

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Sistema de control y diseño eléctrico para empacadora de  
producto químico seco en cajas**

Trabajo de graduación presentado por José Alejandro Rivera García  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,

2018







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Sistema de control y diseño eléctrico para empacadora de  
producto químico seco en cajas

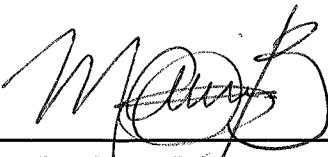
Trabajo de graduación presentado por José Alejandro Rivera García  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica

Guatemala,

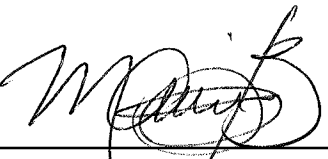
2018




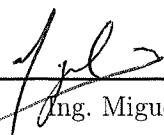
Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Mario Burbano

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Mario Burbano

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

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Miguel Zea

Fecha de aprobación: Guatemala, 7 de diciembre de 2018.





---

## Prefacio

---

El trabajo presentado a continuación fue realizado bajo la guía y supervisión del Ingeniero Mario Andrés Búrbano Castro, a quien le expreso mi agradecimiento por su paciencia, esfuerzo y dedicación en ayudarme a realizar esta investigación de manera exitosa.

A mis padres, por apoyarme en todo lo que me he propuesto en mi vida y por siempre motivarme a ser exitoso.

A mis amigos, por hacer que la vida universitaria fuera más fácil y llevadera, y por darme buenos momentos desde que los conozco.



<b>Prefacio</b>	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>X</b>
<b>Lista de cuadros</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1. Requerimientos de la empresa . . . . .	3
2.2. Investigación preliminar . . . . .	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. Diseño electrónico . . . . .	13
6.1.1. Accesorios para el funcionamiento de los sensores . . . . .	13
6.1.2. Sensores . . . . .	14
6.2. Diseño mecánico . . . . .	16
6.2.1. Neumática . . . . .	16
6.2.2. Actuadores . . . . .	18
6.3. Topologías de bus de campo . . . . .	22
6.3.1. Bus de campo ASi . . . . .	22
6.3.2. Profibus . . . . .	25

6.4. WinCC Flexible . . . . .	26
<b>7. Resultados</b>	<b>27</b>
7.1. Listado de señales y componentes eléctricos . . . . .	27
7.2. Cableado eléctrico . . . . .	37
7.3. Diagramas . . . . .	37
7.3.1. Diagrama de interconexión en módulos . . . . .	37
7.3.2. Diagrama de distribución de componentes del tablero eléctrico . . . . .	38
7.3.3. Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID) . . . . .	41
7.3.4. Diagrama unifilar de conexiones eléctricas . . . . .	42
7.3.5. Interfaz Gráfica de Usuario (HMI) . . . . .	52
7.3.6. Algoritmo principal de la máquina . . . . .	55
<b>8. Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>63</b>
<b>10. Bibliografía</b>	<b>65</b>
<b>11. Anexos</b>	<b>71</b>
11.1. Código fuente . . . . .	71
11.2. Manual de operación . . . . .	81

---

---

## Lista de figuras

---

1.	Detallado del espacio disponible para la máquina completa. . . . .	3
3.	Puente Wheatstone generado con cuatro células de carga. . . . .	15
2.	Célula de carga . . . . .	15
4.	Cálculo de capacitancia . . . . .	16
5.	Imagen explicativa del principio de Venturi para la generación de ventosas. . .	17
6.	Partes de un cilindro de simple efecto con retroceso mediante un muelle. . . .	19
7.	Partes de un cilindro de doble efecto. . . . .	19
8.	Diagrama de conexión del sistema del módulo SINAMICS V90.[17] . . . . .	21
9.	Conexiones posibles dentro de una red con interfaz de actuador-sensor. . . . .	23
10.	Red ASi mostrando segmentos unidos con repetidores.[20] . . . . .	24
11.	Red ASi mostrando segmentos unidos con repetidores.[20] . . . . .	24
12.	Estructura de las diferentes áreas dentro del programa WinCC Flexible. . . . .	26
13.	Conexión de la pantalla táctil al PLC utilizando Profibus. . . . .	26
14.	Vista en 3D del módulo 1 de la máquina. [23] . . . . .	28
15.	Vista en 3D del módulo 2 de la máquina.[24] . . . . .	28
16.	Vista en 3D del módulo 3 de la máquina.[25] . . . . .	29
17.	Vista en 3D del módulo 4 de la máquina.[26] . . . . .	30
18.	Vista en 3D del módulo 5 de la máquina.[27] . . . . .	30
19.	Detallado del espacio disponible para la máquina completa. . . . .	37
20.	Diagrama de de interconexión de módulos del sistema en general. . . . .	38
21.	Diagrama del interior del tablero eléctrico realizado en "QElectroTech". . . . .	39
22.	Diagrama de la puerta del tablero eléctrico realizado en "QElectroTech". . . . .	40
23.	Diagrama de procesos e instrumentación del sistema. . . . .	41
24.	Diagrama unifilar de potencia. . . . .	43
25.	Diagrama unifilar de disyuntores. . . . .	44
26.	Diagrama unifilar de disyuntores. . . . .	44
27.	Diagrama unifilar de módulos principales del tablero eléctrico en la máquina. .	45
28.	Diagrama unifilar de entradas y salidas del sistema. . . . .	46
29.	Diagrama unifilar de la topología de bus de campo Profibus. . . . .	47
30.	Diagrama unifilar de la topología de bus de campo ASi. . . . .	48
31.	Diagrama unifilar de componentes controlados por el usuario. . . . .	49

32.	Diagrama unifilar de control de motores. . . . .	50
33.	Diagrama unifilar de control de motores. . . . .	50
34.	Diagrama unifilar de actuadores. . . . .	51
35.	Diagrama unifilar de sensores. . . . .	52
36.	Primera imagen de pantalla para la interacción entre humano y máquina. . .	53
37.	Segunda imagen de pantalla para la interacción entre humano y máquina . . .	54
38.	Mensaje de alerta al presionar el paro de emergencia. . . . .	54
39.	Diagrama de flujo, dispensadora de bolsas . . . . .	55
40.	Diagrama de flujo, armadora de cajas . . . . .	56
41.	Diagrama de flujo, vibradora . . . . .	57
42.	Diagrama de flujo, pesadora . . . . .	58
43.	Diagrama de flujo, selladora . . . . .	59
44.	Tabla 1 de los símbolos utilizados en el código fuente . . . . .	71
45.	Tabla 2 de los símbolos utilizados en el código fuente . . . . .	72
46.	Código en PLC: imagen 1 . . . . .	73
47.	Código en PLC: imagen 2 . . . . .	74
48.	Código en PLC: imagen 3 . . . . .	75
49.	Código en PLC: imagen 4 . . . . .	76
50.	Código en PLC: imagen 5 . . . . .	77
51.	Código en PLC: imagen 6 . . . . .	78
52.	Código en PLC: imagen 7 . . . . .	79
53.	Código en PLC: imagen 8 . . . . .	80
54.	Página 1 del manual de operación. . . . .	81
55.	Página 2 del manual de operación. . . . .	82
56.	Página 3 del manual de operación. . . . .	83
57.	Página 4 del manual de operación. . . . .	84
58.	Página 5 del manual de operación. . . . .	85
59.	Página 6 del manual de operación. . . . .	86
60.	Página 7 del manual de operación. . . . .	87
61.	Página 8 del manual de operación. . . . .	88
62.	Página 9 del manual de operación. . . . .	89
63.	Página 10 del manual de operación.. . . .	90
64.	Página 11 del manual de operación. . . . .	91
65.	Página 12 del manual de operación. . . . .	92
66.	Página 13 del manual de operación. . . . .	93
67.	Página 14 del manual de operación. . . . .	94
68.	Página 15 del manual de operación. . . . .	95
69.	Página 16 del manual de operación. . . . .	96
70.	Página 17 del manual de operación.. . . .	97
71.	Página 1 del manual de operación. . . . .	98

---

Lista de cuadros

---

1.	Presentaciones de bolsas para producto . . . . .	4
2.	Descripción de los requerimientos del sistema de control de la máquina.[1] . . . . .	4
3.	Requerimientos de todo el sistema.[1] . . . . .	4
4.	Listado de señales de entrada y salida del PLC. . . . .	31
5.	Listado de componentes eléctricos . . . . .	34





Este trabajo consiste en la automatización de un proceso de empaque de bolsas de producto químico seco en cajas, para una empresa de productos químicos. El diseño de la máquina que automatizará dicho proceso inició con una visita a la empresa. En esta visita se tomaron medidas y se recolectó información necesaria para el diseño de la máquina. La información tomada indica cómo ajustar la máquina al proceso actual, que despacha las bolsas llenas de producto. Esto se hace con el propósito de minimizar la interacción del usuario con la máquina, debido al alto costo que posee el producto químico trabajado. Un requerimiento fundamental para este proceso es la adaptación a nueve diferentes tamaños de bolsas y de cajas para su embalaje. Teniendo estos datos en cuenta se procedió al diseño del sistema de control para dicha máquina.

El proceso actual para el embalaje de este producto se realiza de manera manual, desde el ordenamiento de las bolsas dentro de la caja, hasta el sellado de la misma. Esto es un grave problema debido a que se trabaja con un producto de muy alto costo por lo que se tienen pérdidas por hurtos, y se empaacan pocas cajas en un largo tiempo, significando en más pérdidas para la empresa.

El sistema propuesto consiste en: un módulo encargado de ordenar las bolsas dentro de la caja; un segundo módulo, trabajando simultáneamente al anterior, que arme las cajas y las ponga en posición para ser llenadas; un tercer módulo vibrador que ajuste el producto dentro de la caja para su correcto sellado; un cuarto módulo encargado de pesar la caja y agregar algún otro producto que se desee ingresar en las cajas (en este caso, cucharitas plásticas); y, un último módulo encargado de sellar la caja por completo.

Como resultados se obtuvieron: dos listados, el primero con las señales de entrada y salida del PLC (con su dirección correspondiente en el programa) que ayudó en la programación del código fuente, y el segundo con los componentes eléctricos que se usarán en el sistema, en donde se brinda la información más importante de cada componente; también se obtuvieron varios diagramas, un diagrama de proceso e instrumentación en donde se puede observar la conexión neumática y eléctrica que tenga relación a los actuadores del sistema, un diagrama del tablero eléctrico donde se muestran todos los componentes principales del sistema y la ubicación de los mismos, un diagrama de la topología ASi para conocer qué componentes se tienen dedicados a este bus de campo, y un diagrama unifilar de conexiones eléctricas

que detalla todas las conexiones que se deben realizar en cada uno de los componentes del sistema. También se realizó el algoritmo principal de la máquina en diagramas de flujo, en donde se describe, paso a paso, las acciones que se deben realizar para el funcionamiento de la máquina; la interfaz gráfica de usuario que se diseñó de manera sencilla e intuitiva para que el usuario la sepa utilizar sin mayor problema; y, por último, se elaboró un manual de operación de la interfaz gráfica de usuario y de lectura de diagramas para informar al usuario de cómo utilizar y conectar debidamente la máquina.

---

## Abstract

---

This work consists of the automation of a process of packaging dry chemical bags in boxes for a chemical products company. The design of the machine, that will automate this process, began with a visit to the company. During this visit, measurements were taken and information necessary for the design of the machine was collected. The information taken indicates how to adjust the machine to the current process, which dispatches the bags full of product. This is done with the purpose of minimizing the user's interaction with the machine, due to the high cost of the chemical product. A fundamental requirement for this process is the adaptation to 9 different sizes of bags and boxes for their packaging. Taking this data into account, we proceeded to design the control system for the machine.

The current process for the packaging of this product is done manually, from the ordering of the bags inside the box, to the sealing of it. This is a serious problem due to the fact that they work with a very high cost product, so there are losses due to theft, and few boxes are packed in a long time, meaning more losses for the company.

The proposed system consists of: a module in charge of ordering the bags inside the box; a second module, working simultaneously with the previous module, that assembles the boxes and puts them in position to be filled; a third vibrator module that fits the product inside the box for its correct sealing; a fourth module responsible for weighing the box and adding some other product that you want to enter (in this case, plastic spoons); and, a final module in charge of sealing the box completely.

The results obtained were: two lists, the first with the input and output signals of the PLC (with its corresponding address in the program) that helped in the programming of the source code, and the second with the electrical components that will be used in the system, where the most important information of each component is provided; also several diagrams were obtained, a process and instrumentation diagram where you can see the pneumatic and electrical connection related to the actuators of the system, a diagram of the electrical panel showing all the main components of the system and their location, a diagram of the ASi topology to know which components are dedicated to this fieldbus, and a single-line diagram of electrical connections that details all the connections that must be made in each of the components of the system. The main algorithm of the machine was also carried out in flowcharts, where it describes, step by step, the actions that must be performed for the

operation of the machine; the graphical user interface that was designed in a simple and intuitive way so that the user can use it without major problem; and finally, an graphic interface operation and diagram-reading manual was prepared to inform the user how to use and properly connect the machine.

# CAPÍTULO 1

---

## Introducción

---

En una línea de producción o embalaje dentro de una industria se necesita procesar, empacar o generar la mayor cantidad de producto en el menor tiempo posible. Esto requiere una automatización de dicho proceso, una selección adecuada de componentes, y un control y mantenimiento debidos para su mejor funcionamiento. La automatización mejorará el proceso realizado por usuarios al introducir maquinara capaz de realizar el mismo trabajo en menor tiempo. Los componentes que esta maquinaria utilice deben ser la menor cantidad posible, de manera que cada componente cumpla con alguna acción importante, y, de ser posible, se intenten generar diferentes acciones mecánicas con el mismo componente o con una poca cantidad de ellos.

En el siguiente trabajo, se genera el diseño para automatizar el proceso de embalaje de bolsas en cajas mediante la implementación de una máquina modular que se ajusta a diferentes presentaciones de tamaño de estos elementos. El ajuste de dichos elementos es debido a que en una empresa se tiende a trabajar con diferentes tamaños de productos o diferentes productos, al igual que se tiende a despachar diferentes tamaños de cajas, por lo cual, un sistema que se pueda ajustar y adaptar a las necesidades del cliente es la mejor solución que se puede obtener.



### 2.1. Requerimientos de la empresa

La implementación de la máquina dentro de la empresa implica seguir ciertos reglamentos o especificaciones de la misma ya que se desea acoplarla a un proceso ya existente. La interfaz gráfica de usuario debe ser sencilla de usar, y debe poder adaptar los procesos de la máquina para que se ajusten a los diferentes tamaños de bolsas y de cajas que trabaja la empresa.

La empresa cuenta con una máquina que ingresa el producto en polvo dentro de las bolsas y las traslada con una banda transportadora a otra sección, en donde se desea incorporar la máquina nueva, por lo que se debe acoplar a este espacio específico y a la banda transportadora que lleva el producto. La Figura 1 representa la imagen de las medidas detalladas.

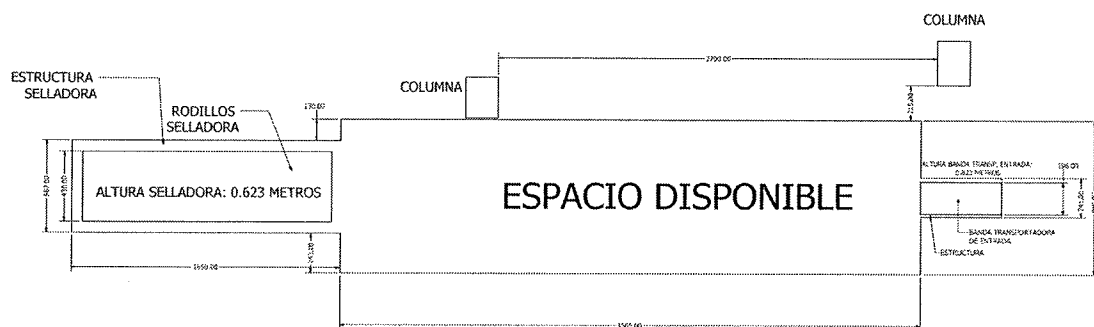


Figura 1: Detallado del espacio disponible para la máquina completa.

Primero se detallan las medidas de las bolsas en el Cuadro 1. Luego se detallan los diferentes tipos de requerimientos que se tiene en el proyecto.

Cuadro 1: Diferentes presentaciones de las bolsas de producto, tomado de una base de datos de especificaciones de la empresa BAYER S.A.

Peso tolerado	Ancho de bolsa [mm]
2kg - 750g	517
750g - 400g	425
250g	270 315
250g - 136g	305
150g - 100g	270
85g - 48g	265
52g - 13g	180
52g	135

Cuadro 2: Descripción de los requerimientos del sistema de control de la máquina.[1]

Requerimiento	Código	Descripción
Administrativo	ADM	Requerimientos de la empresa
Control de Calidad	CC	Garantizar el aumento de producción y calidad
Control y Programación	CNT	Funcionamiento de la máquina y alarmas
Eléctrico	ELEC	Planos eléctricos para el armado
Interfaz	HMI	Funcionamiento de la comunicación entre humano y máquina
Seguridad	SEG	Seguridad para los usuarios, operadores y elementos de la máquina

Cuadro 3: Requerimientos de todo el sistema.[1]

Código	Requerimiento	Prioridad
ADM - 001	Adaptación de nueve presentaciones de bolsas en la máquina.	Alta
ADM - 002	Utilización de PLC Siemens y comunicación Profibus	Alta
ADM - 003	Utilizar componentes Siemens y Festo	Alta
ADM - 004	Contadores de entrada de bolsas y salida de cajas	Alta
ADM - 005	Alarmas visuales	Alta
ADM - 006	Contadores de horas de producción	Alta
CC - 001	Detección de fallo en llenado de cajas	Alta
CC - 002	Contador de bolsas de entrada a caja	Alta
CC - 003	Sellado total de caja	Alta
CC - 004	Ingreso de productos extra en cajas (como los medidores)	Media
CC - 005	Pegado de calcomanía con información del producto	Alta
CC - 006	Contador de cajas despachadas	Media
CNT - 001	Manejo de distintos tipos de información de sensores como control de seguridad	Alta
CNT - 002	Control de ubicación de bolsas y cajas en la máquina	Media
CNT - 003	Comunicación entre módulos	Alta

*Continuado en la siguiente página*



Cuadro 3 – *Continuado de la página anterior*

Código	Requerimiento	Prioridad
ELEC – 001	Plano eléctrico	Alta
ELEC – 002	Compatible con potencia y voltaje trabajado en la empresa (24V DC)	Alta
ELEC – 003	Alimentación trifásica a motores	Alta
ELEC – 004	Disyuntores para protección general.	Alta
ELEC – 005	Guardamotores por cada motor utilizado	Alta
ELEC – 006	Componentes de control dentro del tablero	Alta
ELEC – 007	Utilización de borneras para todos los sensores	Alta
HMI – 001	Fácil operación de interfaz	Alta
HMI – 002	Manual de control de sistema	Alta
HMI – 003	Manual de operación de interfaz	Alta
HMI – 004	Manual de diseños eléctricos	Alta
HMI – 005	Despliegue de información puntual para su monitoreo	Alta
HMI – 006	Despliegue de indicaciones de inicio, pausado y paro de máquina	Alta
HMI – 007	Contador de horas de producción	Alta
SEG – 001	Paro de emergencia físico y en pantalla de interfaz	Alta
SEG – 002	Despliegue de alarmas físicamente y en interfaz	Alta

## 2.2. Investigación preliminar

La interfaz ASi es un sistema de bus estandarizado, que conecta los módulos en el nivel más bajo del proceso de automatización. Las siglas se refieren a la Interfaz de Actuador-Sensor. En este tipo de sistema de red se sustituye la, comúnmente, gran cantidad de cables por uno solo, que lleva la energía y la información. El sistema consiste en cuatro componentes: el maestro, los esclavos, la fuente de poder y el cable amarillo ASi. Cada esclavo tiene una dirección específica asignada, la cuál es usada por el maestro para intercambiar información de entrada y salida. Este tipo de traspaso de información utilizando maestros y esclavos hace que, errores en los esclavos, sean fácilmente ubicados, reemplazados y reubicados junto con el maestro. Por último, debido a su simplicidad, es posible utilizar este sistema sin un conocimiento especializado.[2]

Algunos beneficios de esta interfaz:

- Realización segura, relevante y sin ruido de las instalaciones.
- Instalación inteligente con un cable plano único.
- Operación virtualmente con todos los buses del sistema (Profibus, Profinet, Ethernet/Ip).
- Bajo costo.
- Configuración y expansión simple.
- Es una interfaz adecuada para actuadores y sensores binarios y análogos.

- Red con un amplio rango de topología y de opciones de montaje.
- Puede llegar a tener un ciclo 30 % más corto y a consumir un 50 % menos de aire.
- Necesita solamente una instalación del sistema para muchos componentes FESTO.
- Tiempo corto de instalación debido a ensamblajes flexibles.
- Programación reducida y simple.
- Diagnósticos y mantenimiento rápidos.
- Debido a la forma de fabricación del cable, previene la polaridad invertida.
- Ideal para aplicaciones neumáticas.[3] [2]

Los componentes orientados a la seguridad son fácilmente incorporados a una red ASi con el sistema “Seguro en el Trabajo”. Los componentes de seguridad y componentes normales trabajan en el mismo cable al mismo tiempo. El maestro de la red revisa los esclavos encargados de la seguridad y los incorpora en la red, como con cualquier otro esclavo. La seguridad requerida es asegurada con una señal de transmisión adicional entre los esclavos de seguridad y el monitor de seguridad. [3]

Los componentes de seguridad también pueden ser utilizados en cualquier momento para expandir el sistema existente. Un monitor y esclavos de seguridad pueden ser agregados a los componentes de la interfaz existente y operar en esta misma red. El cable de red ASi también es capaz de transmitir protocolos de seguridad. Este protocolo es utilizado en la transmisión de la señal dirigida entre los esclavos de seguridad y el monitor de seguridad. [3]

La herramienta de software utilizada para la programación de la red ASi es ASiMon, que ayuda a configurar uno y dos canales para los monitores de seguridad con computadores estándares. Este software hace lo siguiente:

- Asigna los esclavos a la salida cambiando elementos.
- Modos de operación parametrizable.
- Descarga con contraseña de archivos generados.
- Protege contra la manipulación de datos de configuración.
- Protocolo de configuración.
- Monitorea el estado del sistema en caso de error.

Puede encontrarse un trabajo similar en [4] o bien [5]

## CAPÍTULO 3

---

### Justificación

---

La empresa requiere de varios trabajadores para realizar el proceso actual de empacar las bolsas en cajas. Un trabajador lleva el control de las bolsas luego de ser llenadas, otro trabajador debe llevar paquetes de cajas desarmadas para que un segundo trabajador las arme, y un último trabajador apila las bolsas dentro de las cajas. Todo este proceso se lleva a cabo a una velocidad que no es óptima debido a la rapidez de la persona para apilar las bolsas, y el producto seco que llevan dichas bolsas es de un alto costo por lo que la interacción humana con el producto se necesita disminuir significativamente.

El sistema propuesto consiste en automatizar todo este proceso. El sistema eléctrico, los componentes de control del PLC y la interfaz gráfica de usuario son partes esenciales de dicho sistema ya que esto se encarga de que todo funcione correctamente. Con este sistema es posible minimizar la cantidad de empleados necesarios para operar la máquina, se puede llevar un control del proceso, y se puede configurar la máquina para distintas presentaciones de bolsas y/o cajas.

Una empresa siempre busca la mejor manera de optimizar sus procesos y de incrementar su eficiencia. Es por esto que la automatización de estos procesos es la mejor opción para alcanzar sus objetivos. La interacción humana es necesaria para tener un control general acerca de qué está sucediendo con la máquina, y para verificar que todo lo que está sucediendo de manera automática esté funcionando de manera óptima. Automatizar alguna línea de producción implica realizar sus procesos mediante máquinas que incrementen la velocidad y eficiencia de los mismos. Tener personal para realizar estos procesos, en lugar de una máquina, significa gastar tiempo en capacitaciones, gastar dinero en seguridad, tener el riesgo de muchos errores en el proceso y riesgo en la seguridad del personal, significa limitarse a la velocidad de un trabajador para despachar la mayor cantidad de producto posible, entre otras cosas. Por lo que una línea de producción hecha con maquinaria, que ya tiene codificado el proceso más óptimo y veloz, que no corre riesgo de cometer errores o de "lastimarse" (en condiciones normales), que necesita un mantenimiento mínimo, y que puede realizarse durante mucho tiempo continuo sin descanso, es la mejor manera de generar los mejores resultados posibles.



### 4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de control, un sistema eléctrico y una interfaz gráfica para automatizar el proceso de embalaje de una máquina empacadora de bolsas de producto químico en polvo dentro de cajas de diferentes presentaciones, de tal forma que optimice y automatice la línea de producción de la planta.

### 4.2. Objetivos específicos

- Elaborar un listado de señales de entrada y salida del PLC para facilitar la estructuración del código fuente.
- Elaborar un listado de los componentes eléctricos del sistema para facilitar la implementación del diseño propuesto.
- Elaborar un diagrama de proceso e instrumentación del sistema para facilitar la comprensión del proceso y las tareas de diagnóstico.
- Elaborar un diagrama unifilar de conexiones eléctricas para facilitar la puesta en marcha de la máquina y proveer una herramienta de diagnóstico avanzada.
- Diseñar una red AS-i para interconectar los dispositivos de campo de bajo nivel en la máquina y simplificar la implementación del diseño propuesto.
- Diseñar e implementar una interfaz gráfica de usuario (HMI) que sea intuitiva para el operador y que permita controlar las funciones básicas de la máquina.
- Implementar el algoritmo principal de control de la máquina.
- Elaborar un manual de operación de la máquina que documente las funciones básicas de operación.



## CAPÍTULO 5

---

### Alcance

---

El siguiente trabajo pretende generar un diseño, del funcionamiento y control para una máquina empacadora de producto químico seco en cajas, con el fin de poder implementar la máquina cuando se tengan los recursos para hacerlo. Se generarán los diagramas necesarios para las conexiones eléctricas y neumáticas de todos los componentes dentro del sistema, junto con la programación de la interfaz gráfica de usuario y el código fuente con el fin de tener todo preparado para poder comprar los componentes e instalarlos. No se generará la programación de los componentes que tengan interfaces especiales para su funcionamiento (como el módulo Siwarex U o Sinamics V90) debido a la falta de recursos necesarios para comprar estos componentes.





### 6.1. Diseño electrónico

#### 6.1.1. Accesorios para el funcionamiento de los sensores

##### Siwarex U

SIWAREX U es un módulo versátil y flexible utilizado para el peso de objetos. La integración de este módulo con Simatic ayuda a que los valores obtenidos de la medición del peso de un objeto se transfieran directamente al programa del PLC, indicando que las conversiones del peso y la medición de esta variable se realiza en este módulo. [6]

- Información del operador

Para poder configurar al módulo de manera que sea funcional para la máquina deseada se debe utilizar la herramienta SIWATOOL U; al instalarla, el programa inicia en la vista de escala. En esta escala se pueden realizar operaciones y monitoreos del peso que se esté midiendo en alguno de los sensores conectados en este módulo. En la sección de "Menú", el operador puede controlar y observar diferentes opciones, unas cuantas mostradas a continuación:

- Ajuste de escala del canal 1: Se puede observar si el canal está activo, se controla si se desea guardar en la EEPROM, el rango de valores característicos, el punto decimal desplegado para cada valor, la frecuencia límite para el filtro pasa bajas, la unidad en la que se desea medir, y opciones para calibrar el canal.
- Valores límite para la escala: Se seleccionan los límites para cada uno de los canales de medición.

- Parámetros generales e información del módulo: Despliega datos como el número del módulo, parámetros de la interfaz, cantidad de canales utilizados, entre otros.[6]

## Distribuidor activo ASi

El distribuidor activo ASi permite adaptar cualquier sensor o actuador al bus de campo ASi. Esto es necesario ya que el bus maneja solamente un cable con energía y traspaso de información por lo cual es necesario tener algún componente que logre conectar diferentes cables de algún sensor o actuador a este bus de campo. El propósito de utilizar este componente en el sistema propuesto es adaptar los sensores capacitivos de 3 hilos al bus de campo ASi para disminuir la complejidad de la red de comunicación entre el PLC y la máquina. [7]

La empresa Bihl + Wiedemann creó un video corto en el cual explican cómo funciona de forma muy general este componente. El enlace para el video se encuentra en la sección de bibliografía.[8]

### 6.1.2. Sensores

#### Células de carga

Las células de carga son sensores de medición que convierten una magnitud mecánica, representada como el peso de un objeto, en una señal eléctrica normalmente como voltaje. Las células de carga utilizadas en este trabajo son las de las series SIWAREX WL200. Estas operan por galgas extensiométricas(GEX), que consisten en unos conductores eléctricos con forma especial que están aislados con un material adecuado, y están instrumentadas en un cuerpo elástico especial. [9] La forma en que estas células funcionan es que, al aplicarle una fuerza en un extremo (Figura 2), el cuerpo elástico se deforma y la galga extensiométrica que se encuentra en el punto de deformación también presenta cambios que pueden ser medidos. El cambio de la forma exterior de la galga cambia el valor de la resistividad de su conductor. La galga superior izquierda y la galga inferior derecha se comprimen y su capa resistiva se acorta, que a su vez hace que su resistividad disminuya. La galga superior derecha y la inferior izquierda se estiran y su capa resistiva se expande por lo que su resistividad incrementa. Estas diferencias son las que se interpretan como un peso del objeto que está aplicando dicha fuerza. [9]

Cada célula de carga tiene como mínimo 4 galgas extensiométricas interconectadas ya que estas generan un puente Wheatstone completo (Figura 3). Las galgas estiradas o comprimidas están interconectadas, sumándose los cambios de resistividad positivos o negativos y dan como resultado un desequilibrio activo del puente. En una de las diagonales del puente está aplicado el voltaje de alimentación y en la otra diagonal se mide la diferencia de potencial.

