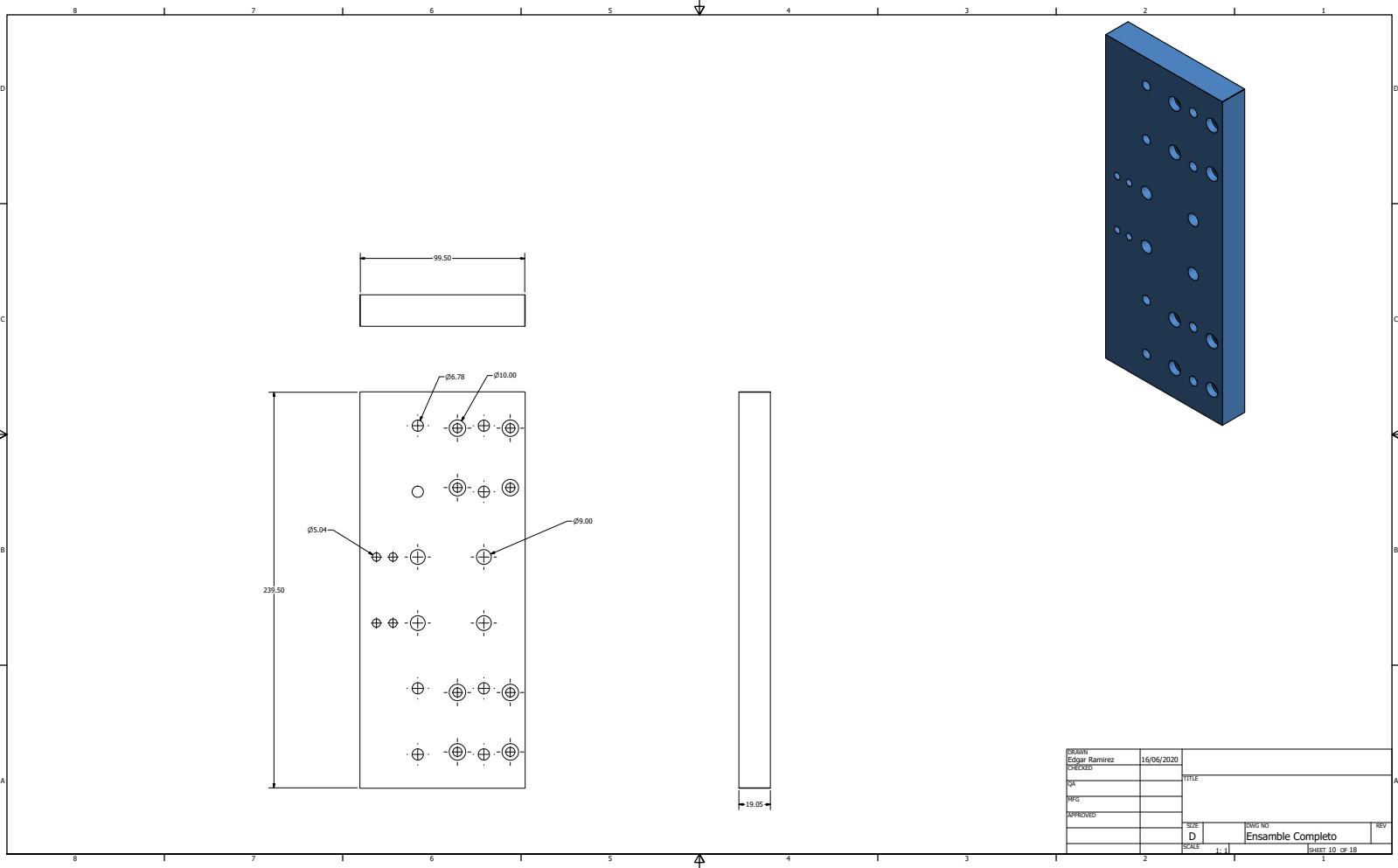


DRAWN Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED		TITLE	
QA			
APPROVED		SIZE	DWG NO
		D	Ensamble Completo
		SCALE	0.5 : 1
			SHEET 7 OF 18

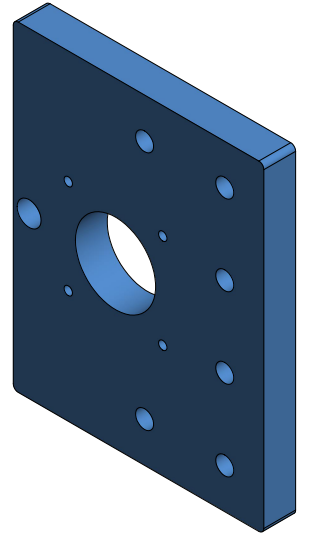
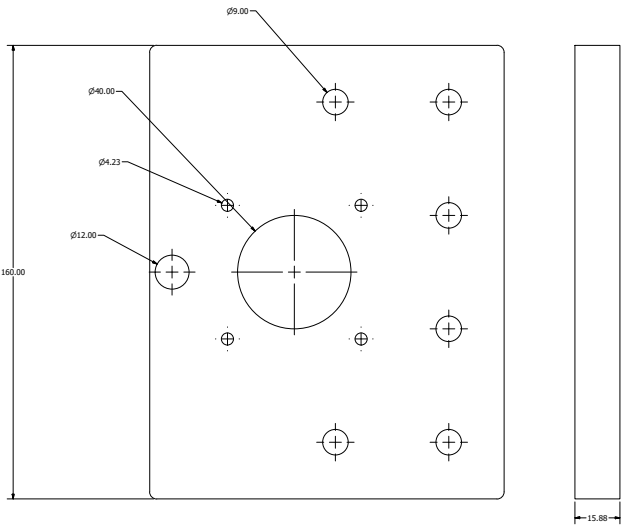
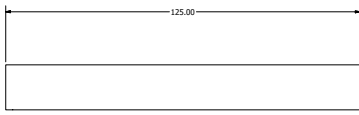


DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
RFQ				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	3:1
				SHEET 8 OF 18