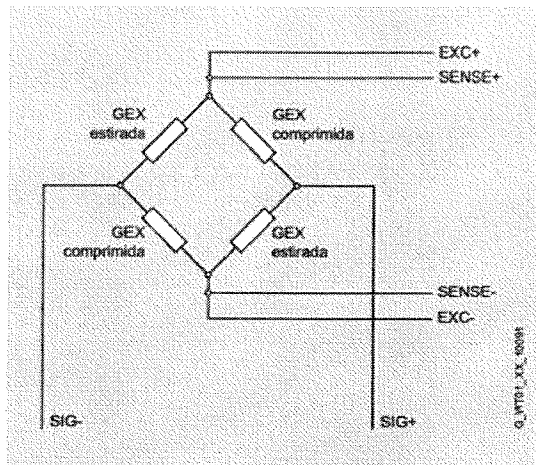


Figura 3: Puente Wheatstone generado con cuatro células de carga.

La célula de carga SIWAREX WL260 SP-S AA es apta para básculas de plataforma pequeñas con una célula de carga y para el uso con básculas comerciales. [9] Es por esta razón que se decidió utilizar éste tipo de célula en esta funcionalidad, ya que se desea utilizar para una báscula de plataforma para pesar una caja que no excederá de un peso muy grande.

### Sensores capacitivos

Los transmisores de posición (Sensores capacitivos) se utilizan para la recolección de la posición de algún objeto sin tener la necesidad de tocarlo. Los sensores capacitivos operan igual que los sensores inductivos, pero con la diferencia que éstos pueden detectar materiales como plásticos, líquidos, granulados, etc. La sensibilidad de estos sensores depende de las características del material del objeto, como de su constante dieléctrica. Estas características influyen en la distancia de detección y en el punto de conmutación del sensor. [10]

El sensor capacitivo CBN10-F46-E2 funciona como normalmente abierto (es un tipo PNP) y tiene una distancia de conmutación de medición de 10mm. Es un sensor rectangular

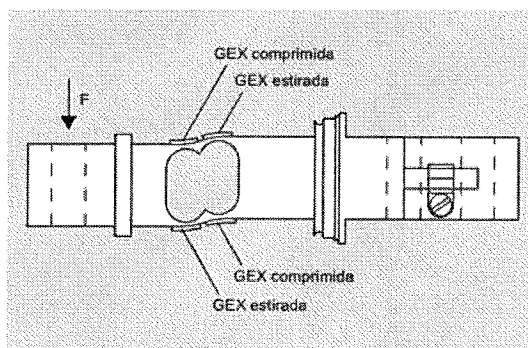


Figura 2: Célula de carga con varilla flexible cuando una fuerza se le está aplicando en un extremo.

que se atornilla a la sección donde se desea detectar el objeto. [10]

Los sensores capacitivos miden un cambio en la capacitancia que es causada por la aproximación de un objeto al campo eléctrico de un capacitor. Dos placas pequeñas que forman un capacitor están ubicadas directamente detrás del frente del sensor y cuando un objeto se aproxima a estas placas, la constante dieléctrica del capacitor cambia, que a su vez cambia la frecuencia del oscilador del sensor que activa la salida del mismo (Figura 4). Un sensor capacitivo detecta todos los materiales que son buenos conductores y aislantes que tienen una constante dieléctrica mayor a 1.2. Entre más grande sea la constante dieléctrica del objeto a detectar, más sensible será el sensor. [11]

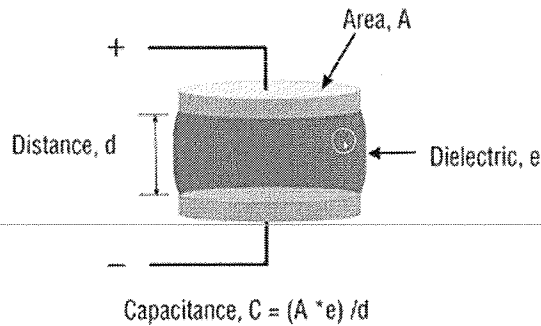


Figura 4: Cálculo de la capacitancia de un capacitor donde se muestra la distancia  $d$  entre las placas metálicas, el área  $A$  de cada placa, la capacitancia  $C$  y la constante dieléctrica  $e$ .

## Finales de carrera

Un final de carrera es un interruptor que se acciona mediante distintos procesos, y que se ubica al final del recorrido de un proceso o de un elemento que realiza un proceso. Pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados. Funciona como un interruptor normal ya que se presiona el interruptor (mediante una acción manual como con el vástago de un cilindro neumático por ejemplo) y se genera una conexión o se interrumpe la conexión al generar este proceso. [12]

## 6.2. Diseño mecánico

### 6.2.1. Neumática

#### Propiedades importantes

- Compresibilidad

Esta propiedad indica que el aire, encerrado dentro de un recipiente con cierto volumen  $V_0$ , puede ser reducido a un valor de volumen mínimo  $V_f$  gracias a esta característica. El aire permite reducir su volumen cuanto está siendo afectado por una fuerza exterior.[13]

- Elasticidad

Esta propiedad permite que el aire vuelva a su volumen inicial al ser removido de la fuerza exterior responsable de la reducción del volumen.[13]

- Difusibilidad

Propiedad que le permite al aire mezclarse homogéneamente con cualquier medio gaseoso que no esté saturado de cualquier gas.[13]

- Expansibilidad

Propiedad que le permite al aire ocupar totalmente el volumen de un recipiente, y por ende adquiriendo su forma pero disminuyendo su densidad.[13]

### Generadores de vacío

Para hacer funcionar ventosas en un proceso industrial se utiliza el principio de Venturi. Esto consiste en hacer fluir el aire comprimido por un tubo en el cual una reducción en el tamaño del tubo genera un estrangulamiento al paso del aire. Esto genera un aumento de flujo de aire que a su vez provoca una caída de presión. Esto, al crear un orificio externo, sufrirá una depresión provocada por el paso del aire comprimido, creando así un vacío temporal en el orificio donde es colocada la ventosa. En la Figura 5 se observa el proceso general.[13]

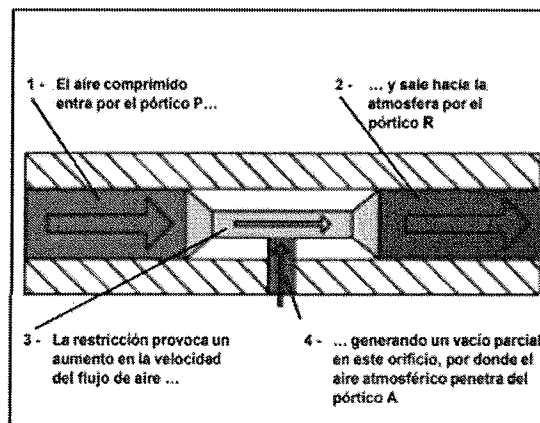


Figura 5: Imagen explicativa del principio de Venturi para la generación de ventosas.

### Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son aquellos que realizan fuerza hacia un sentido gracias a la ayuda de aire comprimido. Existen varios tipos según el tipo de movimiento que generan [13].

- Lineales

Los actuadores lineales están compuestos por componentes que convierten energía neumática en movimiento lineal o angular. Son principalmente representados por cilindros neumáticos.[13].

- Rotativos

Los actuadores rotativos son aquellos que convierten energía neumática en energía mecánica con un momento torsor continuo. [13].

- Oscilantes

Los actuadores oscilantes convierten energía neumática en energía mecánica, diferenciándose de los rotativos por el momento torsor limitado por un número de grados [13].

## 6.2.2. Actuadores

### Cilindros neumáticos

Un cilindro neumático es un mecanismo que transforma energía acumulada en el aire comprimido, en energía mecánica para un movimiento rectilíneo. Es un elemento muy utilizado en las industrias y tiene muchas formas diferentes de aplicación. Es un tubo de sección circular, cerrado por ambos extremos, en cuyo interior se desliza un émbolo solidario con un vástago que atraviesa uno de los extremos. Este émbolo divide al cilindro en dos secciones llamadas cámaras (en donde ingresa el aire), y existen dos aberturas en las cámaras por donde entra y sale aire. [14]

Entre los cilindros neumáticos más utilizados se tienen los cilindros de simple efecto y los de doble efecto, que son los que se utilizan en esta máquina.

- Cilindros de simple efecto (Figura 6): El desplazamiento de este cilindro tiene lugar en un sólo sentido (hacia adelante) por lo que en este tipo de cilindros es necesario regresar el vástago de alguna manera a la posición original. Al aplicar aire comprimido para hacer avanzar el cilindro, la fuerza solamente se aplica hacia esta dirección. Una forma común de realizar el retroceso del vástago es mediante la incorporación de un muelle que se encuentra situado en el interior del cilindro (resorte), pero también existen sin muelle en los que el retroceso se realiza por el peso del mismo émbolo o por alguna acción de la máquina. [14]

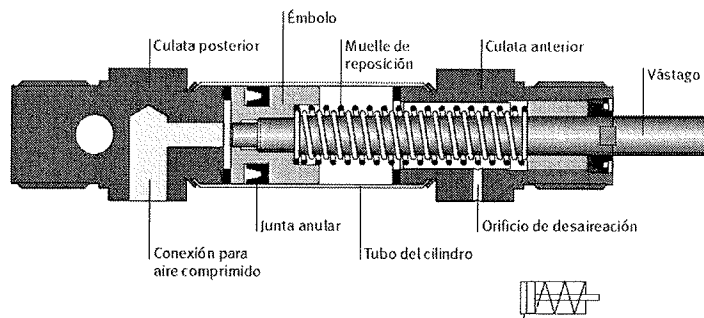


Figura 6: Partes de un cilindro de simple efecto con retroceso mediante un muelle.

- Cilindros de doble efecto (Figura 7): En los cilindros de doble efecto existen dos tomas de aire, una en cada lado del émbolo. Estos cilindros tienen la capacidad de hacer fuerza hacia ambas direcciones del vástago, avance y retroceso. La carrera de estos cilindros puede ser muy larga pero hay que tomar en cuenta la posición de pandeo del vástago en su posición extrema ya que esta posición determinará el largo de la carrera. Cuando la velocidad de los cilindros es muy grande se emplean dispositivos especiales para amortiguar los finales de carrera, denominándose cilindros con amortiguación interna. En estos cilindros de doble efecto la fuerza en el avance es diferente a la equivalente en el retroceso ya que las superficies efectivas sobre las cuales actúa la presión del aire son distintas en cada caso. [14]

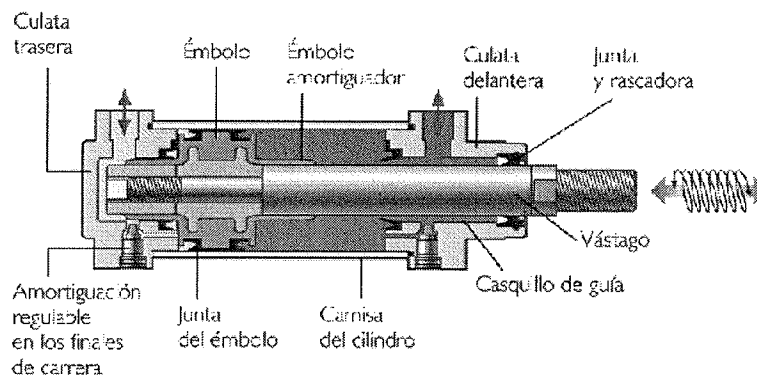


Figura 7: Partes de un cilindro de doble efecto.

### Motores trifásicos

Un motor eléctrico trifásico es aquel que transforma energía eléctrica en energía mecánica rotacional por medio de interacciones electromagnéticas. Se fabrican en muchas potencias, desde una fracción de caballo de fuerza hasta varios miles de caballos de fuerza. Cuando la corriente atraviesa los arrollamientos de las tres fases del motor, en el estator se origina un campo magnético que induce corriente en las barras del rotor. Luego esta corriente da origen a un flujo que, al reaccionar con el flujo del campo magnético generado por el estator,

origina el movimiento del rotor, el cual es continuo de la corriente alterna trifásica. [15]

- Partes del motor trifásico
  - El estator: está constituido por un enchapado de hierro al silicio, introducido a presión, entre una carcasa de hierro colado. El enchapado es ranurado, que sirve para insertar las bobinas, que a su vez se construyen con alambre de cobre de diferentes diámetros.[15]
  - El rotor: es la parte móvil del motor. Está formado por el eje, el enchapado y unas barras de cobre o aluminio unidas en los extremos con tornillos. [15]
  - Los escudos: están hechos con hierro colado. En el centro tienen cavidades donde se incrustan cojinetes de bolsas sobre los cuales descansa el eje del rotor. [15]

## Servomotores

Un servomotor es un motor eléctrico al que se le puede controlar la velocidad y la posición del eje. Normalmente, los servomotores solamente giran hasta un ángulo de  $180^\circ$  hacia la izquierda o hacia la derecha. Las características principales de un servomotor son el par y la velocidad[16]:

- El par es la fuerza que puede realizar su eje, llamado también torque. Cuando mayor es el torque, mayor es la corriente de consumo del servo. [16]
- La velocidad es qué tan rápido se puede mover sobre su eje, en una dirección angular.[16]

Un servomotor es un sistema compuesto por:

- Un motor eléctrico: Es el encargado de generar el movimiento a través de su eje. [16]
- Un sistema de regulación: Formado por engranajes que actúan sobre el motor para regular su velocidad, y el torque. Mediante estos engranajes se puede aumentar la velocidad y el torque. [16]
- Un potenciómetro: Está conectado al eje central del motor, que nos permite saber el ángulo en el que se encuentra el eje del motor. [16]

## Sinamics V90

El módulo Sinamics V90 es un dispositivo que permite controlar la posición, torque y velocidad de un Servomotor industrial, y se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones mediante un tren de pulsos o la interfaz PROFINET.[17]

En la siguiente imagen se puede observar la conexión del sistema necesaria para que el módulo sea funcional, en las versiones con el tren de pulsos y el cable PROFINET.



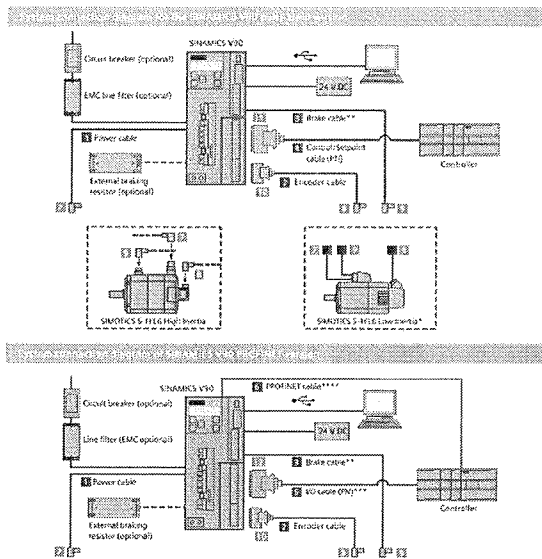


Figura 8: Diagrama de conexión del sistema del módulo SINAMICS V90.[17]

1. Cable de poder
2. Cable para el codificador
3. Cable para el disyuntor
4. Cable para control (versión de tren de pulsos)
5. Cable de entrada/salida (versión con PROFINET)
6. Cable PROFINET
7. Conexión de poder (lado del motor)
8. Conexión para el codificador (lado del motor)
9. Conexión para el disyuntor (lado del motor)
10. Conexión para el codificador (lado del módulo)
11. Conexión del punto de referencia (Versión de tren de pulsos)
12. Conexión de entrada/salida (versión con PROFINET)[17]

Algunas características del módulo que son de utilidad se listan a continuación:

- El módulo tiene modos de control integrados para direccionar una amplia variedad de aplicaciones.
- La versión con el cable PROFINET contiene una interfaz para esta característica, habilitando transmisiones de tiempo real de datos.

- Es posible el posicionamiento de punto a punto utilizando el módulo junto a un PLC, sin que este tenga esta funcionalidad de posicionamiento.
- La mayoría de las aplicaciones se pueden realizar sin la necesidad de una resistencia de frenado adicional.
- El freno de sostén puede ser conectado sin la necesidad de un relé externo.
- Se puede alcanzar un rendimiento dinámico bastante alto y con un funcionamiento limpio en muchas aplicaciones con los parámetros de control cíclicos.
- Contiene una función de supresión automática de resonancia de la máquina que permite una respuesta dinámica elevada de la máquina reduciendo los niveles de vibración.
- El codificador está disponible hasta en una resolución de 21 bits, permitiendo que las máquinas logren una precisión de posicionamiento elevada con una ondulación de baja velocidad.
- Tiene un rendimiento alto, con una rápida aceleración y frenado mientras mantiene un funcionamiento suave para asegurar una alta productividad.
- Es fácil de usar ya que los servos solo se deben conectar, no se debe conocer mucho de ellos para poderlos utilizar.
- Es resistente a ambientes duros (ambientes muy fríos o calientes, o a inestabilidad en la línea de alimentación).
- Tiene integrado una función de paro continuo y seguro del torque del motor (con el objetivo de no parar el servomotor de golpe)[17]

## 6.3. Topologías de bus de campo

### 6.3.1. Bus de campo ASi

#### Definición del bus de campo ASi

La interfaz de actuadores y sensores (ASi por sus siglas en inglés) se refiere al sistema inteligente de cableado, que es utilizado para suplantar todos los cables que conectan el PLC con los sensores y actuadores. Provee solamente un cable de información y de poder; fácil de conectar, fácil de entender y eficiente.[18]

#### Implementación de una red ASi

Existen varias formas de implementar una red ASi, a continuación se enumeran algunas:

1. Usar un maestro serial de enlace estándar: Esta es la opción menos económica, pero con el menor tiempo. Para esta opción, el maestro debe respaldar un protocolo serial de

comunicación como el Modbus o ASCII. También deben tener un footprint adicional, una gran desventaja.

2. Usar un PCB ASi: El dispositivo debe usar señales estándar.
3. Hacerlo uno mismo: No hacerlo en casa debido al alto costo y alto riesgo de alcanzar un esfuerzo interno.

### Conexión de una red ASi

Una red ASi se puede conectar de dos formas. La primera es la conexión directa, donde el maestro es parte de un PLC siendo ejecutado dentro de los tiempos de los ciclos determinados por estos dispositivos. La segunda es la conexión a través de un acoplador (Gateway) entre una red de más alto nivel y la red ASi. Algunos acopladores para otras redes de campo son: Profibus, Interbus, FIP, DeviceNet, CAN, etc. [19]

Una red ASi conecta el maestro con sus esclavos; cada esclavo puede tener hasta 4 entradas y 4 salidas en un ciclo de bus. [18]

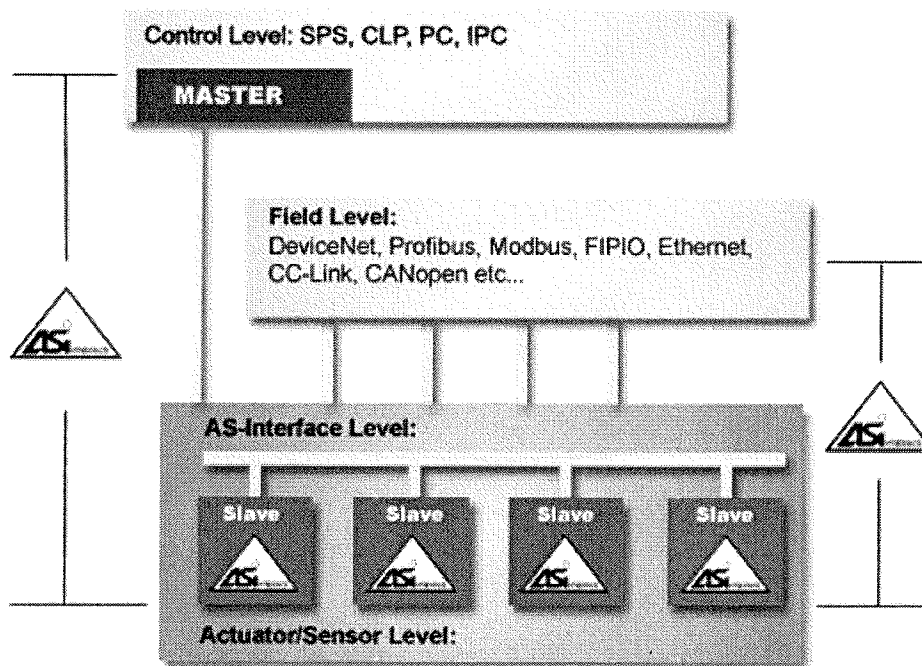


Figura 9: Conexiones posibles dentro de una red con interfaz de actuador-sensor.

### Limitaciones de una red ASi

Una red ASi no debe exceder los 100m del total de cable, sin incluir el cableado utilizado entre los sensores y actuadores y los módulos de entradas y salidas. Tampoco se debe tener una ramificación de la red con más de dos repetidores conectados.[20]

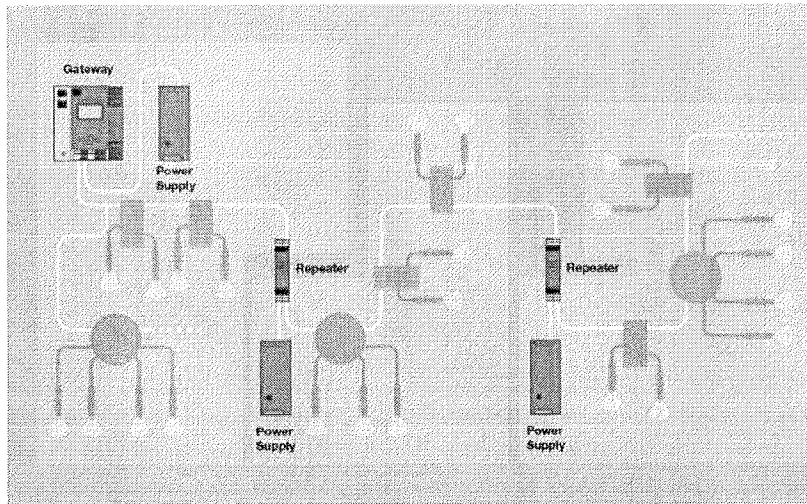


Figura 10: Red ASi mostrando segmentos unidos con repetidores.[20]

La Figura 10 muestra una red formada de 3 segmentos, entre cada uno de los segmentos se agregan repetidores debido a que el segmento puede llegar a los 100m y es necesario agregar un repetidor para que la señal no se pierda. También se observa que cada segmento debe tener una fuente de poder.[20]

En este ejemplo, la red puede ser de hasta 300m de largo, 100m por cada segmento utilizado. Esto se debe realizar con ciertos cuidados: agregar repetidores y redes más largas solo agrega un tiempo de retraso por lo que es necesario hacer redes segmentadas con simetría, como se muestra en la Figura 11, en donde el maestro (Gateway) se encuentra en medio con 2 segmentos a cada uno de los lados y en donde se respeta la regla de no tener más de dos repetidores en una sola ramificación.[20]

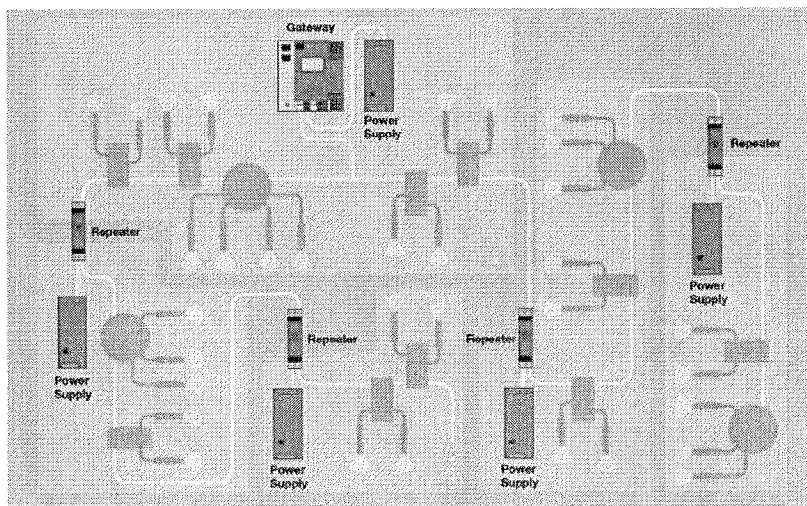


Figura 11: Red ASi mostrando segmentos unidos con repetidores.[20]

### 6.3.2. Profibus

#### Definición del estándar PROFIBUS

PROFIBUS se refiere a un estándar de comunicaciones para buses de campo. Es el líder mundial en redes multifuncionales de célula y campo. [21] Actualmente, el estándar PROFIBUS se utiliza para conectar dispositivos que requieren un mayor paso de información para su funcionamiento correcto, como por ejemplo módulos especiales como el módulo maestro para conectar dispositivos ASi, o una pantalla táctil para mostrar una HMI al usuario, o un variador de frecuencia para el controlador de la velocidad de ciertos motores.

#### Características

Algunas de las características especiales que tiene este estándar se listan a continuación:

- Es una red y un estándar abiertos.
- Tiene una amplia gama de componentes y sistemas en el mercado.
- Es el líder de mercado en buses de campo.
- Es soportado por los fabricantes de PLCs más importantes y conocidos.
- Es una red de célula y de campo bastante económica.
- Tiene un alto nivel de seguridad de los datos.
- Es un sistema con interfaces diseñadas para una amplia gama de necesidades. [21]

#### Norma PROFIBUS

La norma utilizada para este estándar es la DIN 19245 parte 1 y 2. La Parte 1 trata la capa física (PHY) y de enlace (FDL), aseguran una correcta transmisión de datos y no importa el significado de los mismos. La parte 2 trata la capa de aplicación. Esta norma está basada en MMS y la Norma ISO 9506.[21] Algunas características de esta norma son:

- Tiene velocidades de transmisión de 9.6, 19.2, 93.75, 187.5 y 500 KBaudios
- Soporta un número máximo de estaciones, 127, de las cuáles solamente 32 soporta sin el uso de repetidores.
- Puede utilizarse un cableado par trenzado con o sin apantallamiento.
- Utiliza una transmisión de datos asíncrona u orientada a caracteres de 11 bits.

## 6.4. WinCC Flexible

WinCC Flexible es el software HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial con proyección de futuro y una ingeniería sencilla y eficaz.[22] Es una plataforma sencilla de usar, con bastantes opciones interactivas y amigables al usuario, en donde las opciones son fáciles de entender y los resultados son los esperados. Es sencillo, claro y flexible. En la Figura 12 se puede observar que el programa es bastante amigable al usuario y está bastante ordenado para que sea más fácil su utilización.

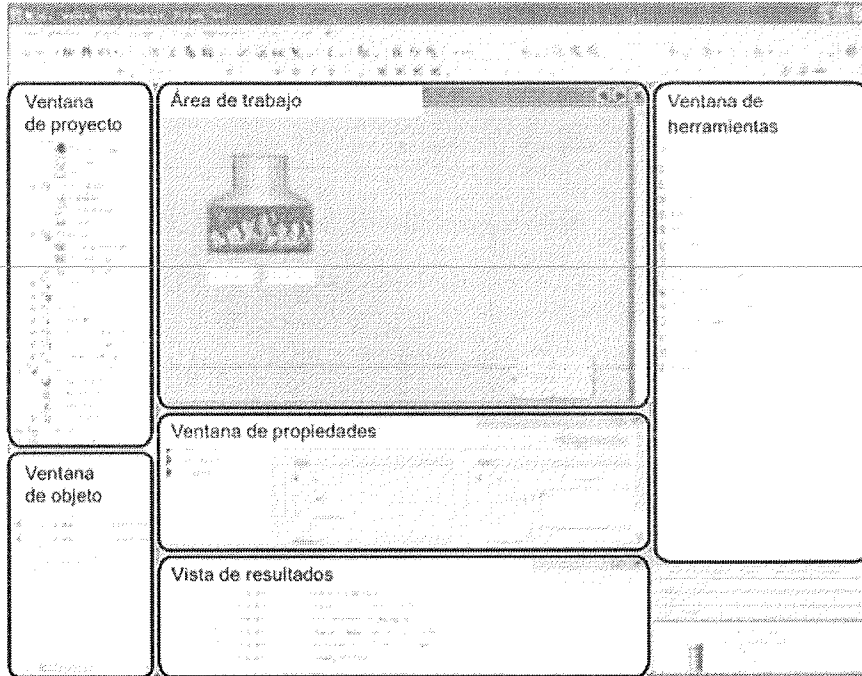


Figura 12: Estructura de las diferentes áreas dentro del programa WinCC Flexible.

La conexión de la pantalla al PLC se hace mediante el cable Profibus (Figura 13). De esta forma se genera una conexión sencilla y eficiente entre estos dos componentes y dentro de la programación de la pantalla y del PLC se debe realizar esta conexión para habilitar la comunicación del PLC a la pantalla y de la pantalla al PLC.

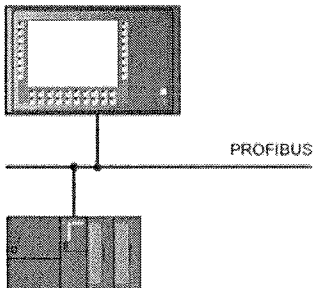


Figura 13: Conexión de la pantalla táctil al PLC utilizando Profibus.

### 7.1. Listado de señales y componentes eléctricos

En los Cuadros 4 y 5 se detallan todos los componentes a utilizar en el sistema propuesto, junto con información acerca de las señales de entrada y salida de cada uno de los actuadores y sensores utilizados en la máquina para conocer qué acción realizará cada componente y en qué dirección del PLC se encontrará cada variable.

Para poder realizar el Cuadro4 se inició colocando los componentes que se necesitaban por cada uno de los módulos, utilizando un diseño previo de cada uno de ellos para conocer los movimientos que debía hacer la máquina. Para esto se tomó el diseño mecánico de cada uno de los módulos y se observó el tipo de movimiento que debía realizar cada elemento.

En el primer módulo, el dispensador de bolsas que se muestra en la Figura 14, se necesita mover una plataforma en el eje X y el eje Y de un plano, este movimiento debe ser preciso para poder dispensar las bolsas en una ubicación deseada. Se determinó que el servomotor es el tipo de motor más adecuado para esto ya que se puede generar un movimiento lineal, de forma mecánica, y se puede controlar su posición. También es necesario abrir dos solapas de la plataforma móvil, mediante un mismo mecanismo, que deje caer la bolsa al llegar a la posición deseada. Este movimiento se puede lograr mediante un cilindro neumático que esté en la plataforma. También es necesario empujar la caja cuando esta ya esté llena de producto, esto se puede lograr mediante un cilindro neumático que empuje la caja fuera del módulo hacia la banda transportadora. La banda que transporta la caja llena al siguiente módulo (el de vibración) se activa mediante dos motores trifásicos que usan la misma señal de inicio. Por último, es necesario contar con una electroválvula por cada uno de los cilindros neumáticos, un sensor capacitivo que detecte la posición final del vástago de cada uno de los cilindros; se necesitan otros sensores capacitivos para detectar la caja cuando esta llegue a la posición inicial del módulo y para detectar la presencia de una bolsa sobre la plataforma

de dispensación para poder proceder a llevarla a la posición deseada.

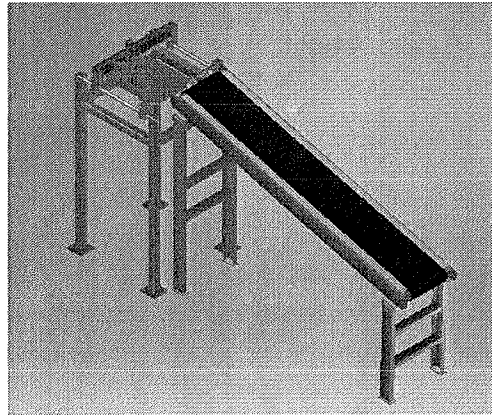


Figura 14: Vista en 3D del módulo 1 de la máquina. [23]

El segundo módulo, el armador de cajas que se muestra en la Figura 15, tiene una sección donde se apila un grupo de cajas desarmadas, llamada tolva, en donde es necesario tener la caja en la posición final para poderla tomar mediante válvulas de succión; este movimiento se logra con un servomotor y una cadena, el servomotor mueve una posición a la vez todas las cajas gracias a la cadena, y cuando se detecta que la caja ya está en la posición deseada (mediante un sensor capacitivo) deja de moverse. Luego de tener la caja lista se debe sujetar e "introducir" al módulo, esto se logra con un cilindro neumático unido a un cabezal de ventosas, cuando se tiene la señal de del sensor capacitivo se activa la electroválvula del cilindro con el cabezal y se activa la electroválvula del cabezal para generar la succión y sujetar la caja. Luego de tener la caja sujeta con el cabezal de ventosas se debe cerrar la solapa inferior que se encuentra opuesta a la banda transportadora ya que las otras solapas se pueden cerrar mediante un mecanismo mecánico y esta solapa no puede cerrarse de esa manera. Este movimiento se logra mediante una "patada" realizada con un cilindro neumático y su respectiva electroválvula. Luego de hacer este movimiento se debe cerrar las otras solapas, lo cual se hace al mismo tiempo que se empuja la caja fuera del módulo con otro cilindro neumático.

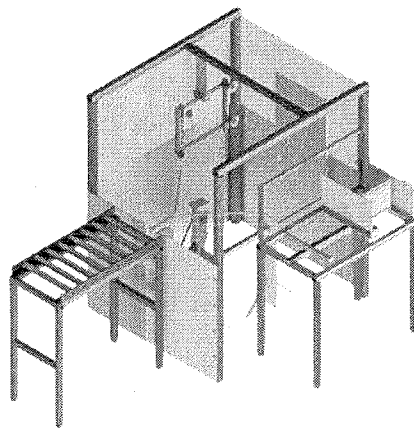


Figura 15: Vista en 3D del módulo 2 de la máquina.[24]



Para el módulo 3, la máquina vibradora que se muestra en la Figura 16, se debe detectar cuando la caja esté en posición ya que se debe ajustar en el módulo, ya que se tienen diferentes presentaciones de cajas. Esto se detecta con un sensor capacitivo y la caja se ajusta con dos cilindros neumáticos. Al tener la caja en posición se procede a hacerla vibrar para que el contenido de la caja no interfiera con el módulo de cierre de caja. Esto se debe a que el producto es polvo en bolsas, y este tiende a acumularse en un mismo punto en lugar de esparcirse homogéneamente en toda la bolsa. Luego que el producto se vibra, se expulsa la caja del módulo con otro cilindro neumático.

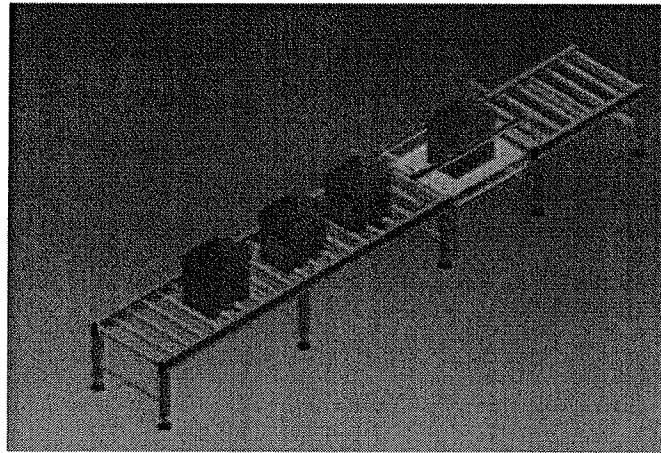


Figura 16: Vista en 3D del módulo 3 de la máquina.[25]

En el módulo 4, el de pesaje y dispensador de cucharitas que se muestra en la Figura 17, se necesita pesar la caja entera con todo su producto ya que este dato es solicitado por la empresa. Esto se realiza con dos cilindros neumáticos que se encuentran debajo del módulo y que levantan la caja junto con dos sensores de peso que toman el dato. Para poder realizar este movimiento es necesario que la caja no se mueva en su módulo por lo que se debe desactivar la banda transportadora del módulo. Al hacer esto se corre el riesgo que otra caja llegue al módulo antes de tiempo e interrumpa el pesaje. Por esto se agregan dos cilindros neumáticos con el propósito de generar una “barrera” que no deje pasar otras cajas al módulo. A estos últimos cilindros, se les conoce su posición con finales de carrera, no con sensores capacitivos ya que en esta sección sí se puede ajustar fácilmente un final de carrera en una posición fija. También se debe agregar un paquete con cucharitas a la caja pesada (esto solamente si se determina anteriormente que se desea dispensar un paquete de cucharitas) y para esto se debe levantar una rampa que hará que las cucharitas caigan en un cilindro con muescas, el cual será controlado con un servo y un sensor capacitivo ya que se desea hacer caer solamente un paquete de cucharitas (que se detectará con el sensor) y el cilindro se girará con el servo ya que solo debe ser capaz de moverse un poco para dejar caer un paquete.

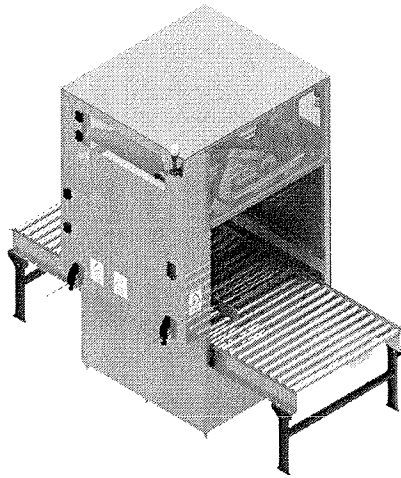


Figura 17: Vista en 3D del módulo 4 de la máquina.[26]

En el módulo 5, el sellador que se muestra en la Figura 18, debe ser capaz de cerrar la caja completamente (con cinta adhesiva). Para esto se debe detectar que la caja ingresa al módulo (mediante un sensor capacitivo) y generar el mismo movimiento de patada que en el modulo 2 pero con la solapa superior. Y se cierran las otras tres solapas de la misma manera que en el modulo 2 (con un mecanismo mecánico) solamente con empujar la caja fuera del módulo con otro cilindro neumático. La cinta adhesiva se agrega con otro mecanismos que se encuentra dentro del módulo pero no es necesario utilizar ningún sensor o actuador para esta parte.

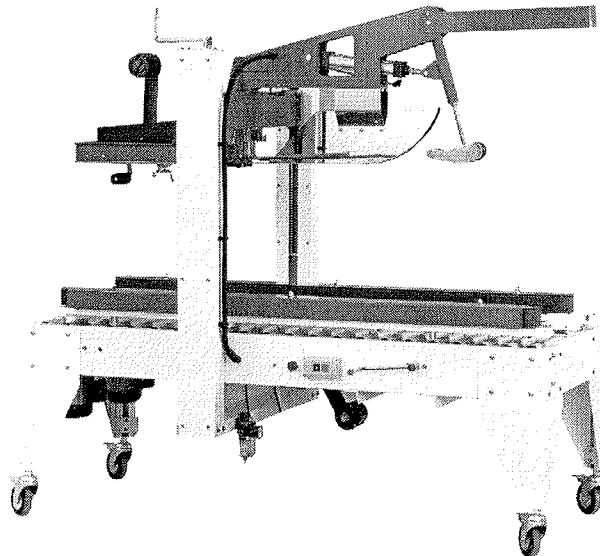


Figura 18: Vista en 3D del módulo 5 de la máquina.[27]

Cuadro 4: Listado de señales de entrada y salida del PLC.

Dirección	Tipo de señal	Identificador	Descripción
QD 272	AO	Servo1	Módulo 1, servomotor, movimiento eje X de la plataforma
QD 276	AO	Servo2	Módulo 1, servomotor, movimiento eje Y de la plataforma
Q 12.0	DO	MotoresAC1	Módulo 1, 2 motores AC, banda módulo 1 a módulo 3
M 27.2	DO	Mod1EV1	Módulo 1, electroválvula, cilindro que activa solapa caja
M 27.4	DO	Mod1EV2	Módulo 1, electroválvula, cilindro de empuje de caja
M 27.0	DI	Mod1Cap1	Módulo 1, sensor capacitivo, caja lista para ser llenada
M 27.1	DI	Mod1Cap2	Módulo 1, sensor capacitivo, bolsa en dispensador
M 27.3	DI	Mod1Cap3	Módulo 1, sensor capacitivo, sensor para cilindro 1
M 27.5	DI	Mod1Cap4	Módulo 1, sensor capacitivo, sensor para cilindro 2
QD 280	AO	Servo3	Módulo 2, servomotor, motor con cadena para tolva
Q 12.1	DO	MotoresAC2	Módulo 2, 2 motores AC, banda módulo 2 a módulo 1
M 28.3	DO	Mod2EV1	Módulo 2, electroválvula, cilindro cabezal con ventosas
M 28.4	DO	Mod2EV2	Módulo 2, electroválvula, válvulas de succión
M 28.5	DO	Mod2EV3	Módulo 2, electroválvula, cilindro de patada
M 28.6	DO	Mod2EV4	Módulo 2, electroválvula, cilindro de expulsión
M 27.6	DI	Mod2Cap1	Módulo 2, sensor capacitivo, tolva vacía o llena
M 27.7	DI	Mod2Cap2	Módulo 2, sensor capacitivo, cajas final de tolva
M 28.0	DI	Mod2Cap3	Módulo 2, sensor capacitivo, sensor para cilindro 1
M 28.1	DI	Mod2Cap4	Módulo 2, sensor capacitivo, sensor para cilindro 2
M 28.2	DI	Mod2Cap5	Módulo 2, sensor capacitivo, sensor para cilindro 3
Q 12.2	DO	MotoresAC3	Módulo 3, 2 motores AC, banda módulo 3 a módulo 4
Q 12.5	DO	MotoresDC	Módulo 3, 2 motores AC, vibradores
M 29.3	DO	Mod3EV1	Módulo 3, electroválvula, cilindros para ajuste de caja
M 29.4	DO	Mod3EV2	Módulo 3, electroválvula, cilindro de empuje de caja
M 28.7	DI	Mod3Cap1	Módulo 3, sensor capacitivo, caja lista en módulo
M 29.0	DI	Mod3Cap2	Módulo 3, sensor capacitivo, sensor para cilindro 1
M 29.1	DI	Mod3Cap3	Módulo 3, sensor capacitivo, sensor para cilindro 2
M 29.2	DI	Mod3Cap4	Módulo 3, sensor capacitivo, sensor para cilindro 3
QD 284	AO	Servo4	Módulo 4, servomotor, rodillo para dispensar cucharitas
Q 12.3	DO	MotoresAC4	Módulo 4, 2 motores AC, banda del módulo 4
M 1.1	DO	Mod4EV1	Módulo 4, electroválvula, cilindros para parar cajas

*Continuado en la siguiente página*

Cuadro 4 – *Continuado de la página anterior*

Dirección	Tipo de señal	Identificador	Descripción
M 1.2	DO	Mod4EV2	Módulo 4, electroválvula, cilindros para levantar caja
M 1.3	DO	Mod4EV3	Módulo 4, electroválvula, cilindro para empujar caja
M 29.5	DI	Mod4Cap1	Módulo 4, sensor capacitivo, caja lista en módulo
M 29.6	DI	Mod4Cap2	Módulo 4, sensor capacitivo, Cucharita dispensada
M 29.7	DI	Mod4Cap3	Módulo 4, sensor capacitivo, sensor para cilindro 3
M 0.5	DI	Mod4Cap4	Módulo 4, sensor capacitivo, sensor para cilindro 4
M 0.6	DI	Mod4Cap5	Módulo 4, sensor capacitivo, sensor para cilindro 5
MW 41	AI	Peso1	Módulo 4, sensor análogo de peso 1
MW 45	AI	Peso2	Módulo 4, sensor análogo de peso 2
M 0.7	DI	FinalCarrera1	Módulo 4, final de carrera para cilindro 1
M 1.0	DI	FinalCarrera2	Módulo 4, final de carrera para cilindro 2
Q 12.4	DO	MotoresAC5	Módulo 5, 2 motores AC, banda módulo 4 a módulo 5
M 40.0	DO	Mod5EV1	Módulo 5, electroválvula, cilindro para solapa inferior
M 40.1	DO	Mod5EV2	Módulo 5, electroválvula, cilindro para empujar caja
M 1.5	DI	Mod5Cap1	Módulo 5, sensor capacitivo, sensor para caja en posición
M 1.6	DI	Mod5Cap2	Módulo 5, sensor capacitivo, sensor para cilindro 1
M 1.7	DI	Mod5Cap3	Módulo 5, sensor capacitivo, sensor para cilindro 2

El módulo de pesado SIWAREX U funciona en conjunto con las células de peso. Este módulo interpreta el resultado de los sensores como el peso de cierto objeto. El módulo tiene una interfaz de programación especial que es amigable al usuario y le facilita los cálculos que debe realizar al utilizar este tipo de sensor, ya que realiza la conversión de peso a voltaje, y luego de voltaje a un valor interpretable.

El módulo SINAMICS V90 se encarga del control de los servomotores utilizando, al igual que SIWAREX U, una interfaz amigable al usuario. Se determinó que los buses de campo, Profibus y ASi, eran los más adecuados para realizar la conexión física del sistema eléctrico, ya que simplifican, de forma significativa, la cantidad de cableado necesario para el traspaso de información y energía. El primero se utiliza para la comunicación entre el PLC, el Gateway ASi, la pantalla para la interfaz gráfica de usuario, el variador de frecuencia y el módulo de peso SIWAREX U. El segundo es de mucha utilidad, ya que se utiliza para transmitir datos y energía en un mismo cable, por el cual se conectan todos los componentes sin tener que enviar un cable a cada uno de estos. En este bus de campo se conectan todas las electroválvulas, todos los sensores capacitivos, módulos de entradas análogas y los componentes dedicados a la interacción entre humano y máquina. Para cada uno de los componentes propuestos se incluye la descripción del componente, la marca recomendada, la ubicación en la máquina, la cantidad de componentes necesarios para el funcionamiento de la máquina, el número de

serie del componente, el ID funcional para el diagrama de proceso e instrumentación, y el número de modelo del componente.

Cuadro 5: Listado de componentes eléctricos

No.	Descripción	Marca	Ubicación	Cant.	Serie	ID.Func.	Modelo
1	Módulo principal CPU 315 2DP [28]	Siemens	Tablero	1	S7	-	6ES7 315-2AH14-0AB0
2	Maestro ASi (Gateway) [29]	Bihl+Wiedemann	Tablero	1	BWU3053	-	Gateway
3	Módulo SIWAREX U para sensores de peso [30]	Siemens	Campo	1	-	-	7MH4950-1AA01
4	Células de carga (sensores de peso) [31]	Siemens	Campo	2	SIWAREX WL260	-	SIWAREX WL260 SP-S-AA
5	Módulo de entradas analógicas [32]	Siemens	Campo	1	SM331	-	331-7KF02-0AB0
6	Módulo de salidas analógicas [33]	Siemens	Campo	1	SM332	-	332-5HF00-0AB0
7	Módulo de entradas digitales [34]	Siemens	Campo	1	SM321	-	321-1BH02-0AA0
8	Módulo de salidas digitales [35]	Siemens	Campo	1	SM322	-	322-1BH01-0AA0
9	Fuente de poder 120/230V AC a 24V DC/5A [36]	Siemens	Tablero	1	SM307	-	6ES7307-1EA01-0AA0
10	Pantalla táctil de 6" [37]	Siemens	Campo	1	TP177B PN/DP	-	6AV6642-0BA01-1AX0
11	Módulos entradas analógicas ASi, 2I [38]	Pepperl+Fuchs	Campo	4	-	-	VBA-2E-G11- I/U/PT100-V1
12	Módulo de botones ASi, rojo y verde [39]	Pepperl+Fuchs	Campo	1	-	-	VBA-LT2-G1
13	Paro de emergencia ASi, para tablero [40]	Pepperl+Fuchs	Tablero	1	-	-	VAA-2E1A-PM-S

Continuado en la siguiente página

Cuadro 5 – Continuada de la página anterior

No.	Descripción	Marca	Ubicación	Cant.	Serie	ID.Func.	Modelo
14	Faro de emergencia ASi, para CAMPO [41]	Pepperl+Fuchs	Campo	2	-	-	VAA-2EJA-F85A-S-V1
15	Faro de luz verde ASi [42]	Pepperl+Fuchs	Campo	1	-	-	VAZ-LED-70MM-GN
16	Faro de luz roja ASi [43]	Pepperl+Fuchs	Campo	1	-	-	VAZ-LED-70MM-RD
17	Faro de luz amarilla ASi [44]	Pepperl+Fuchs	Campo	1	-	-	VAZ-LED-70MM-YE
18	Distribuidor activo ASi, 2I/2O [7]	Bihl+Wiedemann	Campo	5	IP67	-	BWU3695
19	Terminal de válvulas, 6EV/8I [45]	FESTO	Campo	2	-	YC100-YC400	CPV-...-GE-ASI-8E6A-Z-M8
20	Terminal de válvulas, 4EV/4I [45]	FESTO	Campo	1	-	YC500	CPV-...-GE-ASI-4E4A-Z-M8
21	Disyuntor de 1 polo [46]	ABB	Tablero	7	S201-C16	-	2CDS251001R0164
22	Disyuntor de 3 polos [47]	ABB	Tablero	6	S203-K10	-	2CDS253001R0427
23	Disyuntor de 4 polos [48]	ABB	Tablero	5	S204-B16	-	2CDS254001R0165
24	Contacto trifásico [49]	Siemens	Tablero	5	Sirius	-	3RT1024-1B...0
25	Relés para contactores trifásicos [50]	Phoenix Contact	Tablero	5	2903370	-	RIF-0-RPT-24DC/21
26	Bornes individuales [51]	Weidmüller	Tablero	170	SAK	-	PA 6.6 / TS 35
27	Variador de frecuencia [52]	Siemens	Tablero	1	Micromaster	-	6SE6440-2UD21-SAA1
28	Módulo para control de servos (Frame C) [17]	Siemens	Tablero	4	200	-	Sinamics V90
29	Servomotor [53]	Siemens	Campo	4	Simototics S1FL6	-	SH40

Continuada en la siguiente página

Cuadro 5 – Continuation de la página anterior

No.	Descripción	Marca	Ubicación	Cant.	Serie	ID.Func.	Modelo
30	Motores trifásicos, 120VAC [54]	KinChi	Campo	6	-	-	YE2
31	Cilindros neumáticos [55]	FESTO	Campo	15	DSBC	C1-C15	ISO1552
32	Ventosas para succión [56]	Festo	Campo	6	-	V1	ESG
33	Sensores capacitivos (3 hilos) [10]	Pepperl+Fuchs	Campo	21	-	ZE-200	CBN10-F46-E2
34	Finales de carrera ASI, 24VDC [12]	Dux Schaltgeräte	Campo	2	EK-KD	ZS400	-
35	Adaptador universal de PC a PLC [57]	Siemens	Tablero	1	S7	-	6ES7972-0CB20-0XA0
36	Cable Profibus [58]	Siemens	Tablero	1	S7	-	6XV1830-0EH10
37	Conector Profibus [59]	Siemens	Tablero	1	Simatic DP	-	6ES7972-0BB12-0XA0



## 7.2. Cableado eléctrico

Para iniciar el cálculo del cableado eléctrico, se hace referencia a lo mencionado en el marco teórico acerca de la conexión de una red ASi:

- No se debe exceder un segmento de red de más de 100m.
- Si se tiene una red mayor a 100m, se debe agregar un repetidor de señal cada 100m de red.
- No se debe exceder la cantidad de dos repetidores en la misma rama de una red.

Y se debe tener en cuenta las restricciones de la empresa:

- Los módulos auxiliares, fuentes de poder, drivers y todo lo diferente a actuadores, sensores y dispositivos de interacción con el usuario se deben ubicar en el cuarto de tableros eléctricos, fuera del espacio disponible para cada módulo.(Figura 19)
- Los sensores y actuadores deben encontrarse en su módulo respectivo dentro del espacio disponible (Figura 19)
- El cableado eléctrico debe pasar por la pared, techo y columna anexa al espacio disponible para no tener cables en el suelo.
- Se debe tener un monitor, botones de inicio, pausa y paro de emergencia, y una torre de luz que indique estas acciones, cerca de la banda transportadora de entrada de producto para la interacción de la máquina con el usuario.

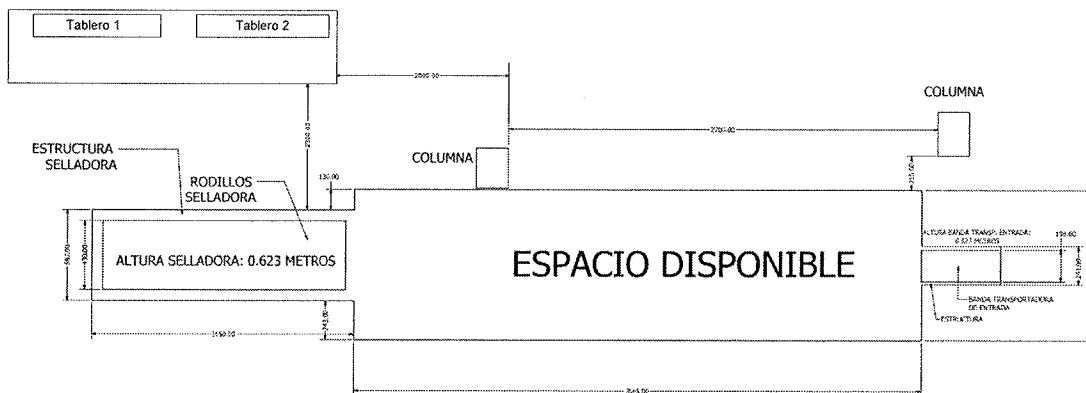


Figura 19: Detallado del espacio disponible para la máquina completa.

## 7.3. Diagramas

### 7.3.1. Diagrama de interconexión en módulos

El siguiente diagrama de bloques muestra una vista general de cómo se conecta cada módulo entre sí. El módulo 1 es el encargado de dispensar las bolsas de producto en las

cajas armadas por lo que debe recibir la caja armada del módulo 2 y debe enviar la caja llena al módulo 3. El módulo 2 es el encargado de armar la caja y enviarla al módulo 1. El módulo 3 es el encargado de recibir la caja llena del módulo 1, hacerla vibrar (para que todo su producto no interfiera con el cierre de la caja) y enviarla al módulo 4. El módulo 4 debe recibir la caja del módulo 3, pesarla, ingresar un paquete de cucharitas (si se desca), y enviarla al último módulo. El módulo 5 recibe la caja del módulo 4 y es el encargado de sellar por completo la caja.

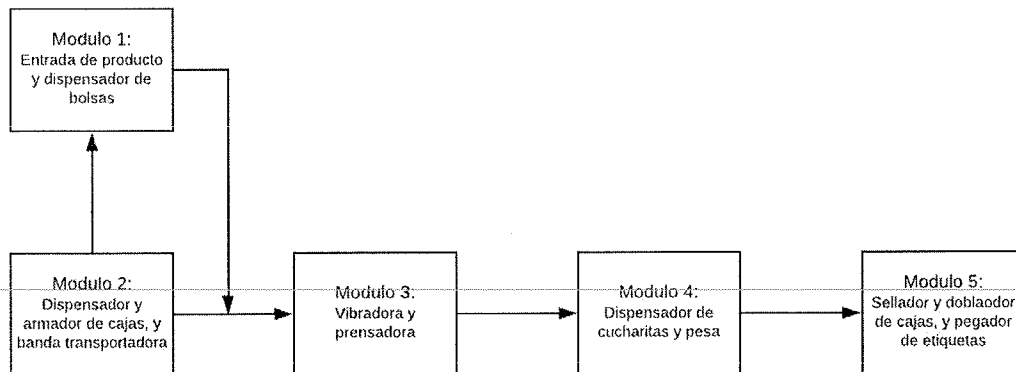
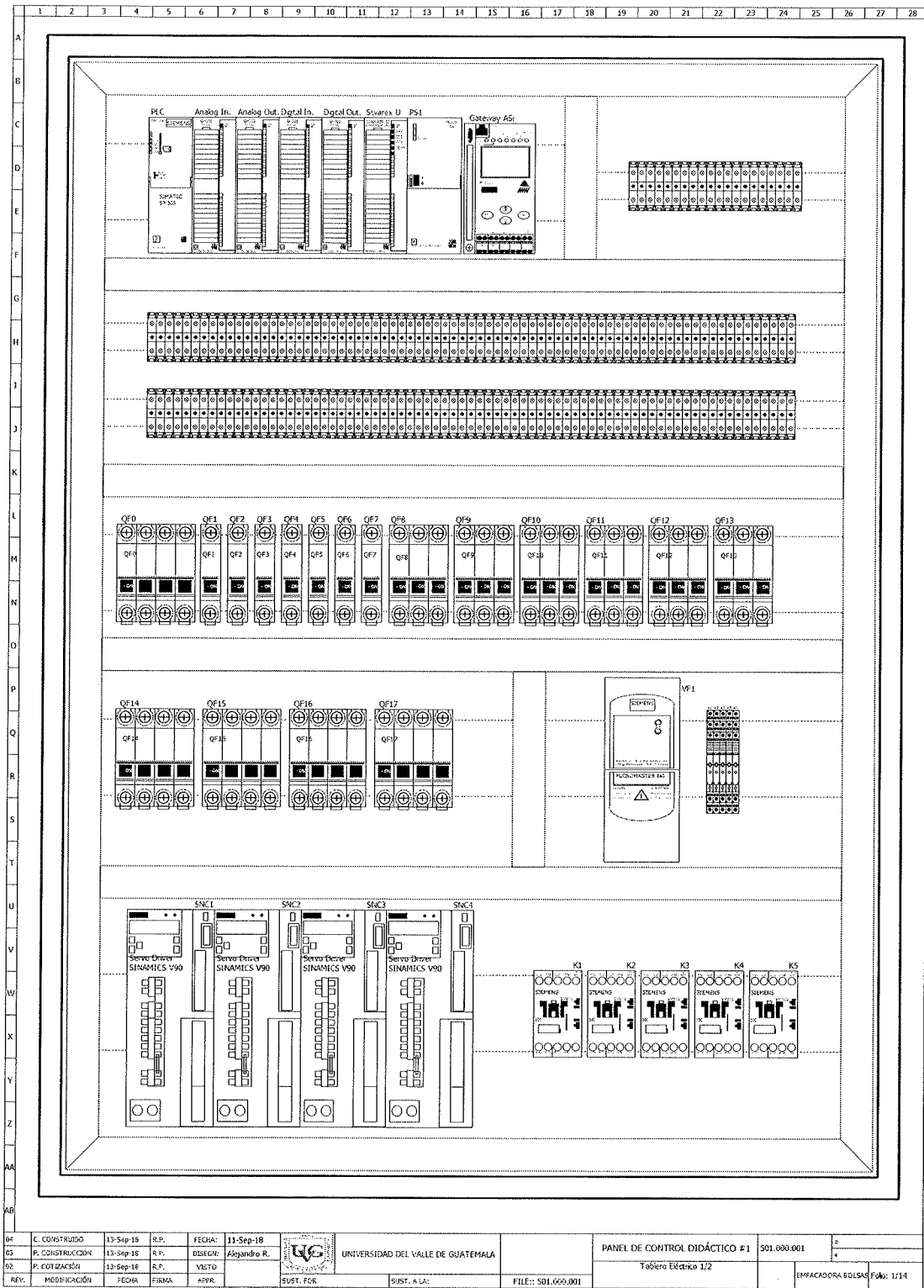


Figura 20: Diagrama de de interconexión de módulos del sistema en general.

### 7.3.2. Diagrama de distribución de componentes del tablero eléctrico

El diagrama de distribución de componentes del tablero eléctrico despliega, a escala, todos los componentes que deben ubicarse dentro del tablero eléctrico. Para poder realizar este tablero se utilizó el programa llamado "QElectroTech[60]", en donde se dibujó cada uno de los componentes mostrados en el tablero. Se crearon las imágenes de cada uno de los componentes del tablero con las medidas correctas para que el diagrama del tablero eléctrico fuera lo más parecido a la realidad.