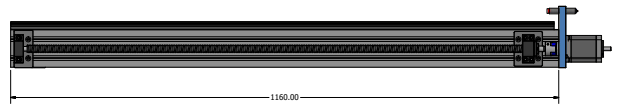
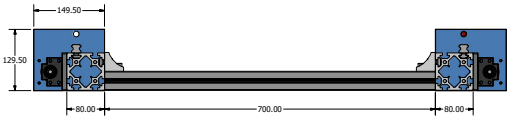
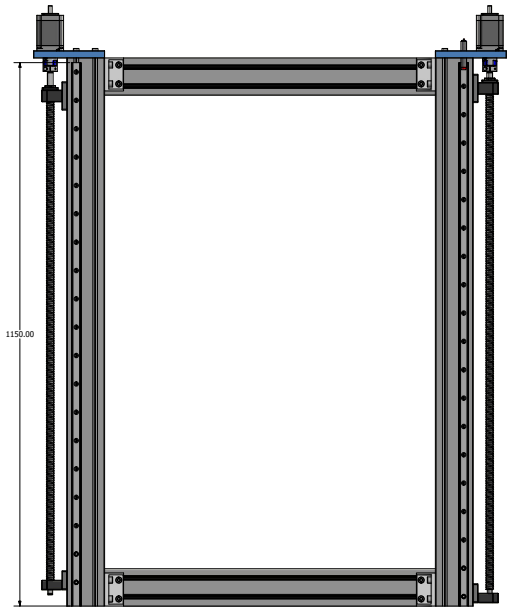




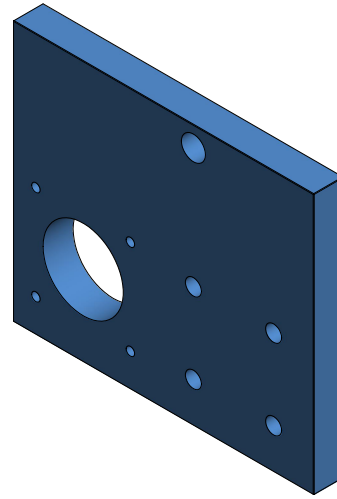
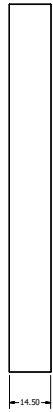
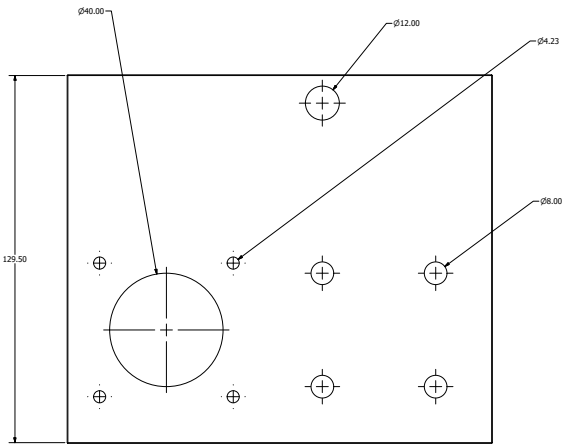
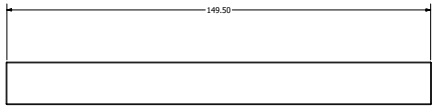
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
RFQ				
APPROVED			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	1:1
				SHEET 10 OF 18



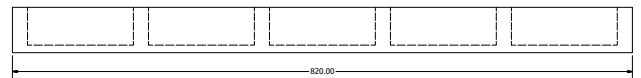
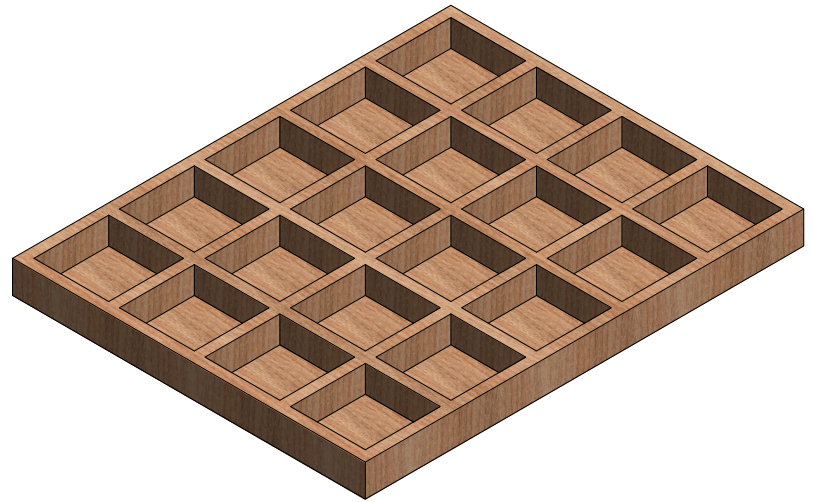
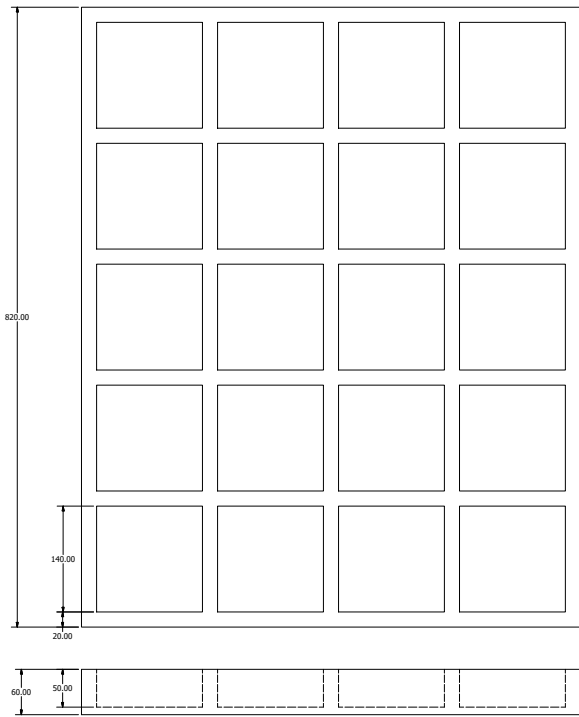
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SCALE	1:5 : 1
			REV	D
			REV NO	Ensamble Completo
			SCALE	1:5 : 1
				SHEET 11 OF 18