04	C. CONSTRUIDO	13-Sep-18	R.P.	FECHA:	11-Sep-18	 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	PANEL DE CONTROL DIDÁCTICO #1	501.000.001	
03	P. CONSTRUCCIÓN	13-Sep-18	R.P.	DESEÑO:	Alejandro R.				
02	P. COTIZACIÓN	13-Sep-18	R.P.	VETO			Tablero Eléctrico 1/2		
REV.	MODIFICACIÓN	FECHA	FIRMA	APPR.	ELAB. POR	SUST. A LA:	FILE: 501.000.001		EMPACADORA: BOLSAS Folio: 1/14

Figura 21: Diagrama del interior del tablero eléctrico realizado en "QElectroTech".

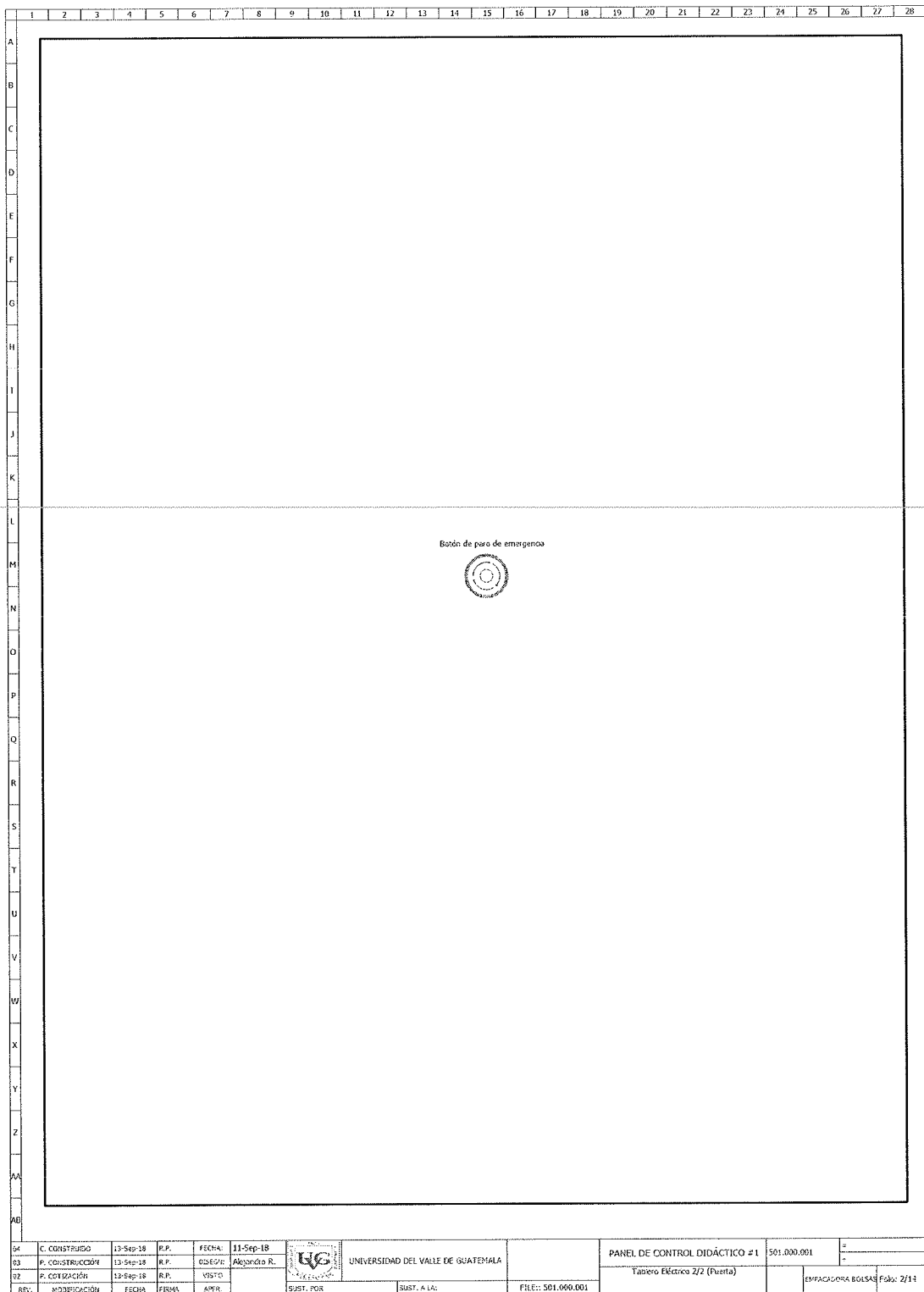


Figura 22: Diagrama de la puerta del tablero eléctrico realizado en "QElectroTech".

Todos estos componentes se unificaron en el tablero eléctrico de la Figura 21 de manera que en la parte superior se observan los módulos principales de control y de entradas y salidas (los que se necesitan conectar directamente al PLC). Debajo de esto están las borneras ya que se deben conectar a las entradas y salidas digitales, y a los 24V y 0V de la fuente de poder. En el nivel de abajo se observan los componentes de protección (disyuntores) ya que deben estar cerca de los contactores para la protección de motores y cerca de los bornes para proteger las salidas de 24V hacia los demás componentes. En la sección inferior del tablero se encuentran los componentes para el control de los motores, estos son los relés, los contactores, el micromaster 440 y los drivers para el control de los servos (Sinamics V90). La Figura 22 muestra la puerta del tablero eléctrico con el botón de paro de emergencia destinado a esta ubicación. Los botones de paro de emergencia estarán ubicados en puntos esenciales de la planta de producción debido a que en cualquier emergencia debe ser posible parar la máquina lo más rápido que se pueda.

### 7.3.3. Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID)

Para el diagrama de Proceso e Instrumentación se representó la conexión neumática y eléctrica de los controladores, sensores y actuadores que tienen que ver con la parte neumática de la máquina. Se dividió en módulos para un entendimiento más fácil y para tener un mejor orden en el diagrama. También se utilizó el programa "QElectroTech[60]" para realizar cada uno de los dibujos respectivos, necesarios para la representación de la parte neumática de la máquina.

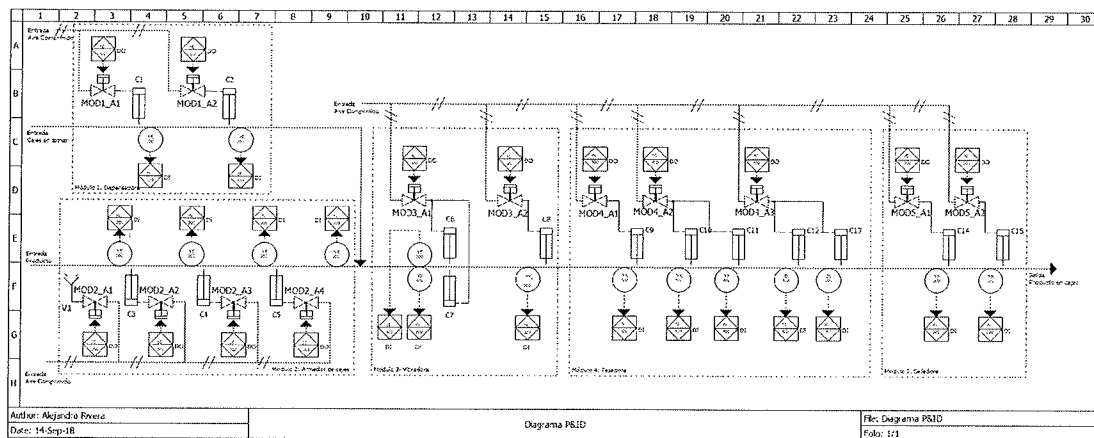


Figura 23: Diagrama de procesos e instrumentación del sistema.

El diagrama representa la conexión neumática y eléctrica, este último de manera muy general, de todos los componentes que involucran el movimiento de los actuadores. Las electroválvulas están repartidas en tres bancos. Estos bancos deben estar lo más cercano posible al actuador que deben controlar, debido a que la tubería de aire que los conectan, de ser muy extensa, puede perder la presión de aire necesaria para mover dicho actuador. Debido a esto, y a que se facilita su entendimiento, el diseño del diagrama se dividió en módulos, cada módulo muestra los actuadores, sensores y electroválvulas que utiliza.

#### 7.3.4. Diagrama unifilar de conexiones eléctricas

Para el diagrama unifilar de conexiones eléctricas del sistema se trabajó usando como referencia dos diagramas unifilares, uno de una empresa real[61], y otro de un ejercicio de la Universidad del Valle de Guatemala de un alumno anterior[62]. Dividí este diagrama en 10 partes diferentes:

1. Potencia
2. Disyuntores
3. Módulos principales del tablero eléctrico.
4. Entradas y salidas
5. Topología Profibus
6. Topología ASi
7. Componentes que interactúan con el usuario
8. Control de movimiento
9. Actuadores
10. Sensores

Esta división se generó para tener un mayor orden en el sistema, ya que al tratarse del mismo concepto o tema se puede entender más rápidamente la conexión, a diferencia de que si se hubiera ordenado según módulos y en el mismo diagrama se hubieran tenido muchos componentes diferentes. En los diagramas se tienen los nombres "+CP1-Nombre" que se refiere a componentes encontrados dentro del tablero eléctrico, y los nombres "+PM-Nombre" que se refiere a componentes encontrados en el campo, fuera del tablero eléctrico.

El primer diagrama es el de la división de potencia (Figura 24). En este diagrama se puede observar que entra la línea trifásica y monofásica al sistema y pasan por un disyuntor (cada una) como protección primaria y luego se dirigen a los diferentes componentes del sistema. La línea trifásica se va directo a los componentes trifásicos como los motores de las bandas transportadoras. La línea monofásica se dirige a la fuente de poder para ser transformada a una línea de 24V en corriente directa. Esto es debido a que muchos componentes seleccionados para este sistema trabajan con este voltaje directo. Luego se puede observar que de la fuente de poder, los 24 voltios se dirigen a tres disyuntores (de nuevo por protección de cada sección), una dirigida a la alimentación del PLC y módulos primarios, otra a la alimentación del circuito, y una última a la alimentación de la pantalla táctil. Esta división se realiza para tener una mayor seguridad ya que si ocurre algo en el circuito principal, que es el más propenso a sufrir daños, ese daño no se dirigiría al controlador debido a que sus alimentaciones están divididas.

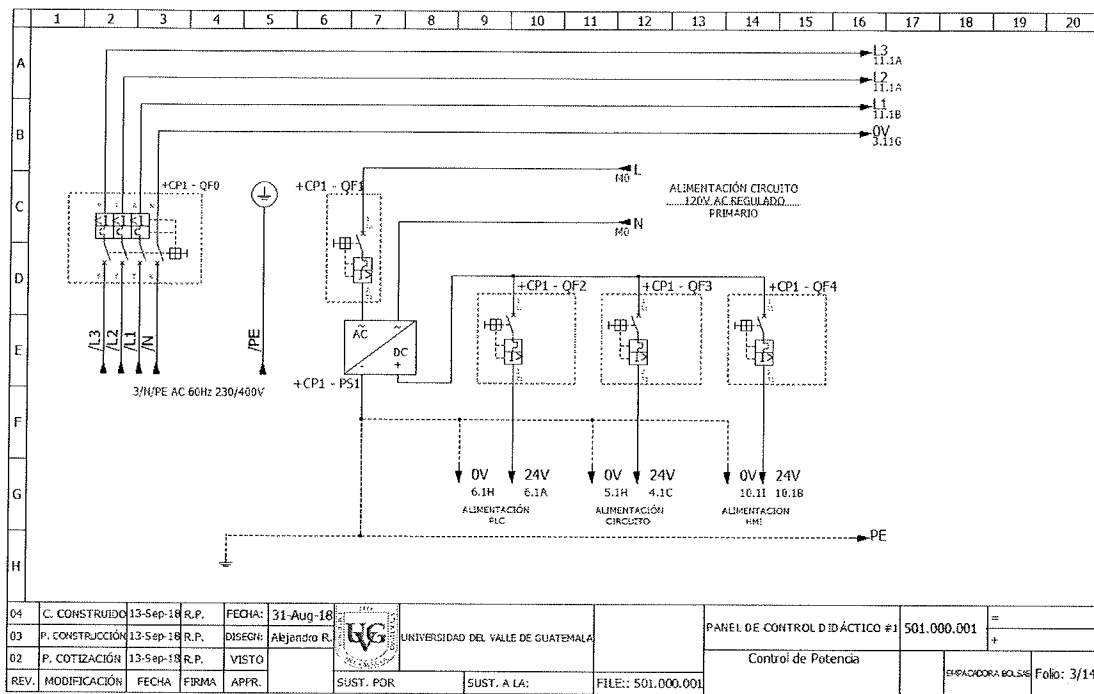


Figura 24: Diagrama unifilar de potencia.

La segunda sección es la de los disyuntores (Figuras 25 y 26). Esta muestra que entra en cada uno de los disyuntores, para saber qué están protegiendo. Solo se observa la entrada de voltaje debido a que es necesario conocer el voltaje con el que trabajará cada disyuntor para saber si su modelo es suficiente para soportarlo. Se puede ver que esta sección se dividió en dos diagramas debido a que eran bastantes disyuntores y de esta manera no se miraba saturado el diagrama. Se puede notar que en los dos diagramas se tienen disyuntores que manejan la línea trifásica o la línea de corriente directa, y que el disyuntor es el encargado de cortar la conexión entre la alimentación principal y cada componente, y que no es necesario tener un disyuntor en la conexión entre componentes debido a que estos no generan una corriente o voltaje, solo lo utilizan de su alimentación primaria, y por ende no hay necesidad de proteger esta conexión.

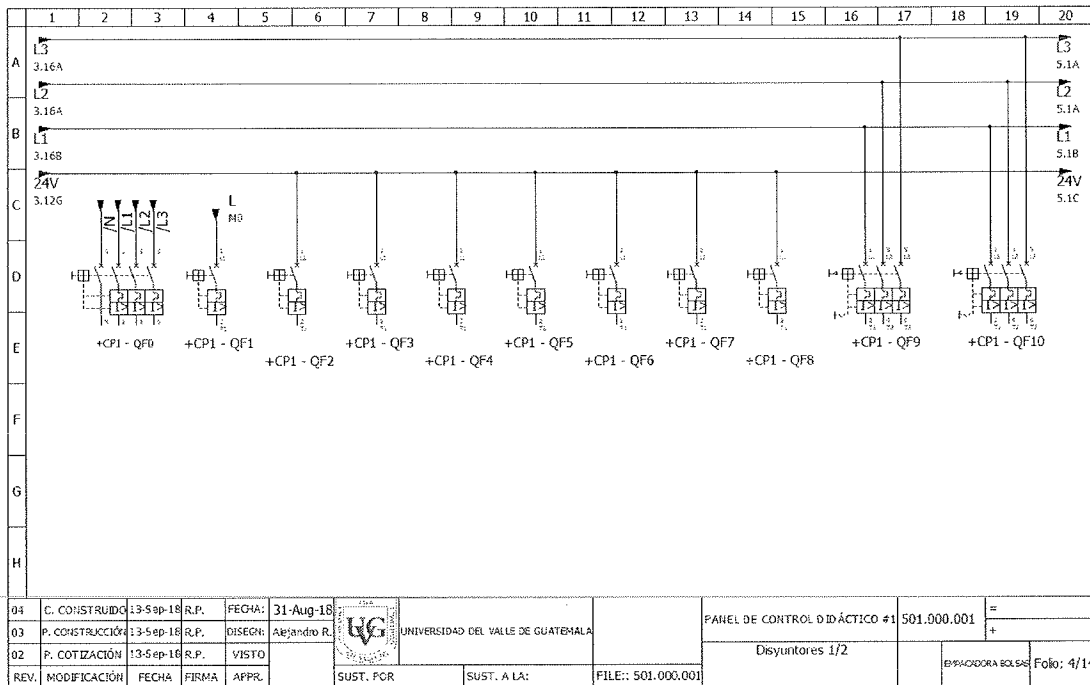


Figura 25: Diagrama unifilar de disyuntores.

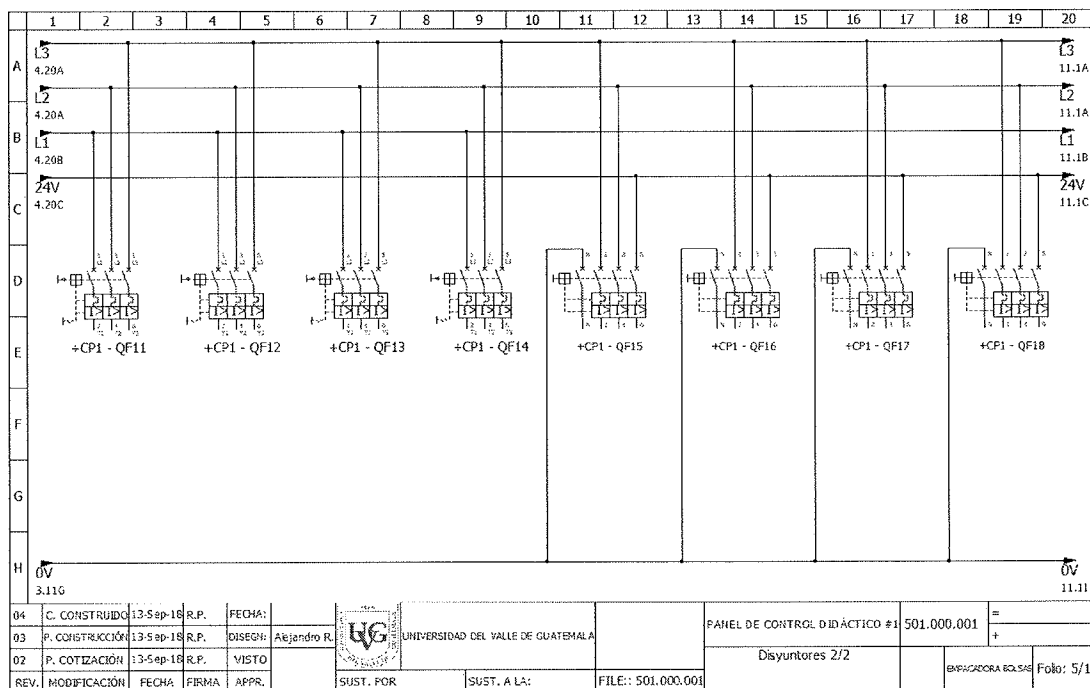


Figura 26: Diagrama unifilar de disyuntores.

La tercer sección es la de los módulos principales del tablero eléctrico (Figura 27. En



este diagrama se tiene el Controlador Lógico Programable (PLC), el maestro ASi (GW), el módulo Siwarex U (SIW), el módulo de entradas (Ain1) y salidas (Aout1) analógicas, y el módulo de entradas (Din1) y salidas (Dout1) digitales. Todos estos módulos son los encargados de la comunicación entre todos los componentes del sistema. Como se puede observar en la figura 27, se tiene un disyuntor para el PLC, otro para el Gateway, y otro para los otros módulos del sistema. Esto debido a que cada uno necesita tener una protección distinta para que algún daño que pueda causar un componente, no afecte a los módulos principales de control que son el PLC y el Gateway. Estos son el "cerebro" de toda la máquina y son los módulos más importantes para el funcionamiento de todo el sistema.

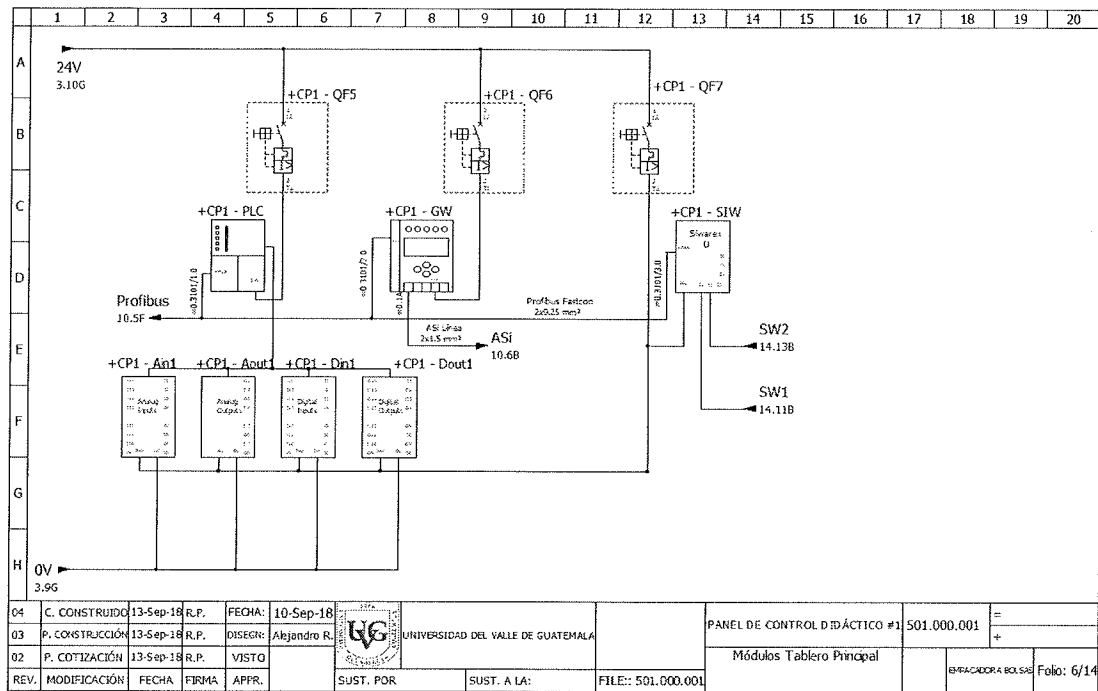


Figura 27: Diagrama unifilar de módulos principales del tablero eléctrico en la máquina.

La otra sección es la de las entradas y salidas del sistema (Figura 28). Esta sección indica qué módulos se están utilizando para la comunicación entre los componentes y los controladores. Como se puede observar, se tiene un módulo de salida de señales digitales, que son las salidas a los relés que controlan los motores trifásicos; un módulo de salida de señales analógicas que se dirige a los módulos Sinamics V90 que controlan los servomotores; y cuatro módulos de entrada de señales analógicas que leerán la señal que manden los sensores capacitivos que detectan las señales distintas a la posición de los vástagos de los cilindros neumáticos, ya que los sensores que detectan esto están conectados a otro módulo que se muestra en la Figura 34.

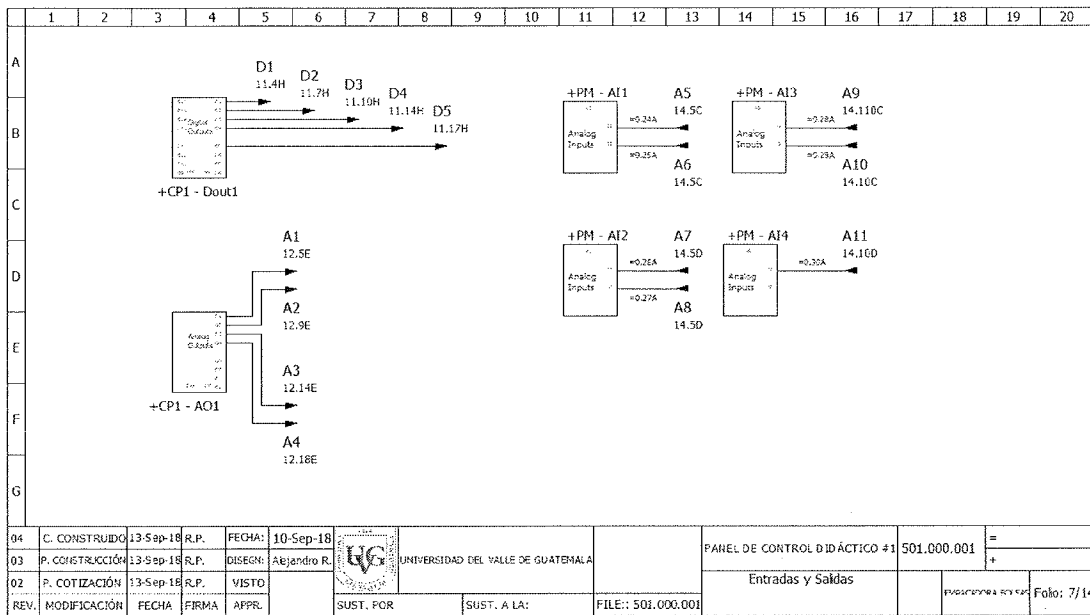


Figura 28: Diagrama unifilar de entradas y salidas del sistema.

La siguiente sección es la de la topología del bus de campo Profibus (Figura 29). Este diagrama muestra todo lo que se conecta con el bus de campo Profibus. La señal proviene del PLC en la Figura 27 y se dirige hacia el módulo maestro ASi, el módulo de pesado Siwarex U, el variador de frecuencia y la pantalla táctil. Estos son los únicos componentes que necesitan este bus de campo para comunicarse, ya que necesitan de un traspaso de información más compleja que las señales analógicas o digitales, y todos ellos (exceptuando la pantalla) se encuentran dentro del tablero eléctrico.

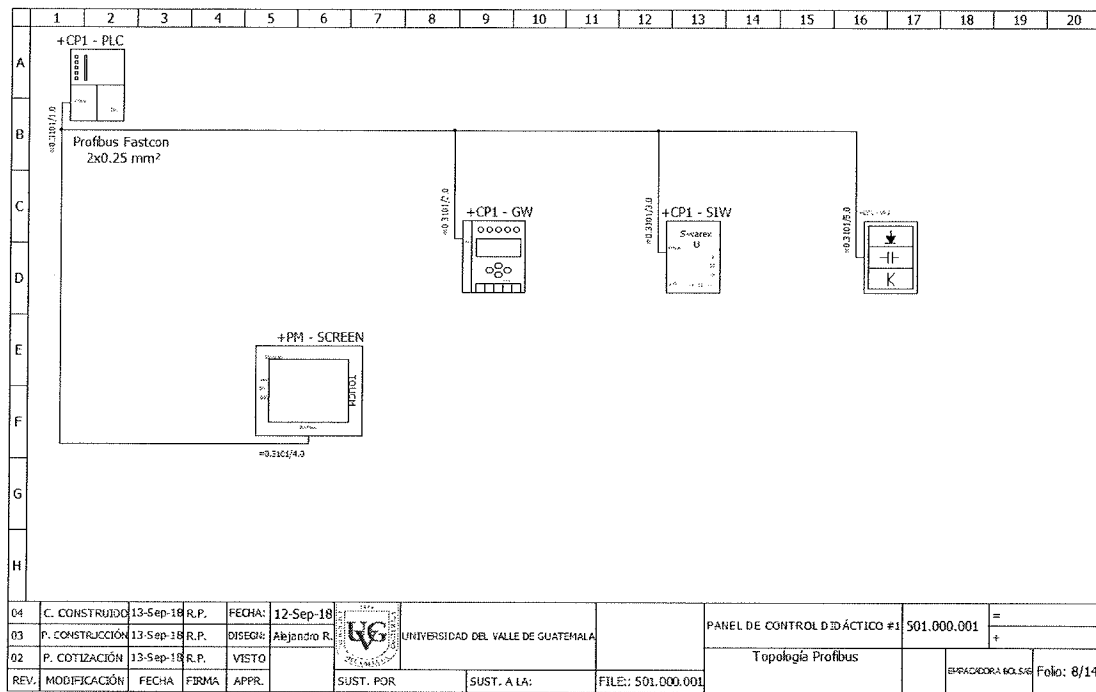


Figura 29: Diagrama unifilar de la topología de bus de campo Profibus.

La sección siguiente es la de la topología del bus de campo ASi (Figura 30). Este diagrama muestra la conexión de todos los componentes dedicados a este bus de campo que se tiene en el sistema. La señal proviene del módulo maestro ASi (Gateway) y se dirige hacia: cuatro módulos de entradas análogas, que leerán las señales de los sensores capacitivos; cuatro distribuidores activos, que son los encargados de adaptar a los sensores capacitivos para que puedan ser acoplados a este bus de campo; los bancos de electroválvulas, que se encargan de activar las válvulas para los cilindros neumáticos, y también de leer las señales que mandan los sensores capacitivos cuando el vástago de dicho cilindro llega a la posición deseada; a todos los pulsadores, que son tres botones de paro de emergencia, dos finales de carrera (que leerán la señal de dos cilindros neumáticos), y los botones de paro (rojo) e inicio (verde); y, por último, a las tres luces de campo que indicarán si el sistema está activado (verde), en pausa (amarillo), o si se activó algún paro de emergencia (rojo).

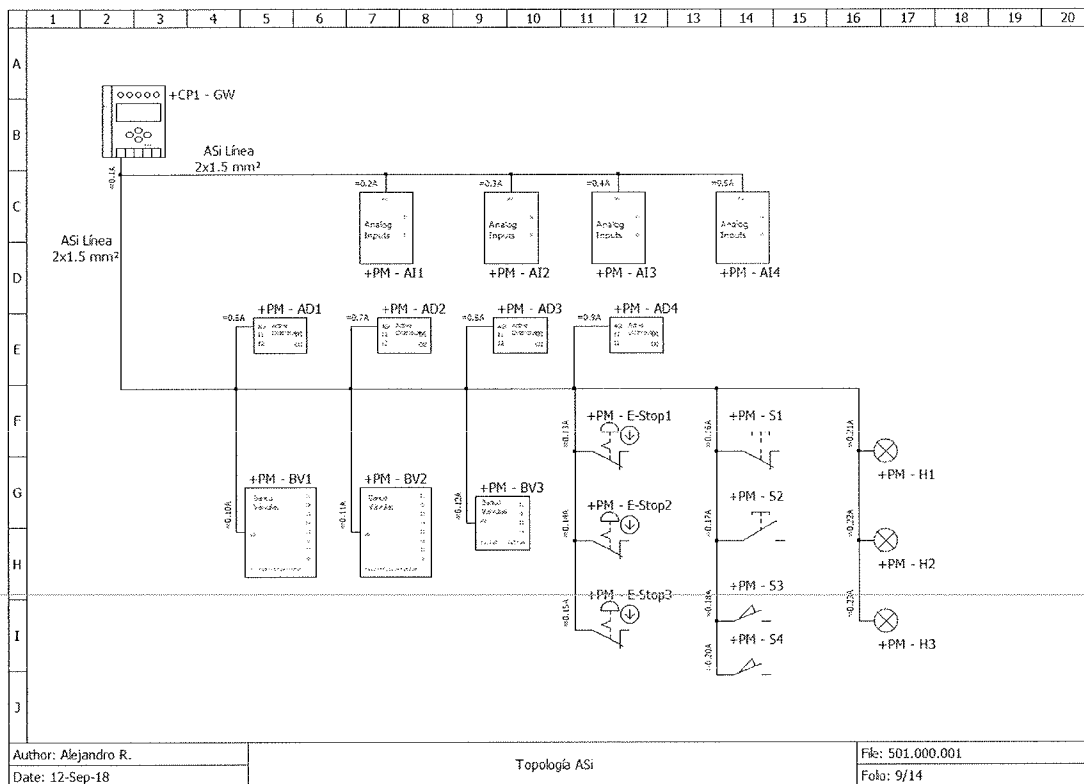


Figura 30: Diagrama unifilar de la topología de bus de campo ASI.

La Figura 31 muestra la sección de los componentes que interactúan con el usuario. Estos componentes son las luces de campo, que indican el estado del sistema; los pulsadores, que son activados manualmente por el usuario; y la pantalla táctil, que es la que el usuario podrá utilizar para configurar ciertos ajustes en el sistema, y la cuál tiene su disyuntor de protección en la Figura 24.

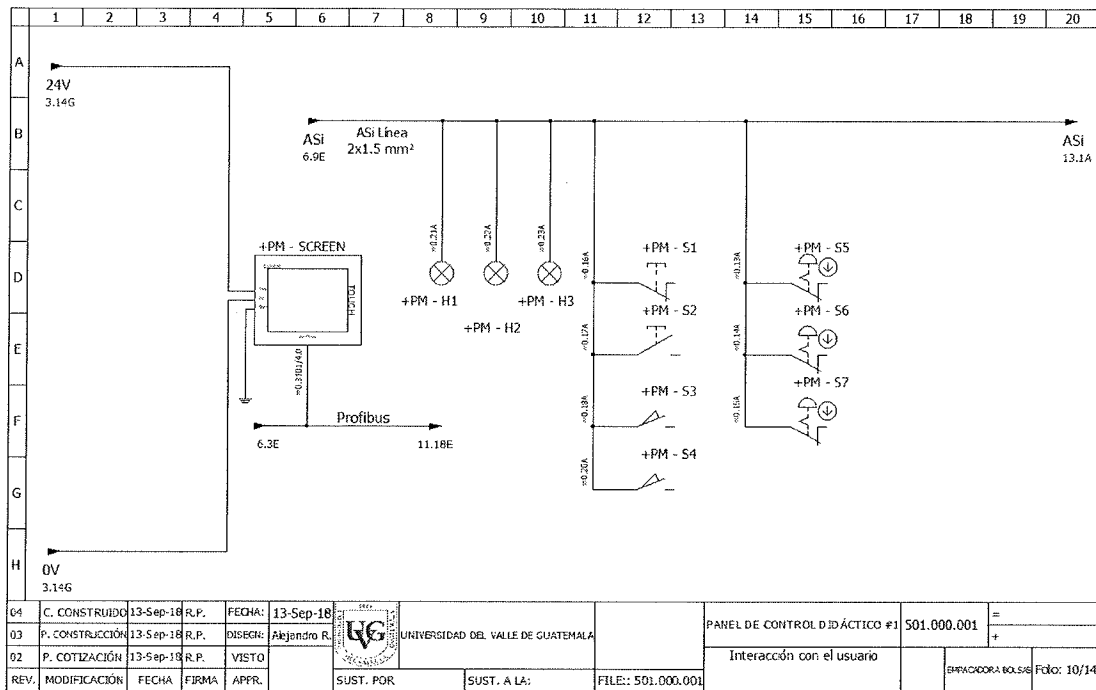


Figura 31: Diagrama unifilar de componentes controlados por el usuario.

La siguiente sección es la del control de movimiento (Figuras 32 y 33). Esta sección tiene el control del movimiento mediante los motores, diagrama de la Figura 32, y mediante los servomotores, diagrama de la figura 33. Con el diagrama de los motores se puede observar que todos trabajan con la línea trifásica, y que también se observa el relé que controlará el contactor con su misma letra (K). Estos relés se conectan a la línea de 24V de corriente directa. Cada uno de los motores tiene un disyuntor que es el encargado de dar protección a cada motor. Con el diagrama de los servomotores se puede observar que éstos se conectan al módulo de control de servomotores Sinamics V90, el cual, a su vez, se conecta a un disyuntor que tiene conexión a dos líneas de la línea trifásica (ya que esta es la tensión que necesitan los servomotores) y a la línea de 24V DC (ya que esta es la tensión que necesita el módulo para funcionar) y se conectan a tierra física como una protección adicional. Cada uno de los módulos tiene una salida análoga que es la que ayudará a controlar los servomotores.

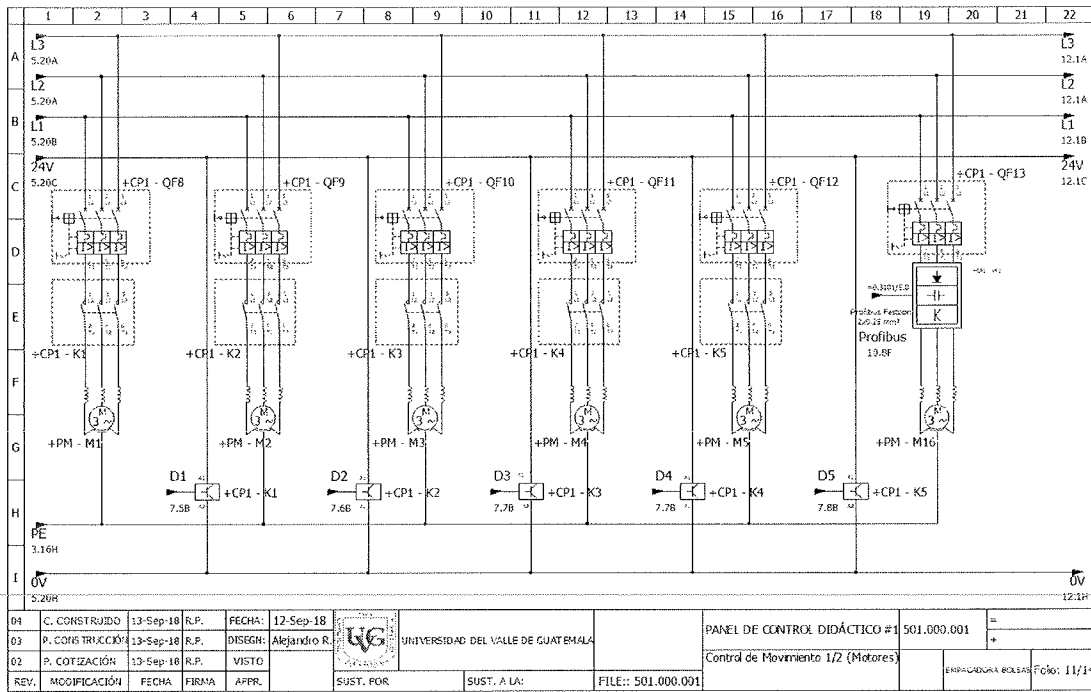


Figura 32: Diagrama unifilar de control de motores.

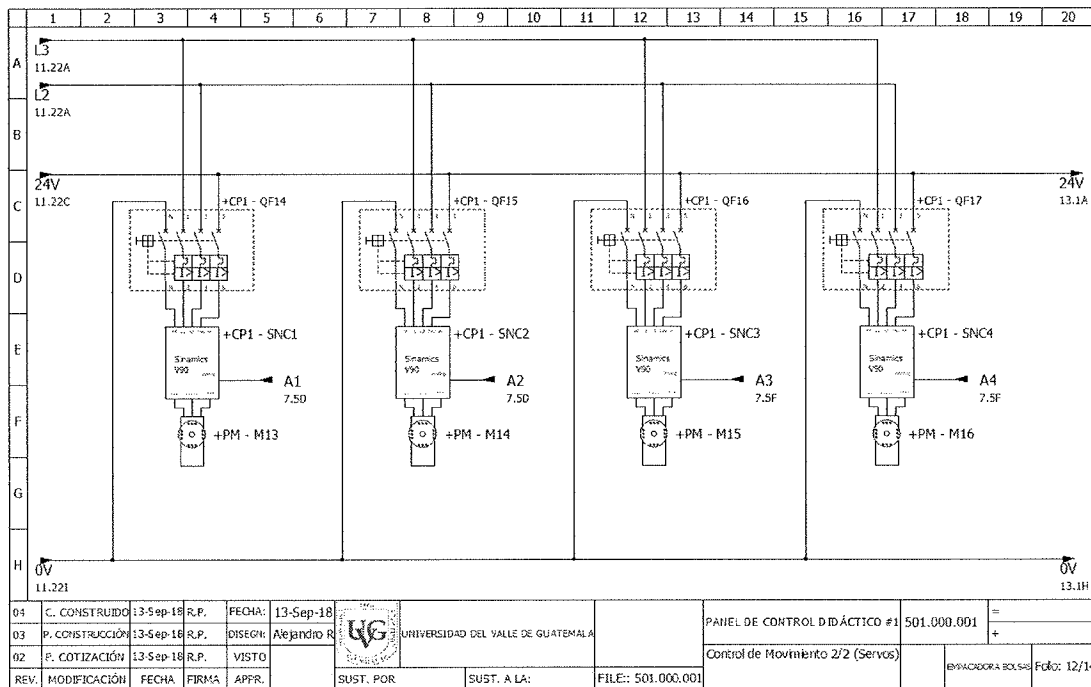


Figura 33: Diagrama unifilar de control de motores.

El siguiente diagrama muestra la conexión con los actuadores del sistema (Figura 34). En el diagrama se puede observar que el banco de electroválvulas tiene salidas hacia cada una de las válvulas y tiene entradas en donde se conectan los sensores capacitivos. Estos bancos son los que se mencionan en el Cuadro 5. Al tener un mismo módulo que controle las válvulas y que tenga entradas para las señales de los sensores se disminuye la cantidad de componentes necesarios (distribuidores activos para cada uno de los sensores y módulos de entradas digitales) y la complejidad del sistema también disminuye. Se puede observar que los bancos trabajan con el bus de campo ASi y que los sensores necesitan un voltaje de 24V DC para funcionar por lo que las líneas de estas señales se muestran en el diagrama. Se decidió dividir todas las electroválvulas en tres bancos ya que los módulos de bancos de electroválvulas disponibles tenían una cantidad de señales definidas, y que, al ser una máquina con secciones que se definieron como módulos, es mejor tener los bancos no tan alejados de cada uno de los módulos para que la tubería de aire comprimido no tenga que ser demasiado extenso y se pierda la presión necesaria para ejecutar las acciones necesarias en el sistema.

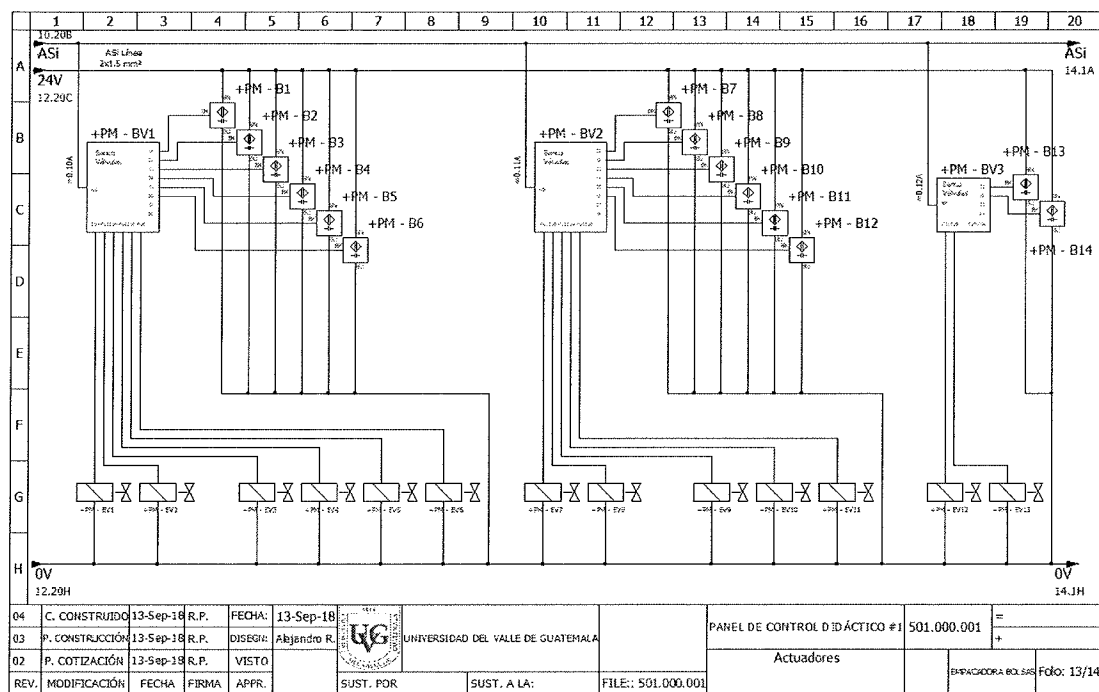


Figura 34: Diagrama unifilar de actuadores.

Por último se tiene el diagrama de los sensores faltantes (Figura 35). En este diagrama se muestran los sensores de peso y los sensores capacitivos que no detectan el vástago de ningún cilindro, sino que detectan bolsas, cajas, y otros objetos que son parte del sistema, y que no se deben conectar a los bancos de electroválvulas. Los sensores de peso tienen su salida hacia el módulo de peso Siwax U de la Figura 27. Los sensores capacitivos, al no tener una conexión dedicada al bus de campo ASi, necesitan de un componente llamado distribuidor activo ASi para poder formar parte de esta topología por lo que también está representado en este diagrama.

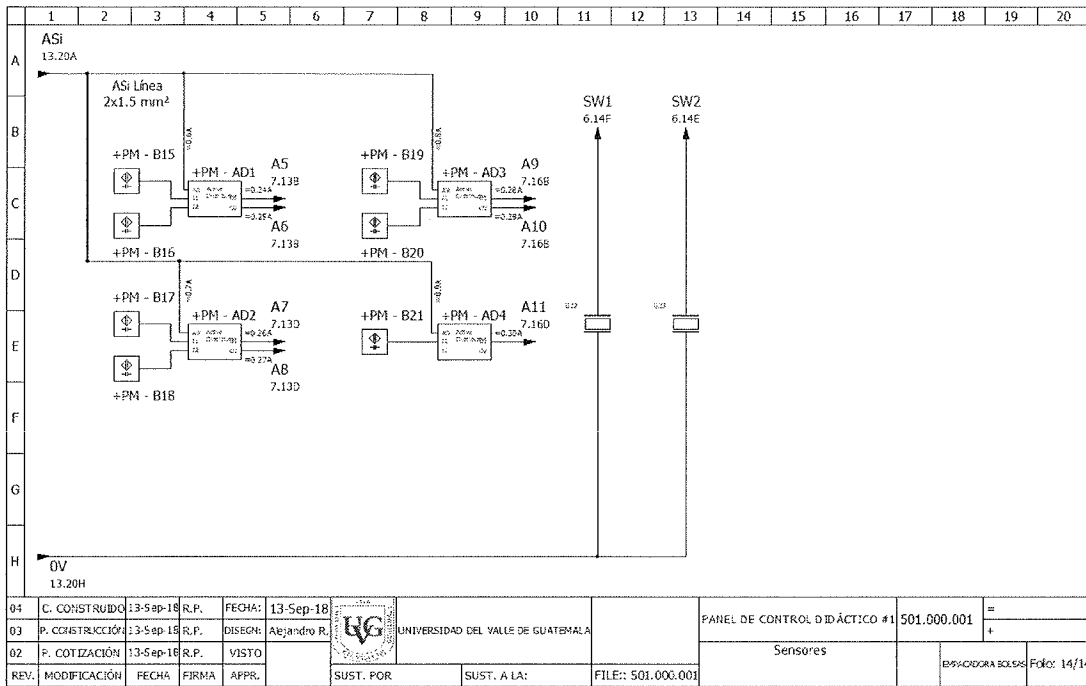


Figura 35: Diagrama unifilar de sensores.

En todos los diagramas mostrados anteriormente se observa la simbología de "flechas" al cambiar de página. Una flecha que de su punta sale la señal representa que la señal mencionada en esa flecha proviene de otra página y si de su "cola" sale la señal, significa que la señal se dirige hacia otra página. También se puede observar que cada flecha tiene una pequeña dirección, esta es la dirección de la página y ubicación dentro de esa página de donde proviene o hacia donde se dirige dicha señal.

### 7.3.5. Interfaz Gráfica de Usuario (HMI)

En las siguientes imágenes se muestran las imágenes de pantalla que interactúan con el usuario. La Figura 36 muestra los botones principales de la máquina, junto con el interruptor que da como opción el colocar cucharitas a la caja. También muestra un conteo de cajas para saber cuántas ha realizado durante ese día, y la información del peso actual de la caja como medida de inspección. Muestra el mensaje de "¡Tolva de cajas vacía!" aparece cuando el sensor capacitivo de la tolva de cajas deja de detectar cajas, indicando que la tolva está a punto de vaciarse, cuando se llena la tolva se deja de mostrar este mensaje. Por último muestra un botón de configuración, el cuál dirige al usuario a la segunda imagen.



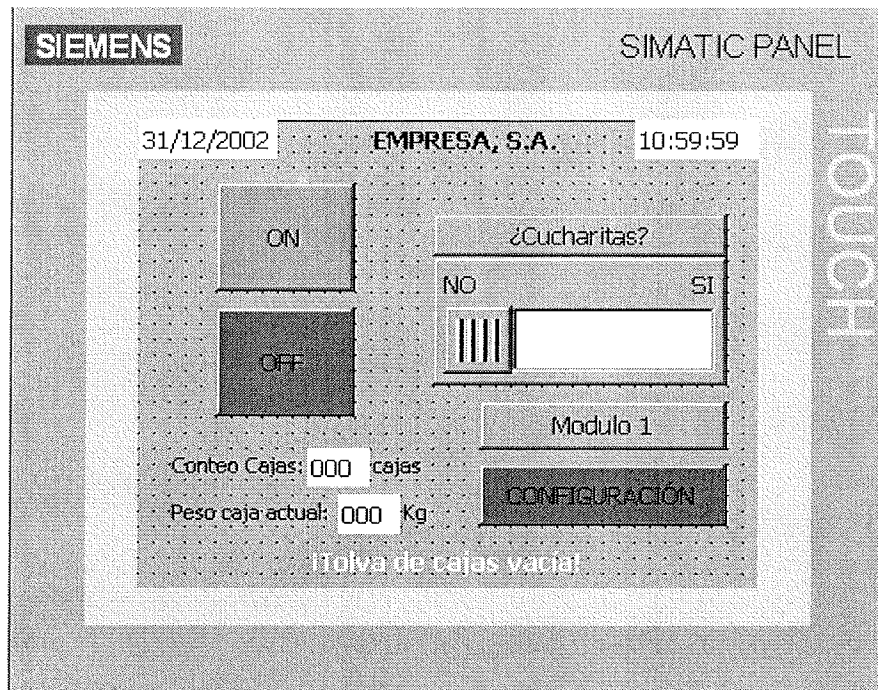


Figura 36: Primera imagen de pantalla para la interacción entre humano y máquina.

La Figura 37 muestra dos figuras, la primera es una representación de una caja junto con dos indicadores para saber cuál es el ancho y el largo de la caja. La segunda figura muestra una representación de una bolsa de producto junto con dos indicadores para saber el ancho y el largo de la bolsa. Por último muestra la cantidad de capas de bolsas deseada para que el usuario indique cuántas veces se debe repetir el llenado de una capa. Las variables de ancho y largo de bolsas y cajas, y la variable de capas de bolsas son ingresadas por el usuario y es de vital importancia que sean llenadas debido a que estos valores son los que se necesitan conocer para poder dispensar las bolsas. Sin estos valores, las bolsas se dispensarían en la misma posición y solo se apilarían una sobre otra.

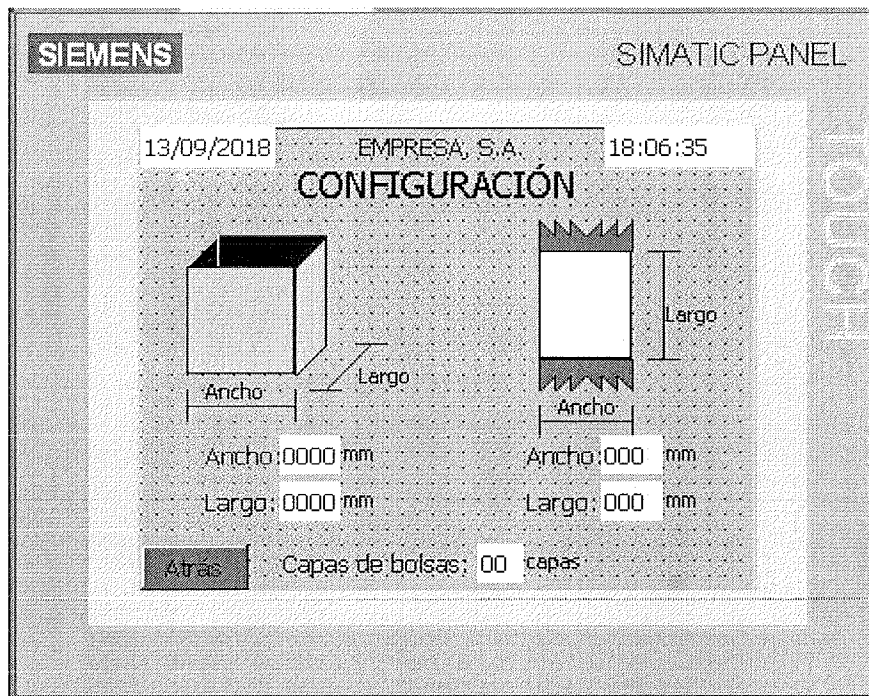


Figura 37: Segunda imagen de pantalla para la interacción entre humano y máquina

La Figura 38 muestra una alerta al ser presionado el botón de paro de emergencia. Esto es como medida de seguridad para que el usuario sepa que la máquina no está funcionando.

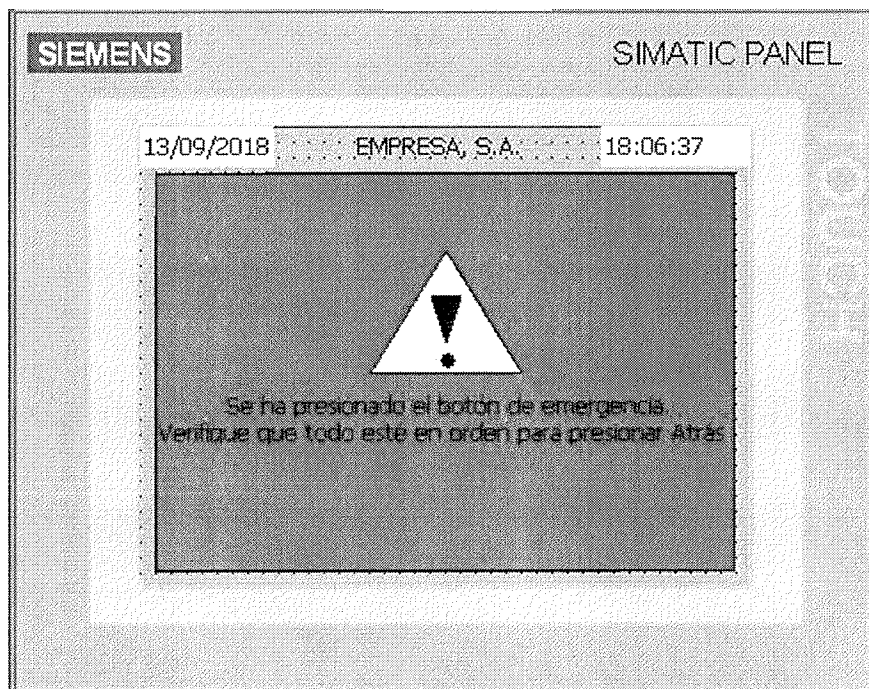


Figura 38: Mensaje de alerta al presionar el paro de emergencia.

### 7.3.6. Algoritmo principal de la máquina

Las siguientes imágenes muestran los diagramas de flujos del control de toda la máquina, separados por módulos de funcionamiento para un mejor entendimiento y mayor facilidad de programación.

El primer diagrama de flujo (Figura 39) es el que indica el funcionamiento del módulo 1 del sistema. En este módulo se debe recibir una bolsa en la posición inicial de la máquina, y dispensar la bolsa según la cantidad de filas y columnas de bolsas que esté programada por el usuario. Debe dispensar una bolsa a la vez y regresar a su posición original para poder recibir la bolsa de la banda transportadora anterior.

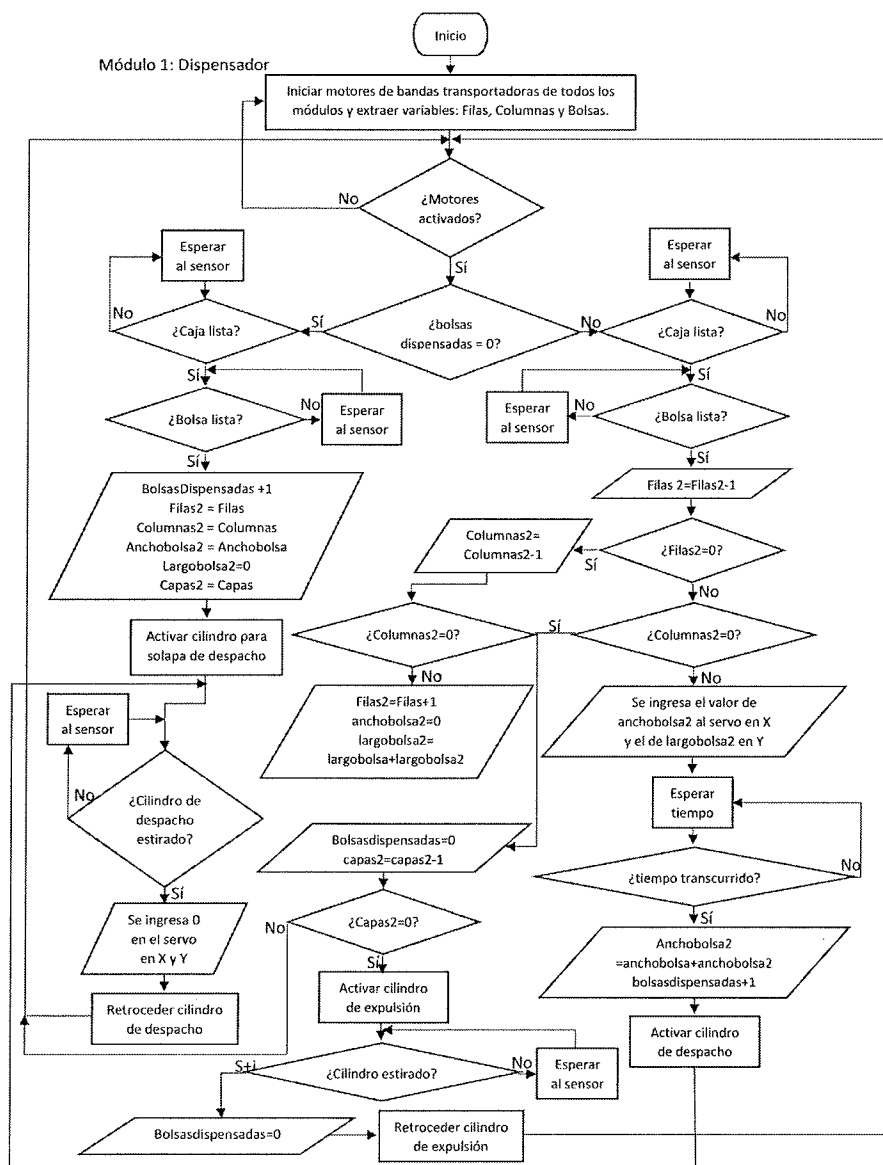


Figura 39: Diagrama de flujo para el módulo 1 de la máquina (Módulo de dispensadora de bolsas).

En el segundo diagrama de flujo (Figura 40) se muestra el proceso de armar las cajas. Se debe sujetar la caja con las ventosas de succión, cerrar la solapa inferior opuesta a la banda transportadora y empujar la caja fuera del módulo para que se cierren las otras tres solapas inferiores. También debe indicar si la tolva de cajas tiene cajas o si está vacía para que el usuario sepa que la debe llenar.