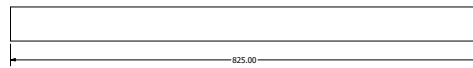
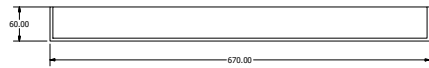
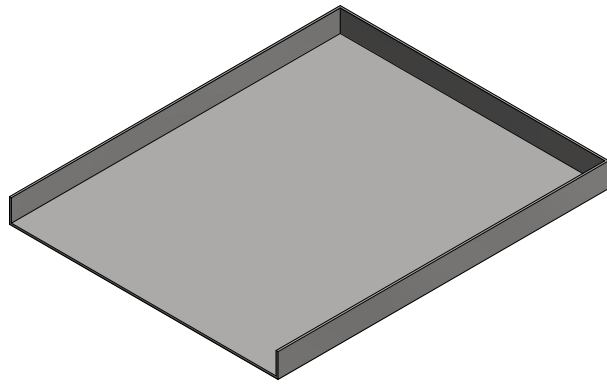
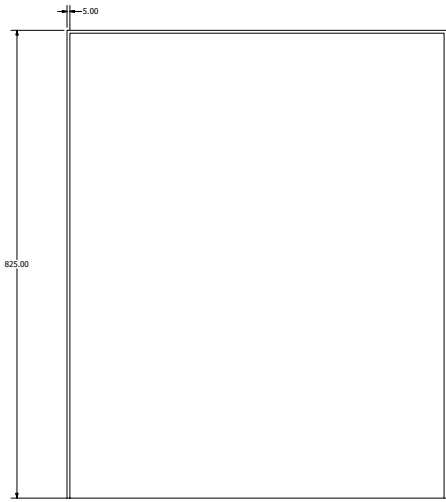
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020	TITLE	
CHECKED				
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.25 : 1
				SHEET 12 OF 18



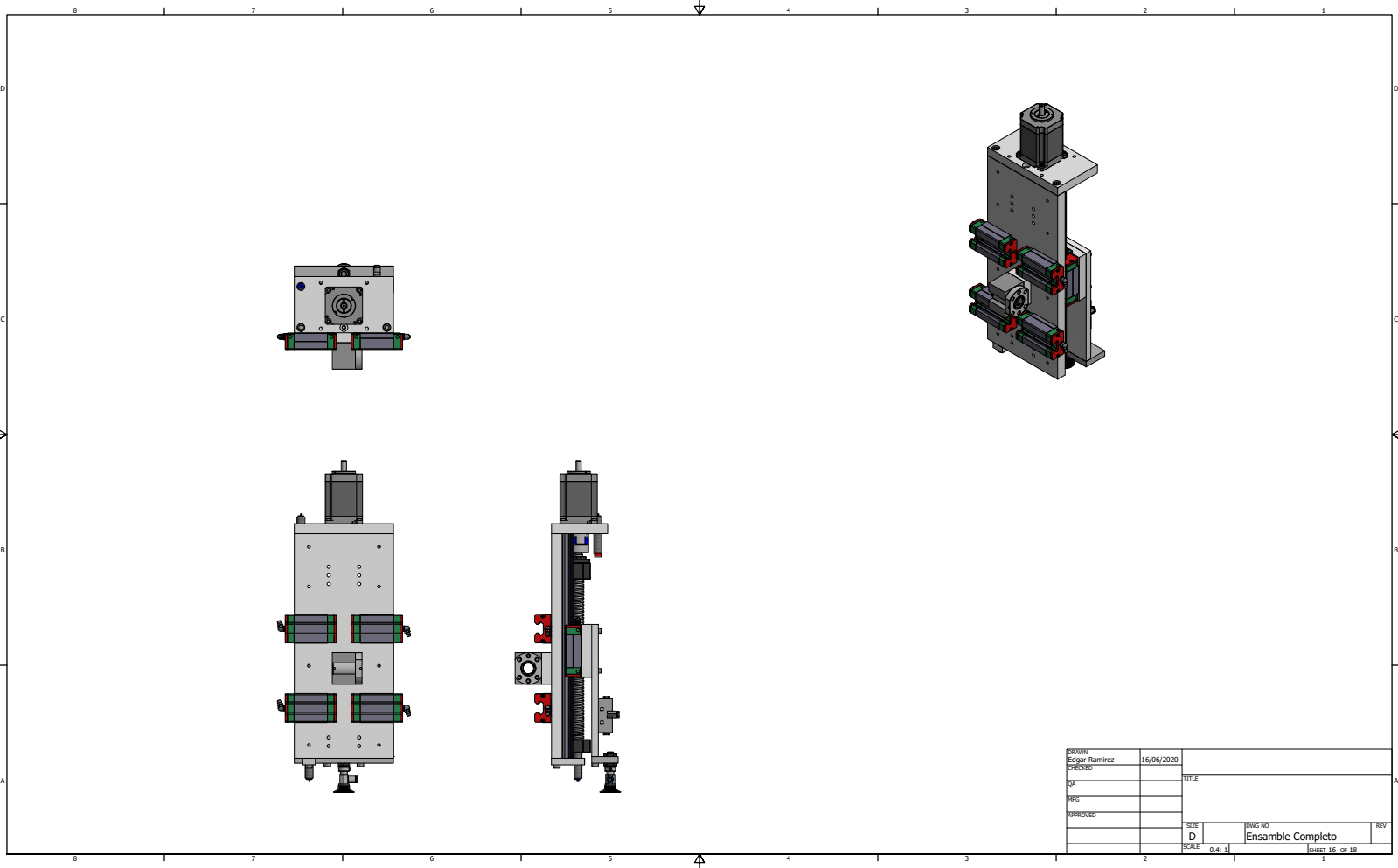
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020	TITLE	
CHECKED				
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	1:5 : 1
				SHEET 13 OF 18



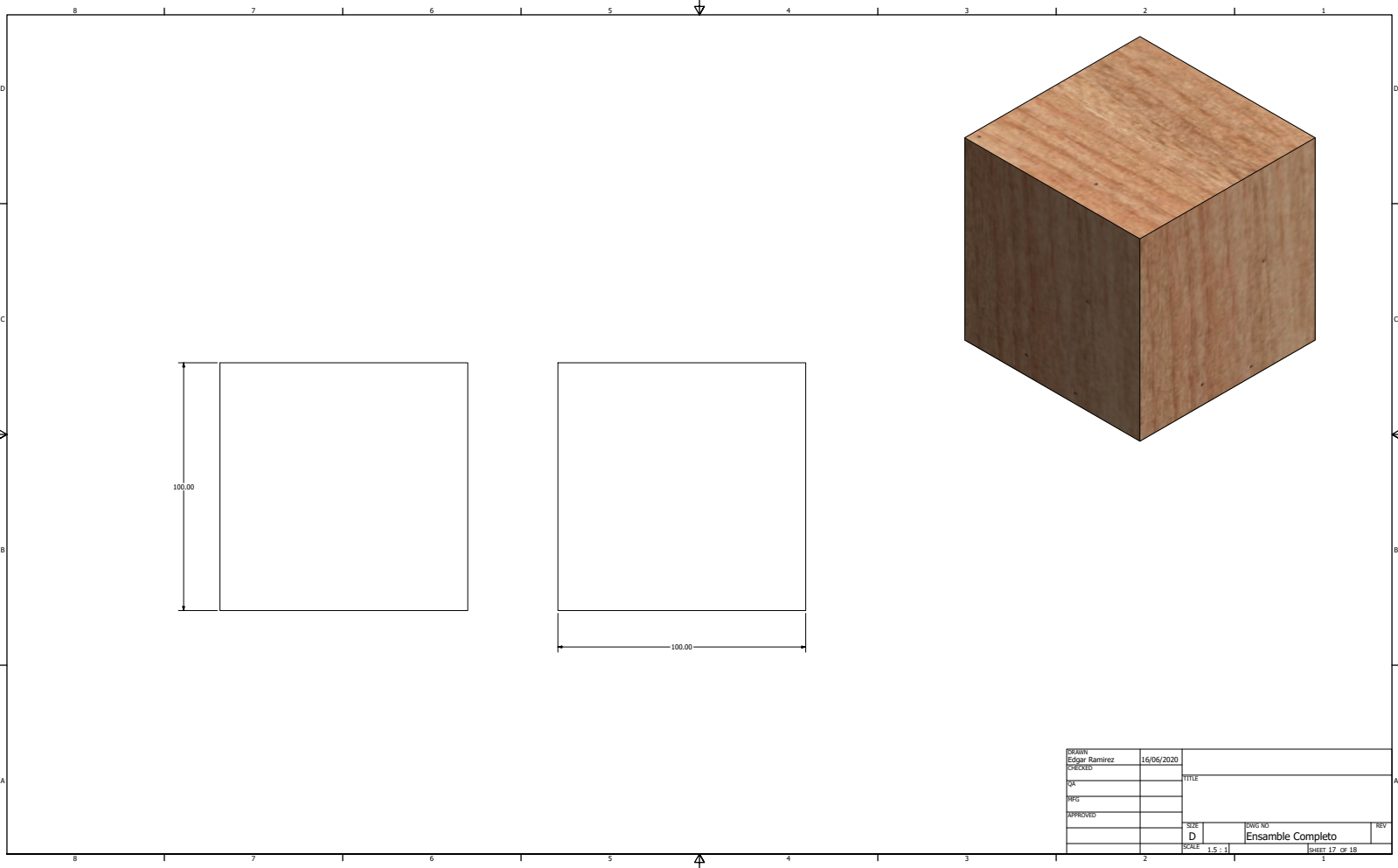
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.4:1
				SHEET 14 OF 18



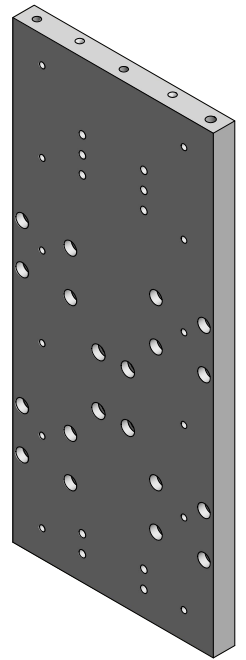
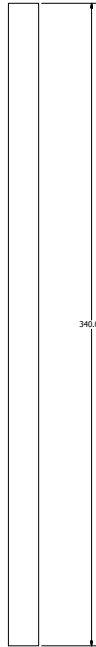
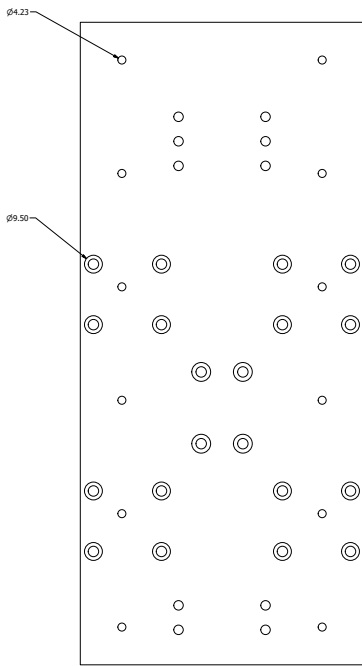
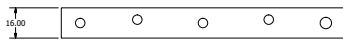
DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020	TITLE	
CHECKED				
QA				
APPROVED			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0.3 : 1
				SHEET 15 OF 18



DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	0,4:1
				SHEET 16 OF 18



DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	1:5 : 1
				SHEET 17 OF 18



DRAWN	Edgar Ramirez	16/06/2020		
CHECKED			TITLE	
QA				
APPROVED				
			SIZE	DWG NO
			D	Ensamble Completo
			SCALE	SHEET 18 OF 18

Paper

# Diseño de línea de producción a pequeña escala con fines educativos como herramienta para el aprendizaje de automatización industrial

Jackeline Hidalgo

*Departamento de Ingeniería Electrónica*  
*Universidad del Valle de Guatemala*  
Guatemala, Guatemala  
hid15776@uvg.edu.gt

Edgar Ramirez

*Departamento de Ingeniería Electrónica*  
*Universidad del Valle de Guatemala*  
Guatemala, Guatemala  
ram15236@uvg.edu.gt

Diego Felix

*Departamento de Ingeniería Electrónica*  
*Universidad del Valle de Guatemala*  
Guatemala, Guatemala  
fel14105@uvg.edu.gt

Diego Rivera

*Departamento de Ingeniería Mecatrónica*  
*Universidad del Valle de Guatemala*  
Guatemala, Guatemala  
riv15085@uvg.edu.gt

**Abstract**—This research and design paper is composed of five phases: Description of each of the modules, Methodology, Results, Design and Conclusions. The objective of the work lies in the development of a design proposal for today's problem which relies on a basic industrial automation course. Therefore, the distribution of the work mentioned above seeks to illustrate the process that was carried out for the development of the solution. In addition, a brief investigation was carried out related to solutions proposed for problems of the same nature. The problem was then decomposed and analyzed for the formulation of the proposal. Defining the solution, the pieces were modeled in 3D software for the complete system.