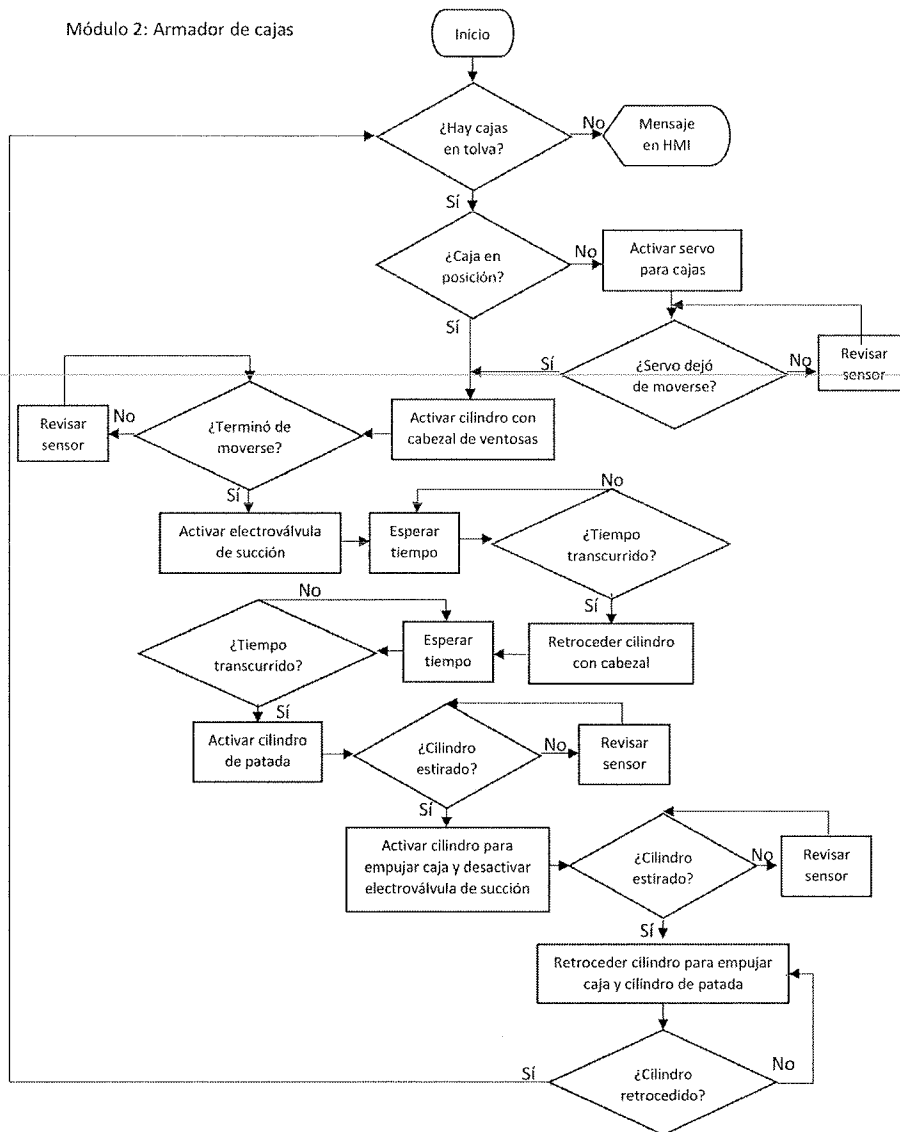


Figura 40: Diagrama de flujo para el módulo 2 de la máquina (Módulo de armado de cajas).

En el tercer diagrama (Figura 41) se observa el proceso de hacer vibrar la caja. Este proceso es uno de los más simples ya que el módulo solo debe detectar que la caja llegue al módulo, ajustarla dentro del mismo para que no se salga del módulo a la hora de iniciar la vibración, y hacer vibrar la caja para que todo su contenido se distribuya homogéneamente dentro de la caja (al tratarse de polvo).

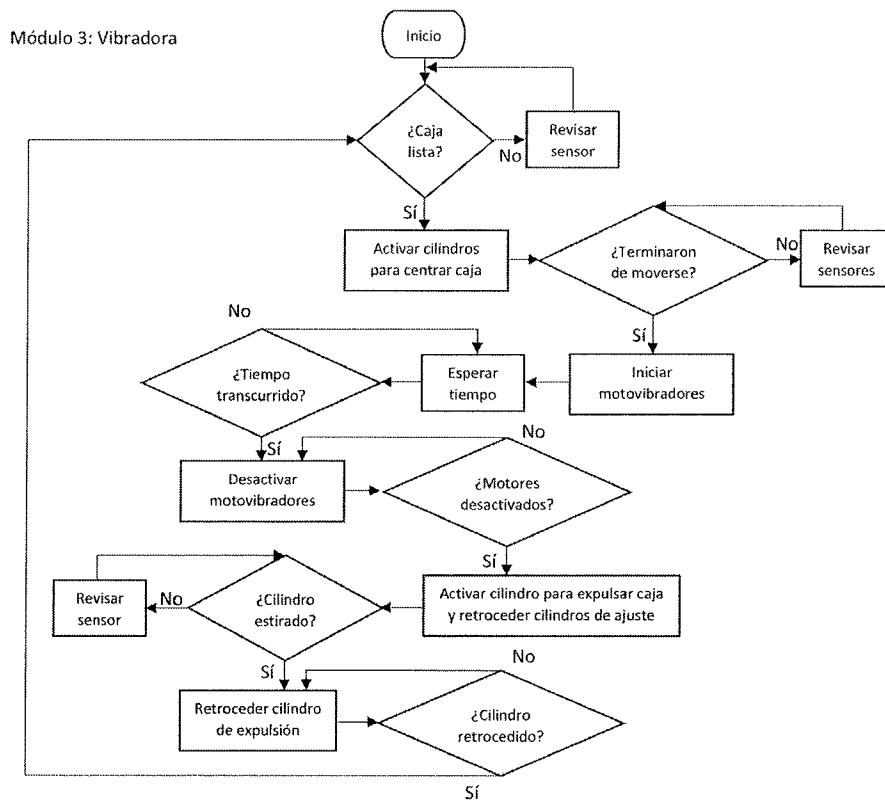


Figura 41: Diagrama de flujo para el módulo 3 de la máquina (Módulo de máquina vibradora).

El cuarto diagrama (Figura 42) detalla el proceso de pesar la caja. Para esto hay que poner unas barreras de paro para que no entre otra caja al módulo e interrumpa el pesaje, luego hay que levantar la caja con los sensores de peso para que estos puedan tomar el valor deseado. Si el usuario tiene activado la sección de dispensar cucharitas, el módulo debe levantar la rampa de las cucharitas y dispensar un paquete de estas por cada caja y luego se expulsa la caja y se quitan las barreras para seguir con este mismo procedimiento con cada una de las cajas.

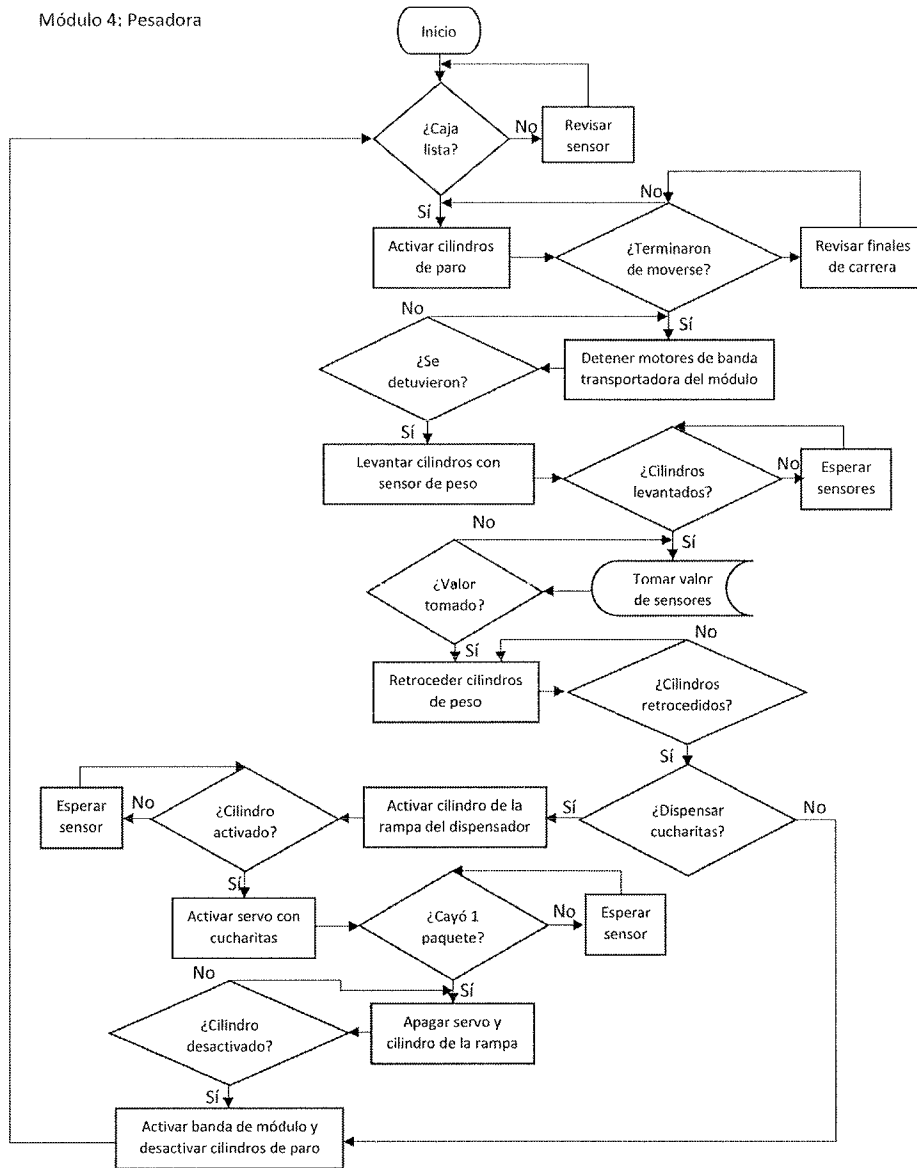


Figura 42: Diagrama de flujo para el módulo 4 de la máquina (Módulo de pesado y dispensadora de cucharitas).

El quinto diagrama (Figura 43) simplemente debe detectar la caja, cerrar la solapa superior que está opuesta a la banda transportadora, y expulsar la caja fuera del módulo para que los mecanismos del módulo sellen con cinta adhesiva la caja.

Módulo 5: Selladora

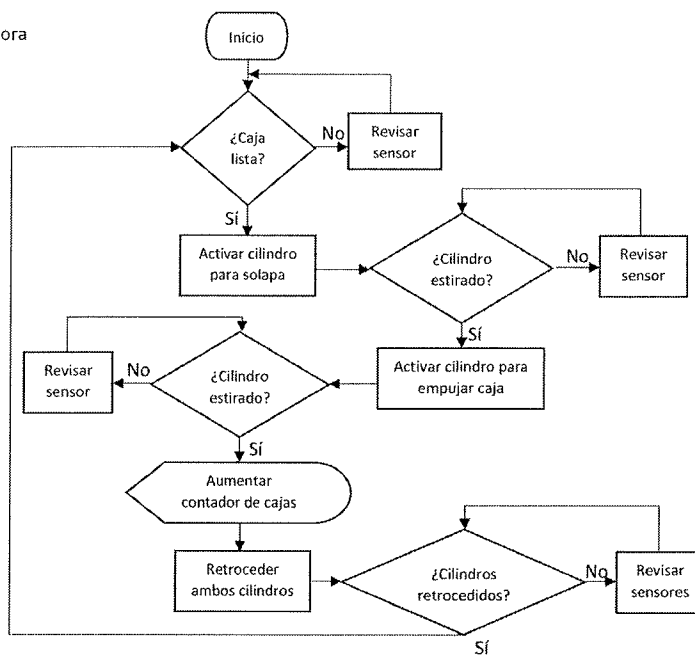


Figura 43: Diagrama de flujo para el módulo 5 de la máquina(Módulo de sellado final).





- Se realizó un listado de 25 señales de entrada y 23 señales de salida, en donde se utilizaron espacios de memoria, salidas y entradas análogas y digitales, que ayudaron en la programación del código fuente, al nombrar cada uno de los actuadores y sensores a utilizar.
- Se generó un listado con 37 componentes eléctricos para utilizar dentro del sistema. En este listado se incluyen: la marca, ubicación, cantidad, número de serie, ID. funcional y modelo de cada uno de los componentes a utilizar, con el fin de tener una "lista de compras cuando se desee implementar el diseño propuesto.
- Se elaboró un diagrama del proceso de las bandas transportadoras dentro de la máquina, donde se especifica la conexión neumática que debe existir entre la entrada de aire y los bancos de electroválvulas para el funcionamiento de los actuadores neumáticos. También se detallan las conexiones que deben existir entre válvulas y PLC, y sensores y PLC.
- Se elaboró un diagrama unifilar de conexiones eléctricas de 14 páginas, en donde se incluye el diagrama de tablero eléctrico que muestra las posiciones de los componentes principales dentro del tablero, un diagrama de la topología de red ASi para la simplificación del diseño, y todas las conexiones necesarias de cada uno de los componentes a utilizar. Esto con el fin de facilitar la implementación del sistema, y de ofrecer una herramienta de diagnóstico que ayude a mantener un óptimo funcionamiento de la máquina.
- Se diseñó una interfaz gráfica de usuario sencilla, explícita, y concisa, en donde se conoce la funcionalidad de cada elemento de manera lógica, sin necesidad de un entendimiento profundo del funcionamiento de la máquina. En esta interfaz gráfica de usuario, el operador puede controlar el inicio, pausa, y paro de la máquina, al igual que puede configurar las dimensiones de las cajas y bolsas, y cantidad de capas deseadas en el sistema para que la caja pueda llenarse debidamente,
- Se generaron 5 diagramas de flujo, uno por cada módulo del sistema, en donde se detalla el algoritmo a utilizar en la máquina para que esta funcione correctamente.

Cada diagrama de flujo expone detalladamente los pasos a seguir en cada proceso para que sea fácilmente programable.

- Se elaboró un manual de operación de la interfaz gráfica de usuario y de lectura de diagramas, para que el usuario pueda comprender cómo utilizar correctamente la interfaz y para que pueda leer los diagramas sin ningún problema.

## CAPÍTULO 9

---

### Recomendaciones

---

- Se recomienda darle mantenimiento constante a las partes movibles de la máquina, cuando se fabrique, para que estas funcionen correctamente y no interfieran con el proceso.
- El bus de campo ASi es una opción muy recomendada para simplificar el cableado de los componentes, por lo que se tiene la opción de diseñar todo el sistema para utilizarlo exclusivamente con el bus de campo ASi, en todos los componentes.
- La dispensadora de bolsas coloca una por una las bolsas en la caja, debido al diseño mecánico de dicha máquina, por lo que se puede rediseñar de tal forma que coloque fila por fila las bolsas en la caja para aumentar su eficiencia y velocidad.



- [1] I. Contreras, “Optimización y diseño de un sistema de embalaje de botellas de insecticida agroquímico en una planta de producción en Guatemala. Fase II.”, pág. 74, 2017.
- [2] Bihl Wiedemann, *AS-Interface - Bihl+Wiedemann GmbH*. dirección: <https://www.bihl-wiedemann.de/en/applications/as-interface.html> (visitado 15-03-2018).
- [3] “AS-interface Recognising and setting trends – by the leader in innovation and technology for valve terminals”, dirección: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/44047/AS%7B%5C\\_%7DInterface%7B%5C\\_%7Den.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/44047/AS%7B%5C_%7DInterface%7B%5C_%7Den.pdf).
- [4] A. M. Hoover, S. Burden, X.-Y. Fu, S. S. Sastry y R. S. Fearing, “Bio-inspired design and dynamic maneuverability of a minimally actuated six-legged robot”, en *Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), 2010 3rd IEEE RAS and EMBS International Conference on*, IEEE, 2010, págs. 869-876.
- [5] Y.-L. Park, B.-r. Chen, N. O. Pérez-Arancibia, D. Young, L. Stirling, R. J. Wood, E. C. Goldfield y R. Nagpal, “Design and control of a bio-inspired soft wearable robotic device for ankle-foot rehabilitation”, *Bioinspiration & biomimetics*, vol. 9, n.º 1, pág. 016 007, 2014.
- [6] Siemens AG, “SIWAREX ® U "Getting started"Info”, inf. téc., 2007. dirección: [https://www.siemens-pro.ru/docs/kip/Weight%7B%5C\\_%7Dmeasurements/Static%7B%5C\\_%7Dweighing/Siwarex%7B%5C\\_%7DU/U%7B%5C\\_%7DS7%7B%5C\\_%7D7MH4950-1AK01/SIWAREX%7B%5C\\_%7DU%7B%5C\\_%7DGetting%7B%5C\\_%7Dstarted/Info%7B%5C\\_%7DU%7B%5C\\_%7DGetting%7B%5C\\_%7DStarted%7B%5C\\_%7D06%7B%5C\\_%7Den.pdf](https://www.siemens-pro.ru/docs/kip/Weight%7B%5C_%7Dmeasurements/Static%7B%5C_%7Dweighing/Siwarex%7B%5C_%7DU/U%7B%5C_%7DS7%7B%5C_%7D7MH4950-1AK01/SIWAREX%7B%5C_%7DU%7B%5C_%7DGetting%7B%5C_%7Dstarted/Info%7B%5C_%7DU%7B%5C_%7DGetting%7B%5C_%7DStarted%7B%5C_%7D06%7B%5C_%7Den.pdf).
- [7] Bihl + Wiedemann, *BWU3695 | Active Distributor AS-i - Bihl+Wiedemann GmbH*. dirección: <https://www.bihl-wiedemann.de/en/products/as-interface-moduleslaves/active-distributors-as-i/product-selector-active-distributors-as-i/s/bwu3695.html> (visitado 13-09-2018).
- [8] ———, *Video Active Distributors - Bihl+Wiedemann GmbH*. dirección: <https://www.bihl-wiedemann.de/en/support/videos/active-distributors.html> (visitado 16-09-2018).

- [9] Siemens AG, “Siemens WT 10 · 2014”, inf. téc., 2015. dirección: [https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/wt/WT10/es/WT10%7B%5C\\_%7Des%7B%5C\\_%7Dkap03.pdf](https://www.automation.siemens.com/sc-static/catalogs/catalog/wt/WT10/es/WT10%7B%5C_%7Des%7B%5C_%7Dkap03.pdf).
- [10] Pepperl + Fuchs, *Sensor capacitivo CBN10-F46-E2*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid%7B%5C\\_%7D144.htm?view=productdetails%7B%5C\\_%7Dprodid=1884](https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid%7B%5C_%7D144.htm?view=productdetails%7B%5C_%7Dprodid=1884) (visitado 16-09-2018).
- [11] *Basics of Capacitive Proximity Sensors? - Industrial Automation - Industrial Automation, PLC Programming, scada & Pid Control System*. dirección: <https://automationforum.in/t/basics-of-capacitive-proximity-sensors/1736> (visitado 16-09-2018).
- [12] Dux Schaltgeräte, “DUX-LIMIT SWITCHES EK.. Series”, inf. téc. dirección: [www.dux.de](http://www.dux.de).
- [13] P. Hannifin Ind Com Ltda Jacareí y S. -Brasil, “Tecnología Neumática Industrial”, dirección: [https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001%7B%5C\\_%7DDBR%7B%5C\\_%7DNeumatica.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M1001%7B%5C_%7DDBR%7B%5C_%7DNeumatica.pdf).
- [14] *Cilindros Neumáticos - Wikifab*. dirección: [http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Cilindros%7B%5C\\_%7DNeum%C3%A1ticos](http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Cilindros%7B%5C_%7DNeum%C3%A1ticos) (visitado 16-09-2018).
- [15] M. Prada, N. Chourio, N. Villalobos, W. Yedra, C. Yedra, E. Hinojosa y R. Vargas, *Motor eléctrico trifásico - Monografias.com*. dirección: [https://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml%7B%5C\\_%7Dmotoreleca](https://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml%7B%5C_%7Dmotoreleca) (visitado 16-09-2018).
- [16] “servomotores”, dirección: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>.
- [17] Siemens, “SINAMICS V90”, inf. téc. dirección: <https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/mc/Documentsu20Brochures/E20001-A280-P670-V3-7600.pdf>.
- [18] Real Time Automation, *AS-Interface Protocol Overview*. dirección: <https://www.rtaautomation.com/technologies/as-interface/> (visitado 23-04-2018).
- [19] Nova Smar S/A, *Tutorial sobre la Tecnología AS-i | SMAR - Líder em Automação Industrial*. dirección: [http://www.smar.com/espanol/asi%7B%5C\\_%7Dsection12](http://www.smar.com/espanol/asi%7B%5C_%7Dsection12) (visitado 15-03-2018).
- [20] M. Bozzelli, *How Long Can an AS-Interface Network Really Be?* Dirección: <https://blog.pepperl-fuchs.us/blog/bid/332359/How-Long-Can-an-AS-Interface-Network-Really-Be> (visitado 24-04-2018).
- [21] J. López Fernández, “PROFIBUS”, inf. téc. dirección: <http://www.santiagoapostol.net/src/buses/profibus.pdf>.
- [22] I. I. As Sm Id, “WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced”, inf. téc., 2008. dirección: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/010/18796010/att%7B%5C\\_%7D99847/v1/Manual%7B%5C\\_%7Ddel%7B%5C\\_%7Dusuario%7B%5C\\_%7Dde%7B%5C\\_%7DWinCC%7B%5C\\_%7Dflexible%7B%5C\\_%7Des-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/010/18796010/att%7B%5C_%7D99847/v1/Manual%7B%5C_%7Ddel%7B%5C_%7Dusuario%7B%5C_%7Dde%7B%5C_%7DWinCC%7B%5C_%7Dflexible%7B%5C_%7Des-ES.pdf).
- [23] F. Ruiz, “Optimización y diseño de un sistema de ordenamiento de empaques de insecticidas agroquímicos y productos varios, en una planta de producción en Guatemala”, 2018.

- [24] R. Enrique y G. Porta, “Diseño de sistema de manipulación, suministro y armado de corrugados para aplicaciones industriales”, pág. 40, 2018.
- [25] M. Franco, “Módulo compactador”, 2018.
- [26] D. Andrés y S. Urrutia, “Diseño y análisis de máquina empacadora de pesado de cajas , implementación de sistemas de seguridad y dispensador de cucharas de medición”, 2018.
- [27] *uniform flaps closing case sealer XT558F*. dirección: [http://www.xutian-palletwrapper.com/Uniform%7B%5C\\_%7Dflaps%7B%5C\\_%7Dclose%7B%5C\\_%7Dcase%7B%5C\\_%7Dsealer%7B%5C\\_%7DXT558F.htm](http://www.xutian-palletwrapper.com/Uniform%7B%5C_%7Dflaps%7B%5C_%7Dclose%7B%5C_%7Dcase%7B%5C_%7Dsealer%7B%5C_%7DXT558F.htm) (visitado 07-10-2018).
- [28] SIEMENS, “CPU 315-2 DP”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/6ES7315-2AH14-0AB0>.
- [29] Bihl+Wiedemann, *BWU3053 / 24 Volt AS-i 3.0 PROFIBUS Gateway - Bihl+Wiedemann GmbH*. dirección: <https://www.bihl-wiedemann.de/en/products/as-interface-mastergateways/gateways/product-selector-gateways/s/bwu3053.html> (visitado 14-09-2018).
- [30] SIEMENS, “SIWAREX ® U Manual del equipo Para los módulos con los números de pedido 7MH4950-1AA01 y 7MH4950-2AA01”, inf. téc., 2007. dirección: [https://cache.industry.siemens.com/d1/files/477/28392477/att%7B%5C\\_%7D110629/v1/Manual%7B%5C\\_%7DU%7B%5C\\_%7Des%7B%5C\\_%7D38.pdf](https://cache.industry.siemens.com/d1/files/477/28392477/att%7B%5C_%7D110629/v1/Manual%7B%5C_%7DU%7B%5C_%7Des%7B%5C_%7D38.pdf).
- [31] —, “Célula de carga SIWAREX WL260 SP-S AA - Sistemas de pesaje y dosificación - Siemens”, dirección: <https://w3.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/sistemas-de-pesaje-y-dosificacion/celulas-de-carga/celulas-de-carga-de-plataforma/Pages/celula-de-carga-siwarex-wl260-sp-s-aa.aspx>.
- [32] —, “SIMATIC S7-300, ANALOG INPUT”, inf. téc., 2014. dirección: <http://www.icmaster.com.hk/PDF/SIEMENS%206ES7331-7KF02-0AB0%20.pdf>.
- [33] —, “SIMATIC S7-300, ANALOG OUTPUT”, inf. téc. dirección: <https://www.tim.pl/fileuploader/download/download/?d=1%7B%5C%7Dfile=GLOWNA%7B%5C%7D2F0001%7B%5C%7D2F000%7B%5C%7D2F00%7B%5C%7D2F724%7B%5C%7D2F26%7B%5C%7D2F0001%7B%5C%7D0000%7B%5C%7D72426.pdf>.
- [34] —, “SM 321 digital input modules”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7321-1BH02-0AA0>.
- [35] —, “SM 322 digital output modules”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7322-1BH01-0AA0>.
- [36] —, “Single-phase, 24 V DC (for S7-300 and ET200M)”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7307-1EA01-0AA0>.
- [37] —, *6AV6642-0BA01-1AX0 / TP 177B PN/DP Touch Panel*. dirección: <https://www.classicautomation.com/Part/6av6642-0ba01-1ax0> (visitado 15-09-2018).
- [38] Pepperl+Fuchs, *AS-Interface analog module VBA-2E-G11-I/U/PT100-V1*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D202.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=50815](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D202.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=50815) (visitado 13-09-2018).
- [39] —, *AS-Interface luminous push-button module VBA-LT2-G1*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=24500](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=24500) (visitado 13-09-2018).

- [40] —, *AS-Interface EMERGENCY STOP button VAA-2E1A-PM-S*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34406](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34406) (visitado 13-09-2018).
- [41] —, *AS-Interface EMERGENCY STOP button VAA-2E1A-F85A-S-VI*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34407](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34407) (visitado 13-09-2018).
- [42] —, *Stack light LED permanent light element VAZ-LED-70MM-GN*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34721](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34721) (visitado 13-09-2018).
- [43] —, *Stack light LED permanent light element VAZ-LED-70MM-RD*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34719](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34719) (visitado 13-09-2018).
- [44] —, *Stack light LED permanent light element VAZ-LED-70MM-YE*. dirección: [https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C\\_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34720](https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid%7B%5C_%7D2694.htm?view=productdetails%7B%5C%7Dprodid=34720) (visitado 13-09-2018).
- [45] FESTO, “AS-interface ® components”, inf. téc., págs. 23, 25. dirección: [www.festo.com/catalogue/...](http://www.festo.com/catalogue/...)
- [46] ABB, *ABB S201-C16*. dirección: <https://new.abb.com/products/2CDS251001R0164/miniature-circuit-breaker-s200-1p-c-16-ampere> (visitado 13-09-2018).
- [47] —, *ABB S203-K10*. dirección: <https://new.abb.com/products/2CDS253001R0427/miniature-circuit-breaker-s200-3p-k-10-ampere> (visitado 13-09-2018).
- [48] —, *ABB S204-B16*. dirección: <https://new.abb.com/products/2CDS254001R0165/miniature-circuit-breaker-s200-4p-b-16-ampere> (visitado 13-09-2018).
- [49] *3RT1024-1B..0 Contactors - Motor Starters - Siemens Sirius*. dirección: <http://controlparts.com/siemens.sirius/p/3rt1024-1b..0.htm> (visitado 13-09-2018).
- [50] Phoenix Contacts, “Relay Module”, inf. téc. dirección: <https://www.phoenixcontact.com/us/products/2903370>.
- [51] Weidmüller, “Bornes”, inf. téc., pág. D.184. dirección: [www.weidmueller.com](http://www.weidmueller.com).
- [52] *Siemens Micromaster 440 1.5kW 400V 3ph AC Inverter Drive, DBr, Unfiltered - AC Inverter Drives (400V)*. dirección: <https://inverterdrive.com/group/AC-Inverter-Drives-400V/Siemens-Micromaster-440-1500W-400V/> (visitado 13-09-2018).
- [53] Siemens AG, “Catalog D 33 05/2018”, inf. téc., 2018. dirección: <https://siemens.com/sinamics-applications>.
- [54] KinChi, *Nantong Kinchi Motor Co.,Ltd*. dirección: <http://www.kinchimotor.com/ProductShow.asp?ID=1> (visitado 15-09-2018).
- [55] Festo, “Standard Cylinders DSBC-Metric Series, to ISO 15552”, inf. téc. dirección: [www.festo.com/catalog/...](http://www.festo.com/catalog/...)
- [56] —, “Suction Gripper”, dirección: [https://www.festo.com/cat/en%7B%5C\\_%7Dus/products%7B%5C\\_%7DESG](https://www.festo.com/cat/en%7B%5C_%7Dus/products%7B%5C_%7DESG).
- [57] Siemens, “PC Adapter USB F. Connection of S7-300”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/wv/Catalog/Product/6ES7972-0CB20-0XA0>.



- [58] —, “PROFIBUS bus cables”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6XV1830-0EH10>.
- [59] —, “RS 485 bus connector”, dirección: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7972-0BB12-0XA0>.
- [60] Q. team, *QElectroTech: Welcome, presentation*. dirección: <https://qelectrotech.org/> (visitado 16-09-2018).
- [61] K. A. G. Neutraubling, K. A. G. Rosenheim y F. Wi, “electr.connect.diagram”, 2003.
- [62] R. P, “Panel de Control Didáctico # 1”, 2014.



### 11.1. Código fuente

Symbol	Address	Data type	Comment
Mod4Cap3	M 1.6	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 4
Mod4Cap4	M 1.7	BOOL	Sensor capacitivo 4 del módulo 4
Mod4Cap5	M 2.0	BOOL	Sensor capacitivo 5 del módulo 4
Mod4EV1	M 3.5	BOOL	Electroválvula 1 del módulo 4
Mod4EV2	M 3.6	BOOL	Electroválvula 2 del módulo 4
Mod4EV3	M 3.7	BOOL	Electroválvula 3 del módulo 4
Mod5Cap1	M 2.1	BOOL	Sensor capacitivo 1 del módulo 5
Mod5Cap2	M 2.2	BOOL	Sensor capacitivo 2 del módulo 5
Mod5Cap3	M 2.3	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 5
Mod5EV1	M 4.0	BOOL	Electroválvula 1 del módulo 5
Mod5EV2	M 4.1	BOOL	Electroválvula 2 del módulo 5
MotoresAC1	Q 12.0	BOOL	Motores trifásicos banda 1
MotoresAC2	Q 12.1	BOOL	Motores trifásicos banda 2
MotoresAC3	Q 12.2	BOOL	Motores trifásicos banda 3
MotoresAC4	Q 12.3	BOOL	Motores trifásicos banda 4
MotoresAC5	Q 12.4	BOOL	Motores trifásicos banda 5
Motovibradores	Q 12.5	BOOL	Motovibradores monofásicos
Peso1	MW 5	INT	Variable de ingreso del dato del peso del sensor 1
Peso2	MW 14	INT	Variable de ingreso del dato del peso del sensor 2
PesoTotal	MD 64	REAL	Suma de los dos pesos
Rojo	I 8.1	BOOL	Botón de pausa rojo
Servo1	QD 272	DINT	Servomotor 1
Servo2	QD 276	DINT	Servomotor 2
Servo3	QD 280	DINT	Servomotor 3
Servo4	QD 284	DINT	Servomotor 4
tiempoMotores	M 4.3	BOOL	Variable que indica si el tiempo ya transcurrió
Verde	I 8.0	BOOL	Botón de inicio verde

Figura 44: Tabla 1 de los símbolos utilizados en el código fuente, acá se incluyen las variables usadas dentro del código, las variables de sensores y actuadores, y las variables ingresadas por el usuario con la interfaz gráfica de usuario.