**Index Terms**—modules, didactic, system, automation, design

## I. INTRODUCCIÓN

La automatización industrial es la aplicación y uso de sistemas de diferentes tecnologías para controlar y monitorear procesos de fines industriales. Tiene como objetivo reducir la intervención humana en un proceso realizando funciones repetitivas, de modo que pueda operarse automáticamente [1].

En la actualidad es de suma importancia que los ingenieros conozcan y manejen diversas tecnologías y conocimientos para ser aplicados en la industria. Por lo que en las carreras de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala se imparten cursos sobre automatización industrial en los cuales se requiere de herramientas versátiles y efectivas para potenciar los conocimientos sobre esta disciplina.

Con la intención de realizar un sistema útil para la enseñanza y aprendizaje de la instrumentación y automatización industrial, se ha propuesto un sistema didáctico de aprendizaje. El sistema es una línea de producción a escala compuesta de módulos independientes con funciones específicas predeterminadas. Estos son capaces

de interconectarse para realizar un proceso completo o utilizarse de manera individual.

Su propósito es facilitar el proceso de construcción y ensamblaje a la hora de realizar proyectos o laboratorios donde se apliquen los conocimientos adquiridos en los cursos. Proveyendo un sistema controlable y modificable, que cuenta con instrumentos y equipo industrial para brindar la oportunidad de conocer y manejarlos como se harían dentro de la industria.

## II. DESCRIPCIÓN GENERAL

Se diseñó una línea de producción a pequeña escala, con fines didácticos; dicha línea se divide en cuatro módulos: un sistema de recirculación de agua, una estación de procesamiento, una clasificadora y una almacenadora. El objetivo principal de este proyecto era determinar el impacto didáctico que va a tener la implementación de esta línea de producción, específicamente en el curso de Instrumentación Electrónica impartido en la Universidad del Valle de Guatemala. Se analizaron diferentes situaciones o necesidades que ocurrían en este curso, específicamente en los laboratorios y proyectos, se observó el programa del curso y se analizaron los temas principales que se imparten, para así poder diseñar la máquina en base a dichas necesidades.

## III. MÓDULOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

### A. Estación de recirculación de agua

Este módulo utiliza dos tanques de agua calculados de acuerdo con las especificaciones del trabajo correcto del sensor de flujo de efecto Coriolis de la universidad. Con sensores ubicados en uno de los tanques que pueden determinar la temperatura y la cantidad de agua en el mismo, así como: electroválvulas de agua, mezcladora de agua para tanque,

resistencia calentadora de agua y un motor de ½ Hp para impulsar el agua; esta estación cuenta con tres salidas digitales, una entrada y tres salidas analógicas. Con esta estación se pretende que los estudiantes observen el flujo de líquidos comúnmente observados en la industria química y comprendan de primera mano la aplicación de los instrumentos colocados.

### B. Estación de Procesamiento

Se diseñó una estación de procesamiento, que cuenta con una máquina de transferencia rotativa, donde las piezas se verifican y se procesan en base a la altura que poseen. Dicha máquina se compone de una mesa giratoria dentada que gira en base a un piñón que tendrá atado un servo motor AC, con su respectivo driver, para controlar el movimiento. En dicha mesa, las piezas son verificadas mediante el censo de altura específico, utilizando un sensor óptico con el cual pueden medirse distancias, se puede saber si la pieza cumple o no para ser trasladada al mecanismo de salida. De no ser las correctas, estas son desechadas por medio de un cilindro neumático y de ser las adecuadas, se redirigen por otro cilindro a la banda de salida. Cabe resaltar que los cilindros se controlan por electroválvulas y estas esperan a ser accionadas por señales digitales de un PLC.

### C. Estación de clasificación de objetos

Este módulo se encarga de recibir los objetos, ya sea de un módulo anterior o de manera independiente mediante un operador, y recolectar información sobre los productos utilizando una red de sensores. El módulo mide de manera pre-determinada el peso de los objetos para clasificarlos según el conjunto de información asociada a cada producto. Se realiza el movimiento y clasificación mediante bandas transportadoras y palancas de cambio de trayectoria. Se trasladan hacia el final del módulo los productos clasificados para que sean tomados por el siguiente módulo u operario para ser manejados según corresponda. La instrumentación y equipo utilizado para el diseño del módulo es la siguiente:

- Banda acumuladora que se compone de tres bandas transportadoras a diferentes velocidades
- Cuarto de sensores
- Sensor o célula de peso
- Dos palancas dentro de cuarto de sensor para mover objeto a siguiente etapa
- Dos palancas para cambiar trayectoria de objetos
- Tres bandas transportadoras para clasificar los objetos

Se muestra un bosquejo de la propuesta de diseño para la clasificadora de objetos en la figura 1.

### D. Estación de almacenaje de objetos

Este módulo consiste en recibir diferentes objetos previamente clasificados en el módulo anterior. Recibiendo los objetos a través de tres bandas transportadoras, cada uno de ellos tiene tres diferentes pesos, pero el mismo tamaño; y se van almacenando en un contenedor por medio de un sistema pick and place. Para el movimiento de la garra encargada de mover las piezas, se utilizó un mecanismo que se mueve

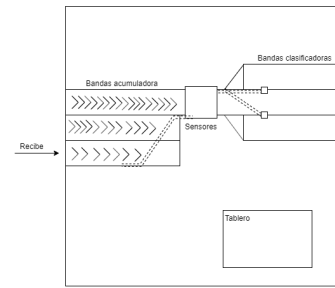


Fig. 1. Bosquejo de propuesta de diseño de clasificadora de objetos

en los tres ejes X, Y y Z con la ayuda de servomotores AC, servomotores convencionales, Motores DC y un diseño mecánico preciso para que se logren posicionar de manera adecuada las piezas. Este es el módulo final de la línea de producción. Ya teniendo el contenedor lleno, se procede a retirarlo para poder regresar las piezas al principio de la línea.

## IV. METODOLOGÍA

En primer lugar, se llevó cabo una etapa de investigación en la que se encontraron procesos y sistemas de producción modulares que existen en la industria actual, sin embargo, nada comparado con lo que se diseñó. Al mismo tiempo, la investigación también ayudó a obtener información detallada del funcionamiento de sensores, cilindros, motores y demás instrumentación que se fuera a implementar durante el diseño. En esta etapa se decidieron las especificaciones de los módulos utilizados y se seleccionaron según sus características físicas observadas comúnmente en la industria.

En segundo lugar, se inició una etapa de ideación para cada uno de los subsistemas en los que se divide la estación con la ayuda de los temas que se cubren en el curso de instrumentación y automatización industrial, donde las ideas propuestas fueron cambiando conforme se iban encontrando debilidades y fortalezas, tanto en temas como estructura, funcionalidad y viabilidad, de cada una de ellas.

En tercer lugar, se llegó a una etapa de análisis donde se hicieron los cálculos necesarios con la finalidad de seleccionar los instrumentos más adecuados acorde a las necesidades y requerimientos del procesamiento de las piezas. Para ello se llevaron cabo los respectivos análisis ingenieriles de cada uno de los componentes para determinar una selección de la mismos. Cada uno de estos se escogieron pensando en la aplicación y aporte didáctico que pueden brindar al estudiante, acercándolo a la implementación de sensores y actuadores industriales de primera mano.

## V. RESULTADOS

### A. Sistema de recirculación de agua

1) *Selección y cálculo de contenedores de agua:* Se premeditaron dos tanques que ayuden a simular la recirculación de líquidos comúnmente visualizado en la industria química específicos para la circulación correcta de 8 gal/min por el

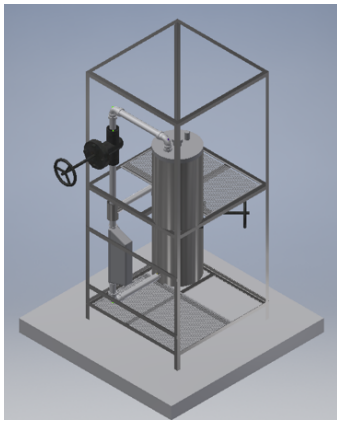


Fig. 2. Sistema de recirculación de agua didáctico

funcionamiento del sensor de flujo de efecto coriolis. Los tanques tienen un volumen de  $35.3\text{cm}^3$  para el tanque 1 y  $42.4\text{cm}^3$  para el tanque 2. En el tanque 1 se realizan cambios físicos y mediciones al nivel de agua y el tanque 2 se utiliza como contenedor general.

2) *Tubería y flujo máximo*: Como una de las limitantes del proyecto es la utilización del sensor de flujo de efecto coriolis, los cálculos fueron realizados para mantener un flujo de  $22.71\text{lt}/\text{min} - > 45\text{lt}/\text{min}$  por lo tanto se decidió utilizar una tubería de 1" de diámetro junto con una válvula de alivio de presión manual fijada en  $160\text{psi}$ . Además, en la tubería se encuentran electroválvulas comandadas por una señal digital desde el PLC, o el dispositivo de programación deseado, para controlar el flujo del agua y la presión dentro de la tubería. Los datos técnicos del sensor de flujo de efecto coriolis son

- Nombre completo, *Sensor de flujo Coriolis Micro Motion R025S113NCAMEZYZZ*.
- Peso del sensor de  $10\text{lb}$  ( $4.5\text{kg}$ ), hecho de acero inoxidable.
- Brida de cuello de soldadura ASME B16.5 (hasta la clase CL600).
- Flujo permisible para el correcto funcionamiento de  $6\text{gal}/\text{min}$  a  $12\text{gal}/\text{min}$ . ( $22.71\text{L}/\text{min}$  a  $45\text{L}/\text{min}$ )
- Transmisor de modelo 2700 de Micro Motion con entradas/salidas configurables.
- Interface de transmisión tipo 4-20mA, HART y MODBUS.

3) *Cambio de temperatura*: Se seleccionó una resistencia calentadora de agua de 110VAC y una RTD proveída por la universidad para realizar tanto el cambio de las propiedades físicas del agua como la medición de estas propiedades. Además, se utilizan como entrada y salida analógica respectivamente como señales de aprendizaje para el alumno.

#### B. Estación de Procesamiento

1) *Selección de Motor DC*: Para la selección del motor DC que controla las bandas transportadoras, que componen tanto el subsistema de alimentación como el de salida, se determinó el torque necesario para hacer girar al menos 4 de las piezas

más grandes, calcular la potencia necesaria y comparar esta con las diferentes opciones que ofrece el mercado, para al menos conseguir una autonomía de poder trabajar hasta 30 cajas por minuto.

Tipo	ET-SGM37-D Motor DC con caja reductora
Voltaje Nominal	24V
Velocidad Nominal	18.5 RPM
Corriente Nominal	800mA
Potencia de Salida Nominal	7.60 W

TABLE I  
DATOS DEL MOTOR DC A PLENA CARGA

2) *Selección de sensor*: Para la selección del sensor que detecta las piezas, este se logró determinar en base a los rangos de medición que maneja, teniendo en cuenta que las piezas que se iban a estar trabajando cuentan con alturas de 7 y 10 cm y la altura  $x$  a la que iba a estar posicionado el mismo

Distancia Máx. de detección	0...200 mm
Distancia Mín. de detección	10...30 mm
Voltaje de funcionamiento	10...30 V DC
Corriente de conmut. adm	máx. 200 mA
Tiempo de respuesta	2 ms

TABLE II  
DATOS TÉCNICOS DE SENSOR

3) *Selección de Cojinete*: Por otro lado, en cuanto al cojinete que haría funcionar el mecanismo de la mesa rotatoria, se seleccionó tomando en cuenta el peso de la mesa rotatoria, asumiendo una plancha de aluminio de 63cm de diámetro y 1.5cm de espesor en conjunto, con al máximo 6 piezas de MDF, por encima de este.