Symbol	Address	Data type	Comment
anchoBolsa	MW 32	INT	Ingresado por el usuario
anchoBolsa2	MD 54	DINT	Copia del ancho de la bolsa para editarlo
anchoCaja	IW 28	INT	Ingresado por el usuario
bolsas	MW 44	INT	Cantidad de bolsas por capa
bolsasDispensadas	MW 58	INT	Cantidad de bolsas dispensadas
CantCajas	MW 22	INT	Cantidad de cajas despachadas
capas	MW 36	INT	Ingresado por el usuario
capas2	MW 46	INT	Copia de capas para editarlo
Carrera1	M 2.4	BOOL	Señal del final de carrera 1
Carrera2	M 2.5	BOOL	Señal del final de carrera 2
Columnas	MW 42	INT	Cantidad de columnas por capa
columnas2	MD 50	DINT	Copia de columnas para editarlo
cucharitaDispensada	M 4.6	BOOL	Se activa si el sensor sensa una cucharita cayendo
Cucharitas	M 4.2	BOOL	Ingresado por el usuario
Emergencia	I 8.4	BOOL	Paro de emergencia del tablero
Emergencia2	I 8.5	BOOL	Paro de emergencia 1 en el campo
Emergencia3	I 8.6	BOOL	Paro de emergencia 2 en el campo
Fecha	MW 16	DATE	Fecha actual
Filas	MW 40	INT	Cantidad de filas por capa
filas2	MW 48	INT	Copia de filas para editarlo
Hora	MD 18	TOD	Hora actual
largoBolsa	MW 34	INT	Ingresado por el usuario
largoBolsa2	MD 60	DINT	Copia del largo para editarlo
largoCaja	IW 30	INT	Ingresado por el usuario
Mod1Cap1	M 0.0	BOOL	Sensor capacitivo 1 del módulo 1
Mod1Cap2	M 0.1	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 1
Mod1Cap3	M 0.2	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 1
Mod1Cap4	M 0.3	BOOL	Sensor capacitivo 4 del módulo 1
Mod1EV1	M 2.6	BOOL	Electroválvula 1 del módulo 1
Mod1EV2	M 2.7	BOOL	Electroválvula 2 del módulo 1
Mod2Cap1	M 0.4	BOOL	Sensor capacitivo 1 del módulo 2
Mod2Cap2	M 0.5	BOOL	Sensor capacitivo 2 del módulo 2
Mod2Cap3	M 0.6	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 2
Mod2Cap4	M 0.7	BOOL	Sensor capacitivo 4 del módulo 2
Mod2Cap5	M 1.0	BOOL	Sensor capacitivo 5 del módulo 2
Mod2EV1	M 3.0	BOOL	Electroválvula 1 del módulo 2
Mod2EV2	M 3.1	BOOL	Electroválvula 2 del módulo 2
Mod2EV3	M 3.2	BOOL	Electroválvula 3 del módulo 2
Mod2EV4	M 3.3	BOOL	Electroválvula 4 del módulo 2
Mod3Cap1	M 1.1	BOOL	Sensor capacitivo 1 del módulo 3
Mod3Cap2	M 1.2	BOOL	Sensor capacitivo 2 del módulo 3
Mod3Cap3	M 1.3	BOOL	Sensor capacitivo 3 del módulo 3
Mod3Cap4	M 4.5	BOOL	Sensor capacitivo 4 del módulo 3
Mod3EV1	M 3.4	BOOL	Electroválvula 1 del módulo 3
Mod3EV2	M 4.4	BOOL	Electroválvula 2 del módulo 3
Mod4Cap1	M 1.4	BOOL	Sensor capacitivo 1 del módulo 4
Mod4Cap2	M 1.5	BOOL	Sensor capacitivo 2 del módulo 4

Figura 45: Tabla 2 de los símbolos utilizados en el código fuente, acá se incluyen las variables usadas dentro del código, las variables de sensores y actuadores, y las variables ingresadas por el usuario con la interfaz gráfica de usuario.

Block: OB1 "Main Program Sweep (Cycle) "

Network: 1 Extracción de las variables: Filas, Columnas, Bolsas

las filas se determinan por el ancho de cajas y bolsas, las columnas por el largo de cajas y bolsas, y la cantidad de bolsas por cada capa se determina por la multiplicación de las filas y de las columnas.

L	"anchoCaja"	IW28	-- Ingresado por el usuario
L	"anchoBolsa"	MW32	-- Ingresado por el usuario
/I			
T	"Filas"	MW40	-- Cantidad de filas por capa
L	"largoCaja"	IW30	-- Ingresado por el usuario
L	"largoBolsa"	MW54	-- Ingresado por el usuario
/I			
T	"Columnas"	MW42	-- Cantidad de columnas por capa
L	"Filas"	MW40	-- Cantidad de filas por capa
L	"Columnas"	MW42	-- Cantidad de columnas por capa
*I			
T	"bolsas"	MW44	-- Cantidad de bolsas por capa
L	"anchoBolsa"	MW32	-- Ingresado por el usuario

Network: 2 Inicio de motores de bandas transportadoras

Cuando se presiona el botón de inicio se activan los motores de las bandas transportadoras.

A	"Verde"	I8.0	-- Botón de inicio verde
A	"Emergencia"	I8.4	-- Paro de emergencia del tablero
S	"MotoresAC1"	Q12.0	-- Motores trifásicos banda 1
S	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
S	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
S	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
S	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5

Figura 46: Primeras 2 redes de código para iniciar la máquina.

```
Network: 3      MÓDULO 1: Activación Cilindro 1 modulo 1
-----
Esto es solo para la primer bolsa que llegue al dispensador. Como solo se hace
una vez entonces se selean las variables volátiles.
```

```
A "MotoresAC1"      Q12.0      -- Motores trifásicos banda 1
L "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
L 0
==I
A "Mod1Cap1"       M0.0      -- Sensor capacitivo 1 del módulo 1
A "Mod1Cap2"       M0.1      -- Sensor capacitivo 2 del módulo 1
L "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
L 1
+I
T "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
L "Filas"          MW40      --- Cantidad de filas por capa
T "filas2"         MW48      -- Copia de filas para editarlo
L "Columnas"       MW42      -- Cantidad de columnas por capa
T "columnas2"      MD50      -- Copia de columnas para editarlo
L "anchoBolsa"     MW32      --- Ingresado por el usuario
T "anchobolsa2"    MD54      -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
L "capas"          MW36      -- Ingresado por el usuario
T "capas2"         MW46      -- Copia de capas para editarlo
S "Mod1EV1"        M2.6      -- Electroválvula 1 del módulo 1
```

```
Network: 4      MÓDULO 1: Funcionamiento principal del módulo.
-----
Mueve servomotores en X y en Y (sus valores cambian) el numero de filas y
columnas definidas.
```

```
A "MotoresAC1"      Q12.0      -- Motores trifásicos banda 1
A "Mod1Cap1"       M0.0      -- Sensor capacitivo 1 del módulo 1
A "Mod1Cap2"       M0.1      -- Sensor capacitivo 2 del módulo 1
L "bolsas"         MW44      --- Cantidad de bolsas por capa
L "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
<>I
L "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
L 0
<>I
L "filas2"         MW48      -- Copia de filas para editarlo
L 1
-I
T "filas2"         MW48      -- Copia de filas para editarlo
L "filas2"         MW46      -- Copia de filas para editarlo
L 0
<>I
L "columnas2"      MD50      -- Copia de columnas para editarlo
L 0
<>I
L "anchobolsa2"    MD54      -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
T "Servo1"         QD272      -- Servomotor 1
L S5T#1550MS
SD T 1
A T 1
L "largobolsa2"    MD60      -- Copia del largo para editarlo
T "Servo2"         QD276      -- Servomotor 2
L S5T#500MS
SD T 2
A T 2
L "anchobolsa2"    MD54      --- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
L "anchoBolsa"     MW32      -- Ingresado por el usuario
+I
T "anchobolsa2"    MD54      -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
L "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
L 1
+I
T "bolsasDispensadas" MW58      -- Cantidad de bolsas dispensadas
S "Mod1EV1"        M2.6      -- Electroválvula 1 del módulo 1
```

Figura 47: Primera parte del código del módulo 1 del sistema (dispensadora de bolsas).

Network: 5      MÓDULO 1: Acción cuando se llena la fila de bolsas

Si la fila de la caja se llenó de bolsas se resetea esta variable para llenar otra fila y se cambia la variable de columnas para mover el servo en Y

```

A "MotoresAC1" Q12.0 -- Motores trifásicos banda 1
L "filas2" MW48 -- Copia de filas para editarlo
L 0
==I
L "columnas2" MD50 -- Copia de columnas para editarlo
L 1
-I
T "columnas2" MD50 -- Copia de columnas para editarlo
L "columnas2" MD50 -- Copia de columnas para editarlo
L 0
<>I
L "Filas" MW40 -- Cantidad de filas por capa
L 1
+I
T "filas2" MW48 -- Copia de filas para editarlo
L 0
T "anchobolsa2" MD54 -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
L "largobolsa2" MD60 -- Copia del largo para editarlo
L "largobolsa" MW34 -- Ingresado por el usuario
+I
T "largobolsa2" MD60 -- Copia del largo para editarlo

```

Network: 6      MÓDULO 1: Acción si se completa una capa de bolsas

Si columnas llega a 0 significa que la capa se llenó por lo que se verifica si aún quedan capas por llenar. Si no quedan capas entonces se expulsa la caja.

```

A "MotoresAC1" Q12.0 -- Motores trifásicos banda 1
L "columnas2" MD50 -- Copia de columnas para editarlo
L 0
==I
L 0
T "bolsasDispensadas" MW58 -- Cantidad de bolsas dispensadas
L "capas2" MW46 -- Copia de capas para editarlo
L 1
-I
T "capas2" MW46 -- Copia de capas para editarlo
L "capas2" MW46 -- Copia de capas para editarlo
L 0
==I
S "Mod1EV2" M2.7 -- Electroválvula 2 del módulo 1

```

Network: 7      MÓDULO 1: Retroceso de cilindro neumático 1

El sensor capacitivo 3 se activa cuando el vástago del cilindro 1 está totalmente estirado por lo que se regresa a su posición original.

```

A "MotoresAC1" Q12.0 -- Motores trifásicos banda 1
A "Mod1Cap3" M0.2 -- Sensor capacitivo 3 del módulo 1
L 0
T "Servo1" QD272 -- Servomotor 1
L 0
T "Servo2" QD276 -- Servomotor 2
R "Mod1EV1" M2.6 -- Electroválvula 1 del módulo 1

```

Network: 8      MÓDULO 1: Retroceso del cilindro neumático 2

Si el sensor capacitivo 4 se activa indica que el vástago del cilindro 2 está totalmente estirado por lo que se regresa a su posición original.

```

A "MotoresAC1" Q12.0 -- Motores trifásicos banda 1
A "Mod1Cap4" M0.3 -- Sensor capacitivo 4 del módulo 1
L 0
T "bolsasDispensadas" MW58 -- Cantidad de bolsas dispensadas
R "Mod1EV2" M2.7 -- Electroválvula 2 del módulo 1

```

Figura 48: Segunda parte del código del módulo 1 del sistema (dispensadora de bolsas).

Network: 9		MÓDULO 2: Activación de servo para cajas	
Si el sensor capacitivo 2 no está activado significa que las cajas no están al final de la tolva por lo que hay que mover "1" posición al servo 1.			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
AN	"Mod2Cap2"	M0.5	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 2
L	DB1.BBW	0	
T	"Servo3"	QD260	-- Servomotor 3

Network: 10		MÓDULO 2: activación de los cilindros 1 y 2	
El sensor capacitivo 2 indica que la caja está al final de la tolva por lo que activa el cilindro neumático 1 que a su vez enciende el sensor capacitivo 3 que indica que el vástago está estirado y esto enciende la electroválvula 2 que crea la succión para las ventosas.			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
=	L	20.0	
A	L	20.0	
A	"Mod2Cap2"	M0.5	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 2
S	"Mod2EV1"	M3.0	-- Electroválvula 1 del módulo 2
A	L	20.0	
A	"Mod2Cap3"	M0.6	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 2
S	"Mod2EV2"	M3.1	-- Electroválvula 2 del módulo 2

Network: 11		MÓDULO 2: Retroceso del cilindro con cabezal de ventosas	
Si ambos sensores están activados se espera cierto tiempo para que la succión haga efecto y se retrocede el cilindro con cabezal.			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
A	"Mod2Cap2"	M0.5	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 2
A	"Mod2Cap3"	M0.6	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 2
AN	"Mod2Cap5"	M1.0	-- Sensor capacitivo 5 del módulo 2
L	S5T#1S	3	
SD	T	3	
A	T	3	
R	"Mod2EV1"	M3.0	-- Electroválvula 1 del módulo 2

Network: 12		MÓDULO 2: Activación del cilindro de patada	
El sensor capacitivo 3 desactivado indica que el vástago ya no está estirado por lo que se procede a activar el cilindro 3.			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
AN	"Mod2Cap3"	M0.6	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 2
L	S5T#1S500MS		
SD	T	4	
A	T	4	
S	"Mod2EV3"	M3.2	-- Electroválvula 3 del módulo 2

Network: 13		MÓDULO 2: Activación de cilindro de empuje de caja.	
Al activarse el sensor capacitivo 4 se indica que el vástago del cilindro de patada está estirado por lo que se debe empujar la caja activando el cilindro 4 y se debe dejar de succionar la caja (desactivando el cilindro 2)			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
A	"Mod2Cap4"	M0.7	-- Sensor capacitivo 4 del módulo 2
S	"Mod2EV4"	M3.3	-- Electroválvula 4 del módulo 2
R	"Mod2EV2"	M3.1	-- Electroválvula 2 del módulo 2

Figura 49: Primera parte del código del módulo 2 del sistema (armadora de cajas).



Network: 14 MÓDULO 2: Retroceso del cilindro de patada y de empuje.			
Al estar desactivados el sensor 3 y 5, y la válvula de succión, se retroceden los cilindros de la patada y del empuje de caja.			
A	"MotoresAC2"	Q12.1	-- Motores trifásicos banda 2
AN	"Mod2Cap3"	M0.6	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 2
AN	"Mod2EV2"	M3.1	-- Electroválvula 2 del módulo 2
A	"Mod2Cap5"	M1.0	-- Sensor capacitivo 5 del módulo 2
R	"Mod2EV3"	M3.2	-- Electroválvula 3 del módulo 2
R	"Mod2EV4"	M3.3	-- Electroválvula 4 del módulo 2
Network: 15 MÓDULO 3: Activación cilindros 1 y 2 (válvula 1)			
Si el sensor 1 está activado indica que la caja está en posición por lo que se activa la electroválvula 1 que activa 2 cilindros.			
A	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
A	"Mod3Cap1"	M1.1	-- Sensor capacitivo 1 del módulo 3
S	"Mod3EV1"	M3.4	-- Electroválvula 1 del módulo 3
Network: 16 MÓDULO 3: Activación de los motovibradores			
Si ambos sensores están activados significa que los dos cilindros de ajuste del módulo están en posición por lo que se procede a activar los motovibradores.			
A	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
A	"Mod3Cap2"	M1.2	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 3
A	"Mod3Cap3"	M1.3	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 3
R	"Mod3EV1"	M3.4	-- Electroválvula 1 del módulo 3
S	"MotoresDC"	Q12.5	-- Motovibradores monofásicos
Network: 17 MÓDULO 3: Desactivación de motovibradores.			
Si los motores están activados se deja un tiempo para que funcionen y hagan vibrar la caja y luego se desactivan.			
A	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
A	"MotoresDC"	Q12.5	-- Motovibradores monofásicos
L	S5T#5S		
SD	T	5	
A	T	5	
S	"tiempoMotores"	M4.3	-- Variable que indica si el tiempo ya transcurrió
R	"MotoresDC"	Q12.5	-- Motovibradores monofásicos
Network: 18 MÓDULO 3: Expulsar caja del módulo			
Si el tiempo de vibración ya transcurrió entonces se resetea esta variable y se activa el cilindro para expulsar la caja.			
A	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
AN	"MotoresDC"	Q12.5	-- Motovibradores monofásicos
A	"tiempoMotores"	M4.3	-- Variable que indica si el tiempo ya transcurrió
R	"tiempoMotores"	M4.3	-- Variable que indica si el tiempo ya transcurrió
S	"Mod3EV2"	M4.4	-- Electroválvula 2 del módulo 3
Network: 19 MÓDULO 3: Retroceso del cilindro de expulsión			
Si el sensor capacitivo 4 está activado indica que el cilindro está estirado por lo que se procede a retrocederlo.			
A	"MotoresAC3"	Q12.2	-- Motores trifásicos banda 3
A	"Mod3EV2"	M4.4	-- Electroválvula 2 del módulo 3
A	"Mod3Cap4"	M4.5	-- Sensor capacitivo 4 del módulo 3
R	"Mod3EV2"	M4.4	-- Electroválvula 2 del módulo 3

Figura 50: Segunda parte del código del módulo 2 del sistema (armadora de cajas) y primera parte del código para el módulo 3 del sistema (vibradora).

Network: 20 MÓDULO 4: Activación cilindros de paro			
Si el sensor capacitivo 1 está activado se deben activar los cilindros de paro			
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Mod4Cap1"	M1.4	-- Sensor capacitivo 1 del módulo 4
S	"Mod4EV1"	M3.5	-- Electroválvula 1 del módulo 4
Network: 21 MÓDULO 4: Apagar banda del módulo			
La banda que se encuentra dentro del módulo se debe apagar cuando los finales de carrera sean activados.			
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Carrera1"	M2.4	-- Señal del final de carrera 1
A	"Carrera2"	M2.5	-- Señal del final de carrera 2
R	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
Network: 22 MÓDULO 4: Activación cilindros de peso			
Si la banda del módulo está detenida se procede a activar los cilindros neumáticos para tomar el peso de la caja.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
S	"Mod4EV2"	M3.6	-- Electroválvula 2 del módulo 4
Network: 23 MÓDULO 4: Toma del dato del peso			
Si los sensores de los cilindros neumáticos se activan se procede a tomar el dato del peso de ambos sensores y sumarlos para dar el peso total.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Mod4Cap2"	M1.5	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 4
A	"Mod4Cap3"	M1.6	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 4
L	0		
T	"PesoTotal"	MD64	-- Suma de los dos pesos
L	"Peso1"	MW5	-- Variable de ingreso del dato del peso del sensor 1
L	"Peso2"	MW14	-- Variable de ingreso del dato del peso del sensor 2
+D			
T	"PesoTotal"	MD64	-- Suma de los dos pesos
Network: 24 MÓDULO 4: Retroceso de cilindros de peso			
Si el dato del peso total es distinto a 0 entonces se retroceden los cilindros neumáticos que pesan a la caja.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
L	"PesoTotal"	MD64	-- Suma de los dos pesos
L	0		
<>I			
R	"Mod4EV2"	M3.6	-- Electroválvula 2 del módulo 4
Network: 25 MÓDULO 4: Activación de rampa de cucharitas			
Si la variable de cucharitas está activada se procede a activar el cilindro de la rampa para las cucharitas.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Cucharitas"	M4.2	-- Ingresado por el usuario
S	"Mod4EV3"	M3.7	-- Electroválvula 3 del módulo 4

Figura 51: Segunda parte del código del módulo 3 del sistema (vibradora).

Network: 26      MÓDULO 4: Dispensar cucharita			
Si la rampa está estirada se procede a girar el servo hasta que el sensor detecte que la cucharita cayó, luego de esto se procede a desactivar la rampa de cucharitas.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Mod4Cap4"	M1.7	-- Sensor capacitivo 4 del módulo 4
JMPL: L	DB1.DBW	0	
T	"Servo4"	QD284	-- Servomotor 4
A	"Mod4Cap5"	M2.0	-- Sensor capacitivo 5 del módulo 4
JCN	JMPL		
S	"CucharitaDispensada"	M4.6	-- Se activa si el sensor sensa una cucharita cayendo
R	"Mod4EV3"	M3.7	-- Electroválvula 3 del módulo 4
Network: 27      MÓDULO 4: Resetear todas las variables			
Si no se desea dispensar cucharitas o si la cucharita ya fue dispensada, entonces se activa la banda del módulo y se desactivan los cilindros de paro.			
AN	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Cucharitas"	M4.2	-- Ingresado por el usuario
Q	"CucharitaDispensada"	M4.6	-- Se activa si el sensor sensa una cucharita cayendo
R	"CucharitaDispensada"	M4.6	-- Se activa si el sensor sensa una cucharita cayendo
S	"MotoresAC4"	Q12.3	-- Motores trifásicos banda 4
R	"Mod4EV1"	M3.5	-- Electroválvula 1 del módulo 4
Network: 28      MÓDULO 5: Activación cilindro de solapa			
Si la banda está activada y el cilindro de la caja en posición está activado entonces se activa el cilindro que cierra la solapa de la caja.			
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
R	"Mod5Cap1"	M2.1	-- Sensor capacitivo 1 del módulo 5
AN	"Mod5Cap2"	M2.2	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 5
AN	"Mod5Cap3"	M2.3	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 5
S	"Mod5EV1"	M4.0	-- Electroválvula 1 del módulo 5
Network: 29      MÓDULO 5: Activación cilindro de empuje de caja			
Solo si el primer cilindro está activado se activa el segundo cilindro para empujar la caja por el módulo.			
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Mod5Cap2"	M2.2	-- Sensor capacitivo 2 del módulo 5
AN	"Mod5Cap3"	M2.3	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 5
L	"CantCajas"	MW22	-- Cantidad de cajas despachadas
L	1		
+I	"CantCajas"	MW22	-- Cantidad de cajas despachadas
S	"Mod5EV2"	M4.1	-- Electroválvula 2 del módulo 5
Network: 30      MÓDULO 5: Retroceder los cilindros neumaticos			
Si el sensor del segundo cilindro esta activado significa que ambos cilindros están activados por lo que se procede a retrocederlos.			
A	"MotoresAC5"	Q12.4	-- Motores trifásicos banda 5
A	"Mod5Cap3"	M2.3	-- Sensor capacitivo 3 del módulo 5
R	"Mod5EV1"	M4.0	-- Electroválvula 1 del módulo 5
R	"Mod5EV2"	M4.1	-- Electroválvula 2 del módulo 5

Figura 52: Primera parte del código del módulo 4 del sistema (pesadora) y código del módulo 5 del sistema (selladora).

```

Network: 31      PAUSA DEL SISTEMA
El botón rojo de pausa solo desactiva las bandas que a su vez desactivan todo
el sistema pero no borran sus variables ni posiciones.
AN  "Rojo"      I8.1      -- Botón de pausa rojo
R   "MotoresAC1" Q12.0    -- Motores trifásicos banda 1
R   "MotoresAC2" Q12.1    -- Motores trifásicos banda 2
R   "MotoresAC3" Q12.2    -- Motores trifásicos banda 3
R   "MotoresAC4" Q12.3    -- Motores trifásicos banda 4
R   "MotoresAC5" Q12.4    -- Motores trifásicos banda 5

```

```

Network: 32      FARO DE EMERGENCIA
Cualquiera de los botones de paro de emergencia detienen todo el sistema y
borran todas las variables y posiciones.
ON  "Emergencia"      I8.4      -- Faro de emergencia del tablero
ON  "Emergencia2"     I8.5      -- Faro de emergencia 1 en el campo
ON  "Emergencia3"     I8.6      -- Faro de emergencia 2 en el campo
L   0
T   "Filas"          MW40      -- Cantidad de filas por capa
T   "Columnas"       MW42      -- Cantidad de columnas por capa
T   "capas"          MW36      -- Ingresado por el usuario
T   "filas2"         MW48      -- Copia de filas para editarlo
T   "columnas2"      MW50      -- Copia de columnas para editarlo
T   "capas2"         MW46      -- Copia de capas para editarlo
T   "anchoBolsa"     MW32      -- Ingresado por el usuario
T   "largoBolsa"     MW34      -- Ingresado por el usuario
T   "anchoCaja"      IW28      -- Ingresado por el usuario
T   "largoCaja"      IW30      -- Ingresado por el usuario
T   "anchobolsa2"    MD54      -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
T   "anchobolsa2"    MD54      -- Copia del ancho de la bolsa para editarlo
T   "bolsas"         MW44      -- Cantidad de bolsas por capa
T   "bolsasDispensadas" MW56      -- Cantidad de bolsas dispensadas
R   "MotoresAC1"     Q12.0    -- Motores trifásicos banda 1
R   "MotoresAC2"     Q12.1    -- Motores trifásicos banda 2
R   "MotoresAC3"     Q12.2    -- Motores trifásicos banda 3
R   "MotoresAC4"     Q12.3    -- Motores trifásicos banda 4
R   "MotoresAC5"     Q12.4    -- Motores trifásicos banda 5

```

Figura 53: Código de los botones de paro normal y paro de emergencia del sistema.

## 11.2. Manual de operación

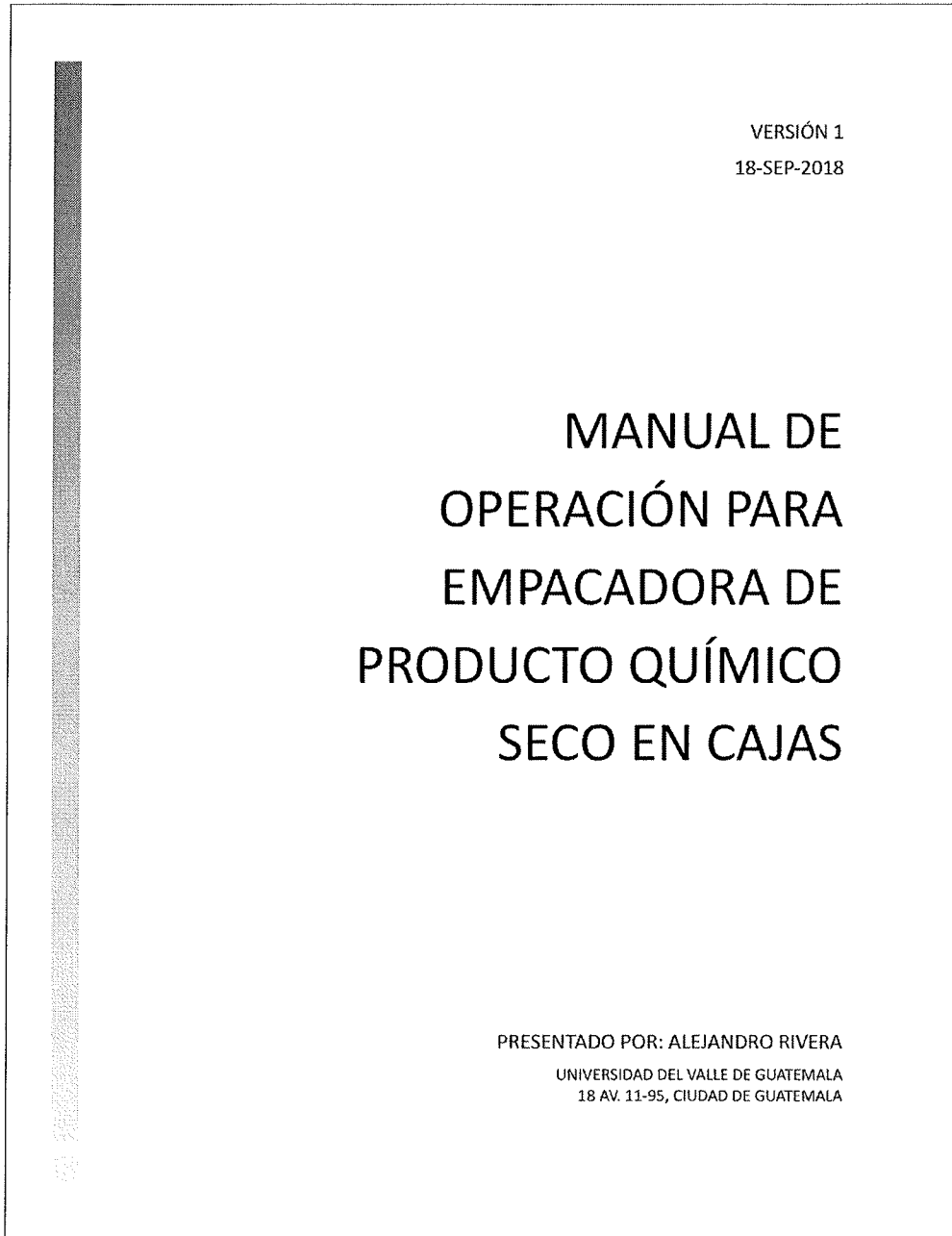


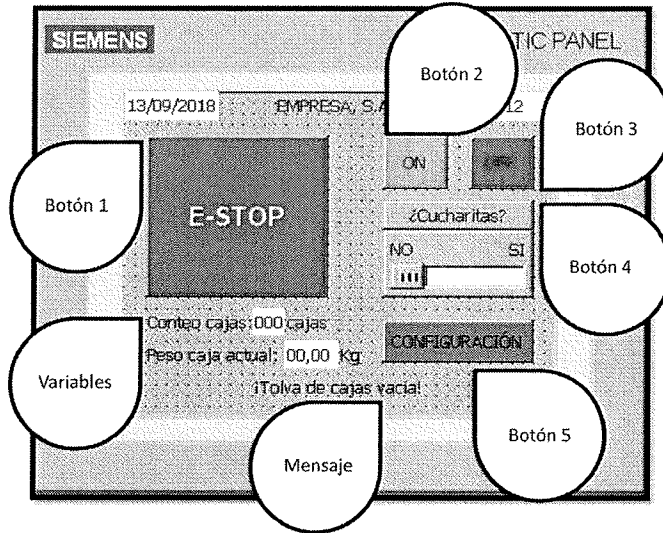
Figura 54: Página 1 del manual de operación.