Diámetro del Agujero	26 cm	
Diámetro Externo	38.5 cm	
Capacidad de Carga Radial (Dinámico y Estático)	108 kN	325 kN
Capacidad de Carga Axial (Dinámico y Estático)	95 kN	780 kN
Velocidades Alcanzables	130 RPM	
Diámetro de la Mesa giratoria	63 cm	

TABLE III  
PROPIEDADES DE LOS COJINETES AXIALES-RADIALES DE RODILLOS CILÍNDRICOS

4) *Selección de Actuadores*: Por último, para la selección del cilindro se tomó en consideración, la distancia de embolo que recorre y si esta era la necesaria para hacer empujar las piezas, y el rango de presiones con el que trabaja, contemplando un máximo de 10bar

5) *Diseño Mecánico*: Por último, la estación terminada se muestra en las siguientes figuras. Incluyendo todos los componentes que lo componen:

- 1) Entrada del producto desde el subsistema de alimentación

Función	DSBC Cilindro estandar de doble efecto, biestable, basado en ISO 15552
Diámetro del embolo	32 mm
Carrera	100 mm

TABLE IV  
ESPECIFICACIONES DE CILINDRO NEUMÁTICO

Tipo	Celda de carga de un punto
Modelo	F4801
Carga nominal Fnom	3Kg
Fuerza límite	150% Fnom
Rango nominal de tensión de exit.	10V, 15V máx.

TABLE V  
DATOS SOBRE LA CÉLULA DE PESAJE F4801

- 2) La rueda giratoria
- 3) Mecanismo de giro de la rueda
- 4) Sensor optoelectrónico
- 5) El servomotor
- 6) Los cilindros neumáticos

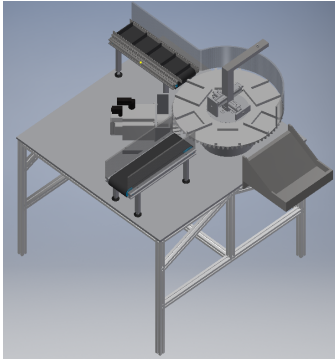


Fig. 3. Diseño de estación de procesamiento

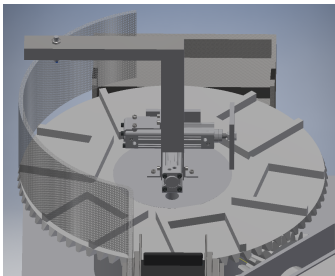


Fig. 4. Vista de brazo de medición con actuadores

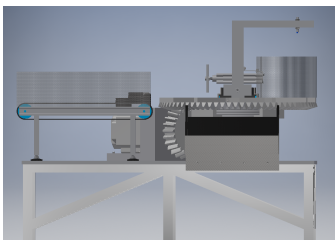


Fig. 5. Vista lateral con rueda giratoria

### C. Clasificadora de objetos

1) *Selección de instrumentación:* Para realizar el módulo de clasificación de objetos se selecciono la siguiente instrumentación. Para la cual se realizó el análisis ingenieril correspondiente que se observa a detalle en [1].

- Sensor o célula de pesaje
- Sensor de presencia

Tipo	Sensor ultrasónico
Modelo	Toughsonic 3 TSPC-30S2-485.
Método de detección	Reflexivo convergente
Distancia Ajustable	5cm - 90 cm
Voltaje de Alimentación	10V - 30V

TABLE VI  
DATOS SOBRE SENSOR ULTRASÓNICO TOUGHSONIC 3

- Motor DC 24V (Tabla I)
- Servo Motor convencional

2) *Diseño mecánico:* Para el diseño mecánico de la clasificadora de objetos se tomaron en cuenta las siguientes estructuras mecánicas.

- Banda transportadora
- Baranda guía
- Cuarto de sensores
- Palancas de cambio de trayectoria

Estas estructuras conforman las etapas del sistema que están detalladas en la figura 6. Las cuales integradas conforman el diseño mecánico completo de la clasificadora de objetos, el cual se presenta en las figuras 7 y 8.

La estructura de soporte para el módulo de clasificadora de objetos se observa en la figura 9, el cual fue realizado con perfiles de aluminio de 40x40 mm.

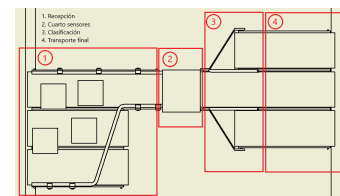


Fig. 6. Etapas del sistema mecánico de la clasificadora de objetos

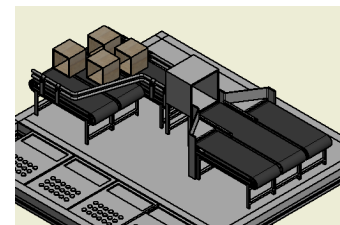


Fig. 7. Diseño 3D de sistema mecánico para la clasificadora de objetos

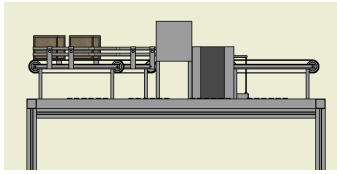


Fig. 8. Vista frontal del diseño 3D de sistema mecánico para la clasificadora de objetos

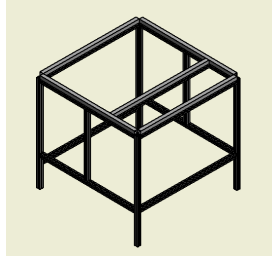


Fig. 9. Estructura de soporte para módulos de estación de procesamiento, clasificación y almacenaje de objetos

#### D. Módulo Almacenador de objetos

1) *Selección de instrumentación:* El módulo almacenador utiliza motores paso a paso y motor DC; y cada uno de ellos se conecta y controla de diferente manera, en la figura 10 se muestran las conexiones generales del motor paso a paso con los mecanismos lineales, y en la figura 11 se muestran las conexiones del gripper de vacío utilizado.

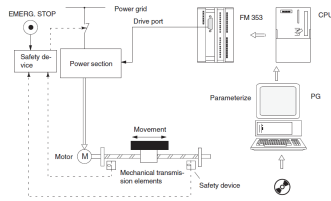


Fig. 10. Conexiones generales del motor paso a paso con los mecanismos lineales.

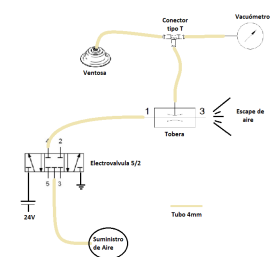


Fig. 11. Conexiones del gripper de vacío utilizado.

2) *Diseño mecánico:* Para el diseño mecánico de este módulo se basó en la elaboración de los mecanismos de movimiento en los tres ejes cartesianos, los cuales se observan en las figuras 12, 13 y 14.

El diseño final de este módulo se presenta en la figura 15, la base es una estructura hecha de perfiles de aluminio, El área

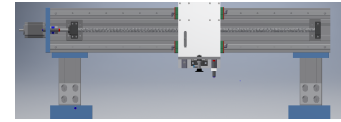


Fig. 12. Mecanismo de movimiento del eje z, módulo almacenador.



Fig. 13. Mecanismo de movimiento del eje x, módulo almacenador.

de trabajo que se posee para el módulo es de 1.25m x 1.25m. El módulo puede almacenar a una velocidad de 11 segundos por producto, para llenar el contenedor de 20 productos se tardaría 3 minutos con 40 segundos. El gripper de vacío puede levantar hasta 40.8N.

## VI. TEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

### a) Temas para curso I:

- Controladores Lógicos.
- Elementos básicos de Instrumentación/ Ventanas en Step7.
- PLCs Siemens.
- Programación Step7.
- Diagramas Eléctricos/Diagramas de Proceso.
- Interruptores y protecciones/ Caracterización.
- Errores/ configuración de Wincc.
- Ruido/ módulo AI.
- Calibración/ m
- Introducción a tableros.
- Controlador AO.

### b) Temas para curso II:

- Introducción a la Industria.
- Medición de temperatura/flujo.
- Procesamiento de Señales 1/HMI Avanzada.
- Procesamiento de Señales 2/ componentes industriales.
- Buses de Campo.
- Bloques FC, FB y DB.
- Motores.
- Arranque de Motor.
- Control VFD desde PLC.
- Sensor de Coriolis.

## VII. IMPACTO DIDÁCTICO

Teniendo en cuenta que el objetivo principal del diseño de la línea de producción a pequeña escala es el aporte al aprendizaje de los temas evaluados en los cursos de instrumentación y automatización industrial, se evaluó el impacto didáctico del sistema. Esto se realizó haciendo una comparación entre el sistema, la instrumentación incluida y su aplicación con los temas mencionados en la sección anterior.

El sistema tiene una concentración alta de instrumentación, tanto de sensores como actuadores. Al utilizarse instrumentación real aplicable en la industria, se tiene la posibilidad

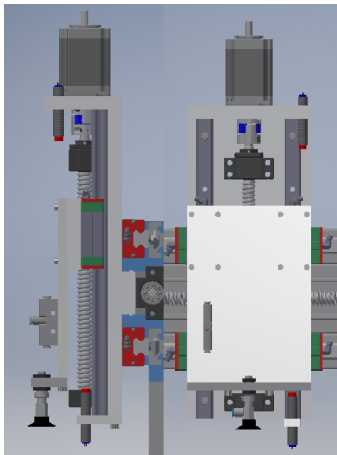


Fig. 14. Mecanismo de movimiento del eje y, modulo almacenador.

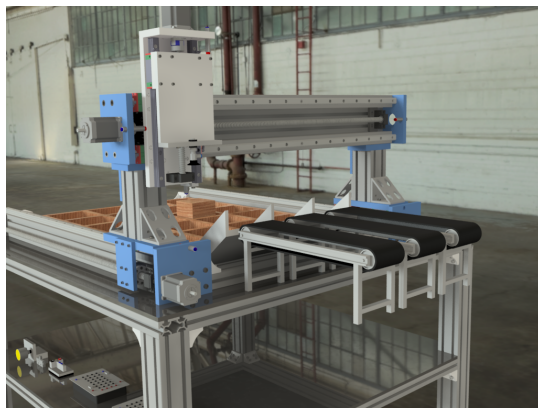


Fig. 15. Diseño de Modulo Almacenador final.

de trabajar temas de mediciones, errores, calibración y procesamiento de señales. Los cuales están incluidos dentro de los programas de los cursos.

Con el usos de sensores como la célula de pesaje o el sensor opto electrónico, se logra cumplir el manejo de la competencia de conversión de variables y acondicionamiento de señales. Puesto que se necesita de un procesamiento para obtener parámetros con el que el usuario pueda manejar e interactuar.

### VIII. COSTOS

Módulo	Costo(dólar \$)
Recirculación de Agua	\$ 5345.63
Estación de Proceamiento	\$ 4,079.56
Clasificadora de Objetos	\$ 2,854.00
Almacenadora de objetos	\$ 2,144.00
Total	\$ 14,423.19

TABLE VII

COSTO INDIVIDUAL Y TOTAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN EN DÓLARES.

### CONCLUSIONES

Hoy en día, muchas de las practicas y proyectos que se llevan a cabo en cursos donde se imparten temas como la automatización industrial, abordan muchos temas teóricos que, gracias a su simulación se logra obtener un conocimiento general de cómo podría funcionar un proceso industrial. Sin embargo, muchas veces no se poseen las herramientas adecuadas para convertirse en un curso totalmente aplicable a la industria, donde se trabaja con objetos puramente tangibles, al igual que variables del mundo real que pueden influir en el funcionamiento de algún programa.

Con esto en mente, se logro definir una integración de los diferentes módulos que conforman a la línea de producción, cada uno incorporando instrumentos electrónicos con el fin de poder interactuar con la instrumentación que se maneja en la industria actualmente. Esto dio como resultado que cada uno de los módulos pueda representar un proceso automatizado y que sirvan como herramientas didácticas que trabajen ya sea de forma individual o en conjunto.

Al mismo tiempo, se logró seleccionar cada componente eléctrico implementado en cada uno de los módulos, con base en las exigencias que demanda cada una de estas etapas, llevando una análisis ingenieril y una investigación de productos. Además, se escogieron dichos dispositivos en base a los temas vistos en el curso de instrumentación y automatización industrial para ser utilizados como objetos de pruebas que enriquezcan el conocimiento del alumno.

Por ultimo, cada uno de los módulos están abiertos a futuros cambios, al igual que la estructura ya que cuenta con la ventaja de estar construida a base de perfiles de aluminio modulares.

### REFERENCES

- [1] J. Hidalgo. "Diseño de módulo didáctico de clasificación industrial de un producto". Universidad del Valle de Guatemala. Dic. 2019.
- [2] D. Felix, "Diseño de una estación de procesamiento de piezas implementando una máquina de transferencia rotativa, sincronizado con dos mecanismos lineales de transferencia, como parte de una línea de producción automatizada"., Universidad del Valle de Guatemala, 2019.
- [3] D. Rivera "Sistema de agua de circuito cerrado didáctico"., Universidad del Valle de Guatemala, 2019.
- [4] E. Ramirez "Diseño de módulo almacenador para una línea de producción con fines didácticos"., Universidad del Valle de Guatemala, 2019.