## ÍNDICE GENERAL

Interfaz gráfica .....	3
Pantalla principal.....	3
Pantalla de configuración.....	4
Mensaje de emergencia.....	5
Diagrama tablero eléctrico.....	6
Diagrama unifilar de conexiones eléctricas .....	9
Diagrama P&ID.....	16

Figura 55: Página 2 del manual de operación.

INTERFAZ GRÁFICA  
PANTALLA PRINCIPAL



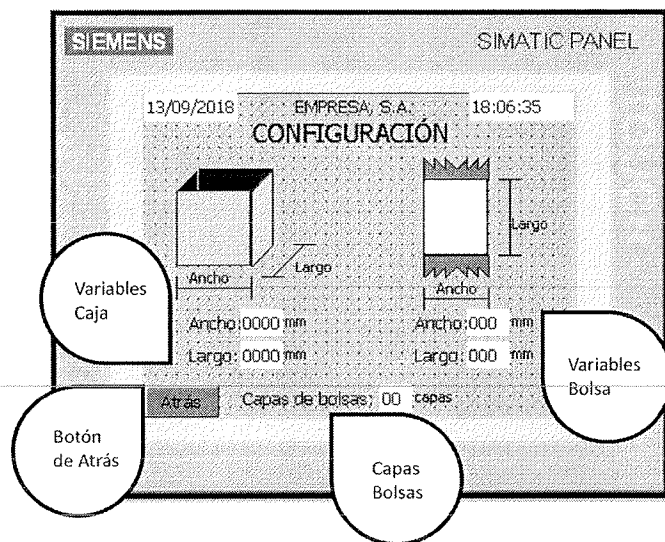
Las variables mostradas en esta pantalla de la interfaz gráfica son el conteo de cuántas cajas se han despachado desde que se inició el día y el peso de la última caja despachada, en kilogramos.

Cuando el mensaje de "¡Tolva de cajas vacía!" aparece, significa que el depósito de cajas en la máquina armadora está vacío por lo que hay que llenarla.

1. El botón 1 es el paro de emergencia. Este botón, al presionarlo una vez, se queda activado y detiene por completo la máquina, al igual que borra las variables utilizadas dentro del programa. Para desactivarlo hay que volverlo a presionar.
2. El botón 2 es el de inicio. Este botón se mantiene activo mientras se tenga presionado, y se encarga de iniciar la máquina en caso esté detenida.
3. El botón 3 es el de paro. Este botón, al igual que el de inicio, se mantiene activo mientras se tenga presionado, y se encarga de detener la máquina, pero todas sus variables se mantienen con los mismos valores, a diferencia del botón de paro de emergencia.
4. El botón 4 es el de cucharitas. Este, en realidad, es un interruptor que al deslizar su selector hacia la derecha se le indica a la máquina que no debe dispensar paquetes de cucharitas dentro de las cajas.
5. El botón 5 es el de configuración. Este botón, al presionarlo, abre la pantalla de configuración que se muestra en la siguiente sección.

Figura 56: Página 3 del manual de operación.

## PANTALLA DE CONFIGURACIÓN



Esta pantalla se muestra cuando se presiona el botón de Configuración en la pantalla inicial. En esta sección se deben ingresar los tamaños, en milímetros, de la bolsa y la caja que se utilizarán en la máquina. De no ingresarse ningún valor, ocurrirá un error en el programa por lo que es muy importante ingresar los valores necesarios antes de dar inicio a la máquina.

El valor ingresado en la opción de "Capas de Bolsas" indica cuantos niveles de bolsas debe haber en la caja.

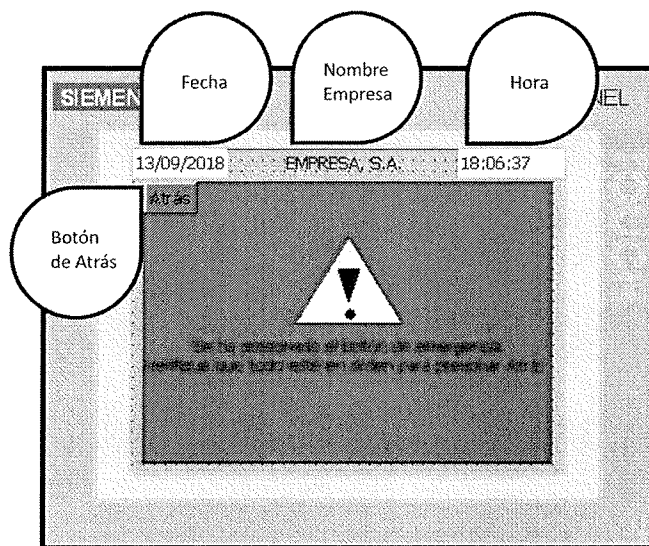
Con estos valores se obtienen las filas y las columnas de bolsas que se dispensarán en cada una de las capas de bolsas de la caja.

Cuando ya se ingresaron todos los valores, se debe presionar el botón de "Atrás" el cuál regresa a la pantalla de inicio.

Figura 57: Página 4 del manual de operación.



## MENSAJE DE EMERGENCIA



Este mensaje se muestra al presionar el botón de paro de emergencia. Es un mensaje muy visible para dar a conocer que el botón está presionado. Cuando se desee quitar este mensaje solo se debe presionar el botón de "Atrás".

En todas las pantallas se puede observar la fecha y hora actual, y el nombre de la empresa.

Figura 58: Página 5 del manual de operación.

## DIAGRAMA TABLERO DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

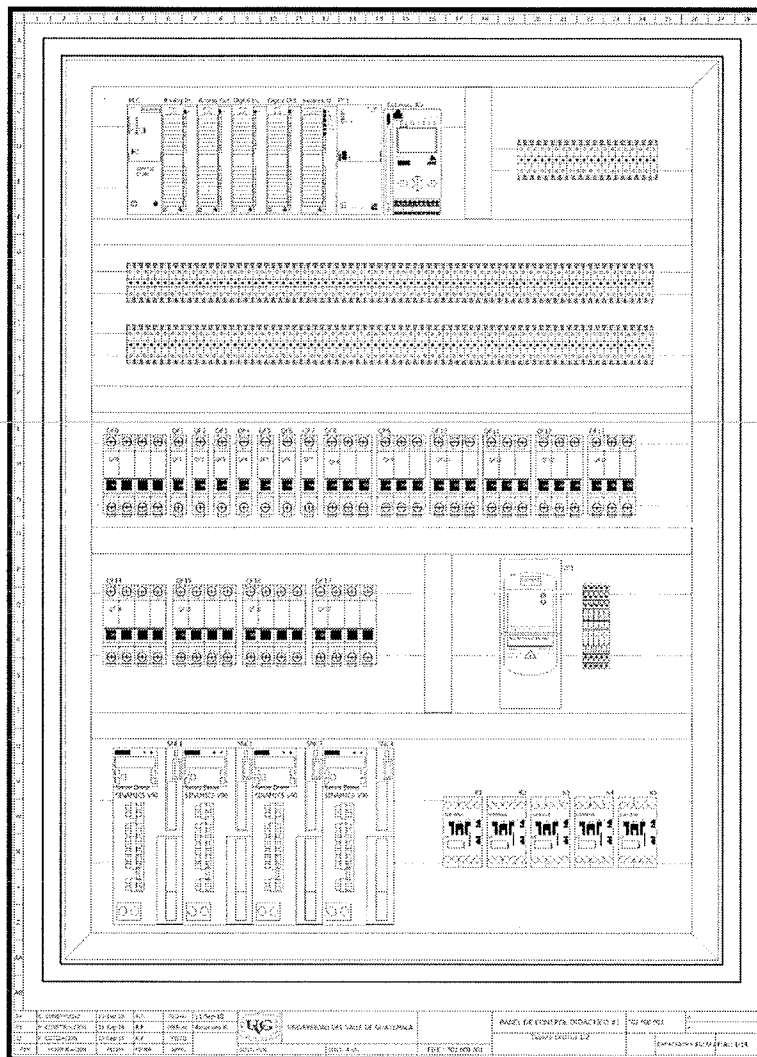
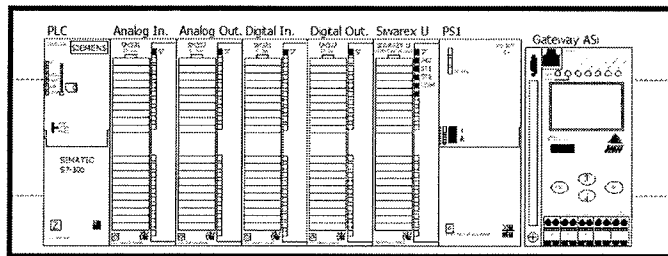


Figura 59: Página 6 del manual de operación.

Para facilitar su entendimiento, el tablero de componentes eléctricos se separará por varias secciones. Todos los componentes se insertan en el tablero mediante un riel en su parte trasera.

En la sección superior izquierda, se colocan los módulos principales del sistema; estos módulos son (de izquierda a derecha):

- PLC (CPU 315-2DP)
- Módulo de entradas analógicas (6ES7331-7KF02-0AB0)
- Módulo de salidas analógicas (6ES7332-5HF00-0AB0)
- Módulo de entradas digitales (6ES7321-1BH02-0AA0)
- Módulo de salidas digitales (6ES7322-1BH01-0AA0)
- Módulo de pesado Siwarex U
- Fuente de poder de 120/230V AC a 24V DC/5A (6ES7307-1EA01-0AA0)
- Módulo maestro del bus de campo ASI



Luego se deben conectar las borneras, esto debido a que en ellas deben estar las conexiones de los módulos de entradas y salidas analógicas (8 entradas y 8 salidas) y digitales (16 entradas y 16 salidas), 24V y 0V de la fuente de voltaje, y conexiones a las líneas de voltaje trifásicas y a la tierra para los motores; y estas señales salen de los módulos principales.

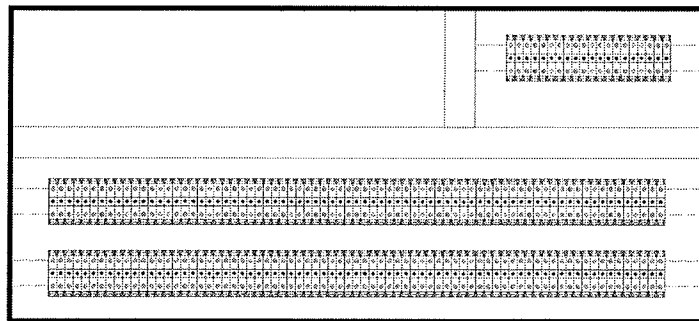
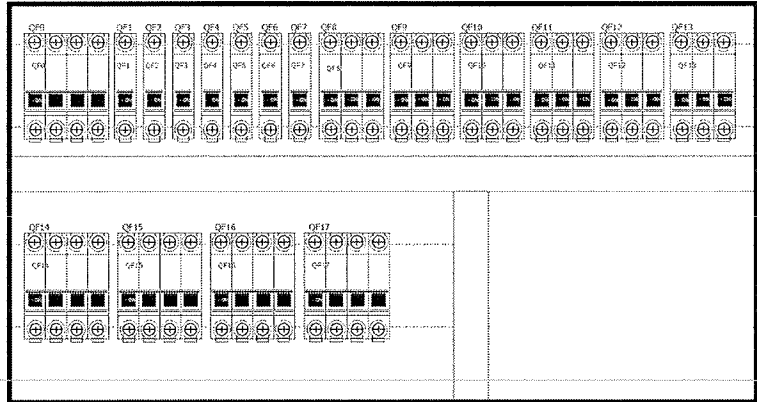


Figura 60: Página 7 del manual de operación.

En la siguiente sección deben ir los disyuntores de todos los componentes de la máquina. Éstos son los componentes de protección para los motores trifásicos, los módulos principales, y para el voltaje de toda la máquina.



Por último, se deben conectar los componentes de control de motores trifásicos, y servos. Éstos son (de izquierda a derecha): variador de frecuencia Micromaster 440 , 5 relés para el control de los motores trifásicos, 4 controladores de servomotores Sinamics V90, y 5 contactores para la activación de los motores trifásicos.

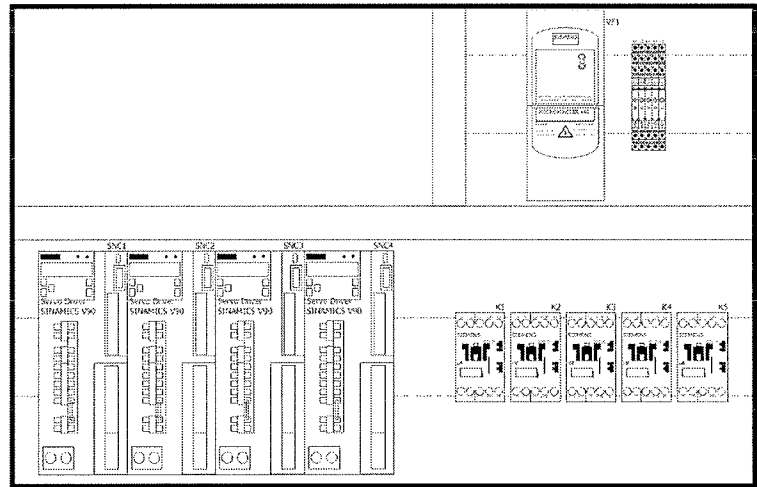
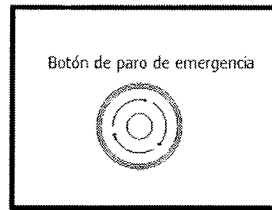


Figura 61: Página 8 del manual de operación.

Por último, en la puerta del tablero, se debe agregar un botón de paro de emergencia rotativo.



### DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIONES ELÉCTRICAS

Para poder leer estos diagramas es necesario saber que:

Hay dos tipos de flechas de señales, la primera indica que la señal proviene de otra página, en donde su identificador indica: el número de la página (el primer número), seguido por un punto, luego otro número que indica el número de columna de la página en donde se encuentra la señal anterior, y, por último, una letra que indica la fila de la cual proviene la señal.

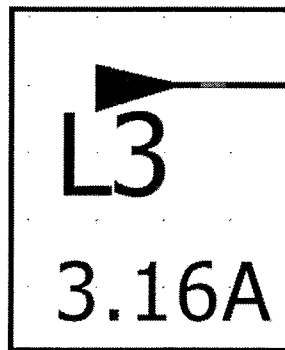
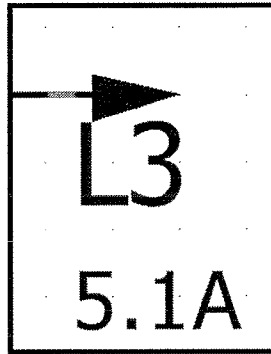


Figura 62: Página 9 del manual de operación.

La segunda flecha indica que la señal se dirige hacia otra página, con la misma descripción de la ubicación hacia donde se dirige dicha señal.



El primer diagrama muestra la conexión de la máquina con las fuentes externas y cómo éstas se reparten en la máquina. Las entradas externas son "/L3, /L2, /L1, /N, /PE" y "L, N". Luego se observa que la entrada monofásica debe conectarse a la fuente de poder y ésta a su vez se conecta a tres disyuntores para la protección de las diferentes alimentaciones.

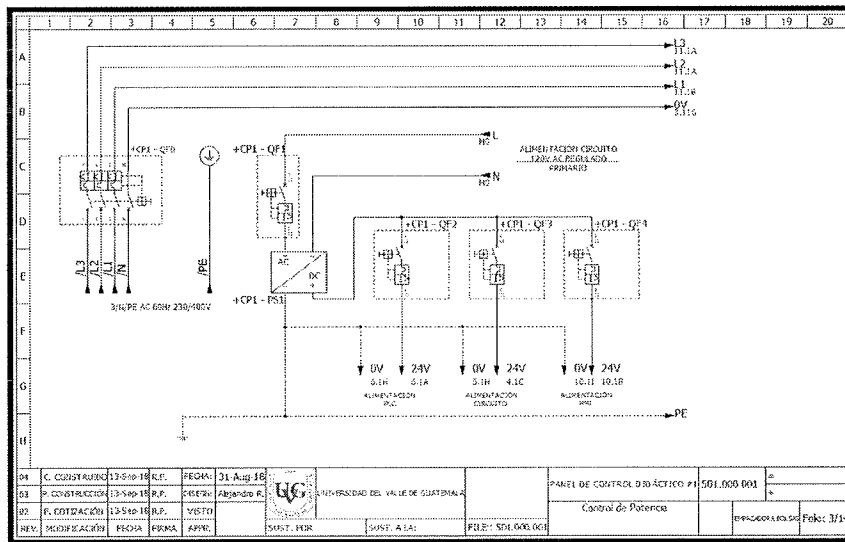


Figura 63: Página 10 del manual de operación..

Las siguientes dos páginas muestran la conexión de cada uno de los disyuntores de la máquina, y se muestra la conexión a su línea de voltaje para que sea más fácil su revisión. Cada uno de los nodos en las líneas indica la conexión hacia una bornera.

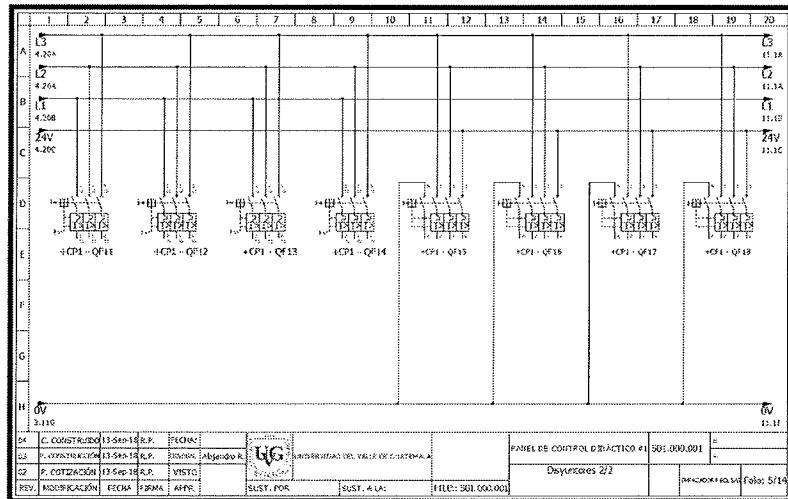
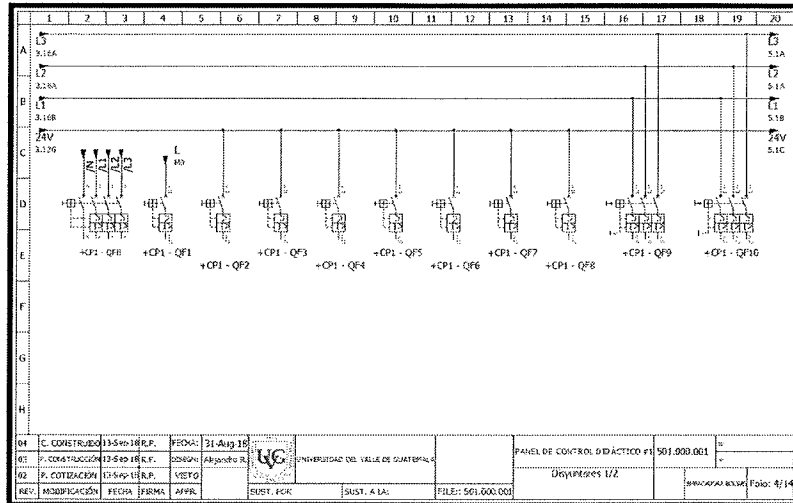
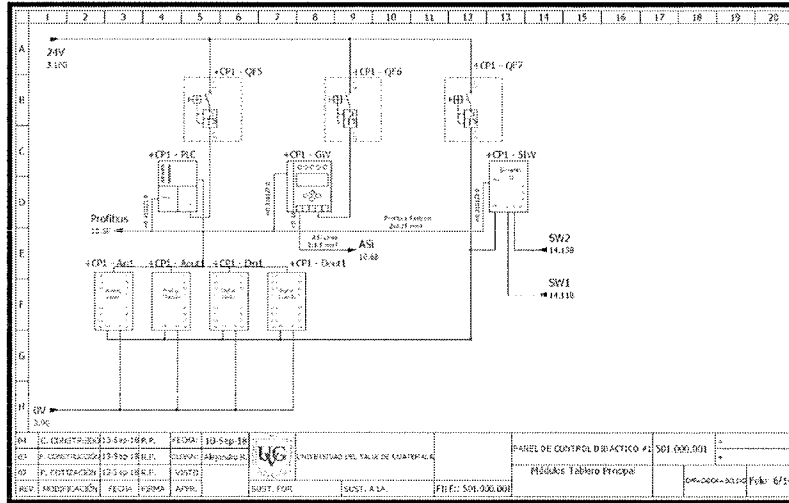


Figura 64: Página 11 del manual de operación.

El siguiente diagrama muestra la conexión entre los módulos principales y su línea de poder. Se debe agregar un disyuntor a cada una de las entradas de voltaje de los módulos.



El componente nombrado Dout1 se refiere al módulo de salidas digitales del tablero eléctrico, al igual que el componente AO1 (salidas analógicas). Los componentes A11-A14 se refiere al módulo de entradas analógicas del campo (compatible con el bus de campo ASI).

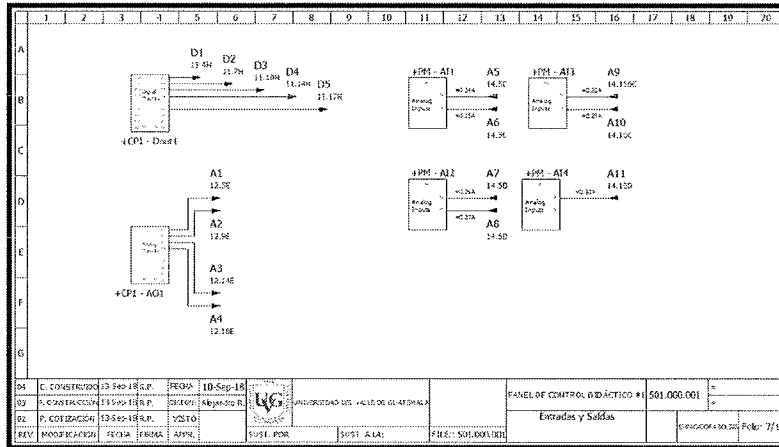


Figura 65: Página 12 del manual de operación.



Los dos siguientes diagramas muestran la conexión entre los componentes de un mismo bus de campo (el primero es Profibus y el segundo ASI). Esto para que sea más sencillo revisar la conexión de los componentes de estos buses de campo.

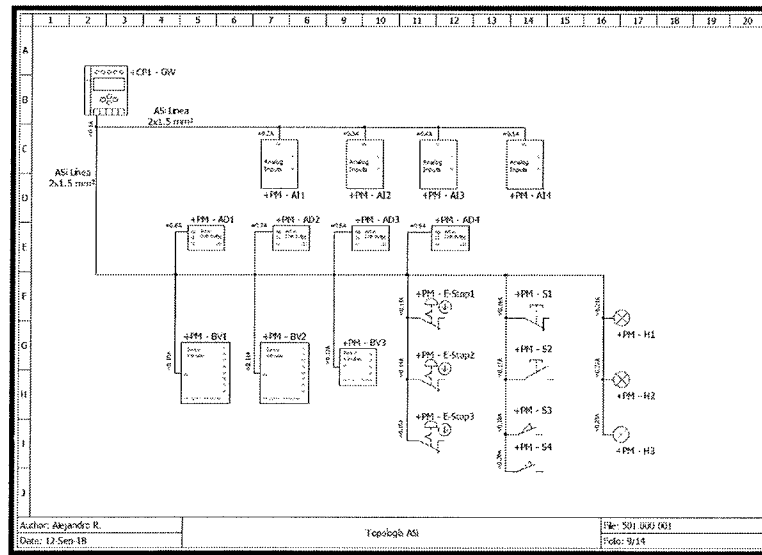
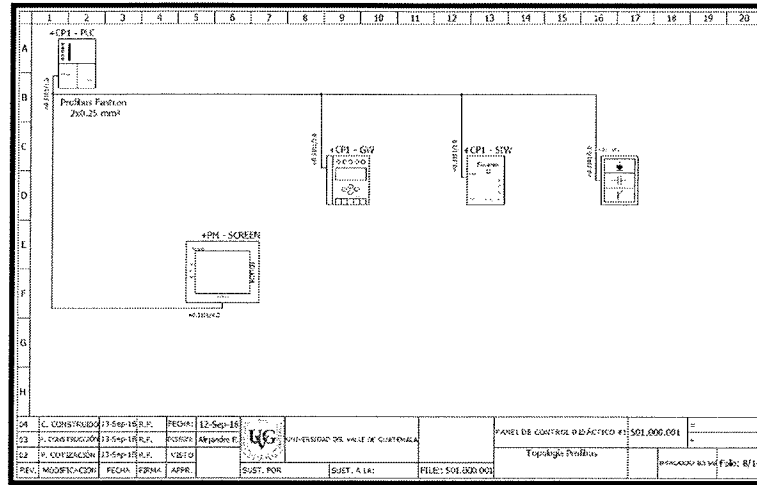
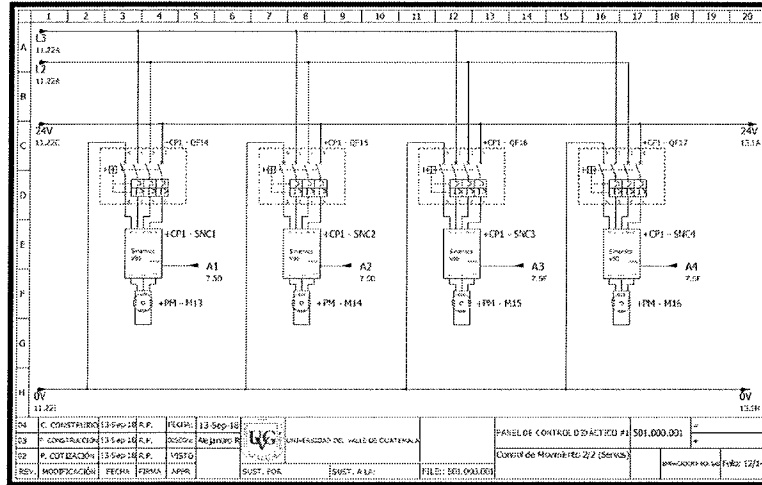


Figura 66: Página 13 del manual de operación.



La conexión de los servomotores se muestra en el siguiente diagrama. Éstos se conectan a un disyuntor cuyas entradas se conectan a tierra, 24V y a dos líneas de la fuente trifásica.



El siguiente diagrama muestra la conexión de los módulos de electroválvulas seleccionados, en donde se conectan también dichos sensores capacitivos.

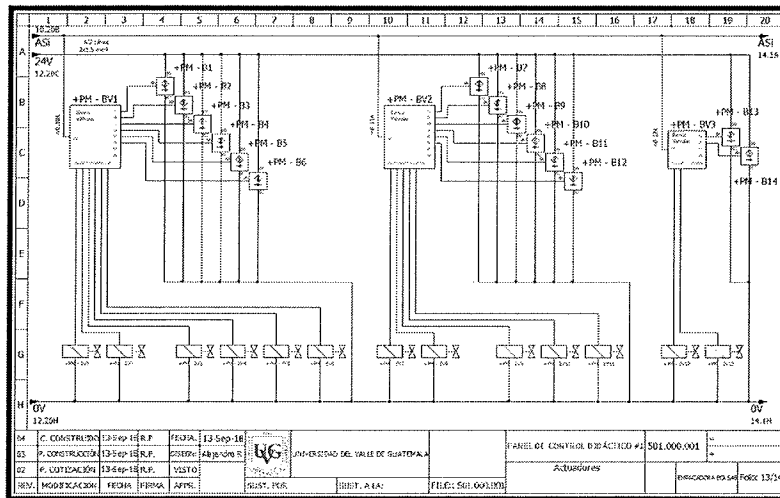
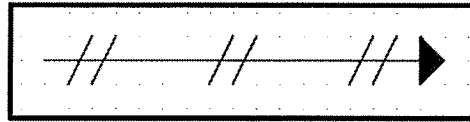


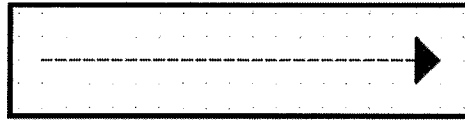
Figura 68: Página 15 del manual de operación.



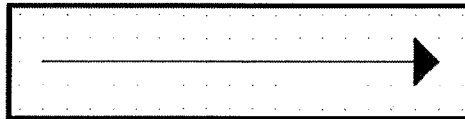
Hay tres tipos de líneas dentro del diagrama; la primera, mostrada a continuación, representa una conexión de tubería de aire comprimido.



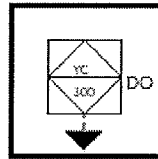
La segunda representa una conexión eléctrica entre dos componentes.



La tercera representa un proceso, en este caso, el proceso de las bandas transportadoras dentro de la máquina.



La siguiente figura representa la señal de control del PLC.



La siguiente figura representa el sensor capacitivo (YE) y el final de carrera (ZS).

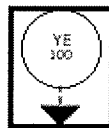
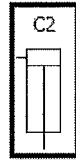


Figura 70: Página 17 del manual de operación..

Por último, se tienen los actuadores. El primer actuador es el cilindro neumático que se muestra en la siguiente figura.



El segundo actuador, la válvula de vacío, se representa con una ventosa de succión.

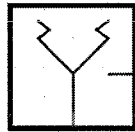


Figura 71: Página 1 del manual de operación.