



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ETIQUETADORA DE
GALONES PARA UNA EMPRESA FARMACÉUTICA”**

AUTOR: SR. CAHUASQUI VENEGAS, DOWAL FABRICIO

DIRECTOR: ING. OROZCO BRITO, LUIS ALBERTO

SANGOLQUÍ

2019




**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELETRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*Automatización de una máquina etiquetadora de galones para una empresa farmacéutica*" fue realizado por el señor *Cahuasqui Venegas Dowal Fabricio* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 2 de diciembre del 2019

Firma


Ing. Luis Alberto Orozco Brito

C. C. 1710443803



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELETRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Cahuasqui Venegas Dowal Fabricio*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Automatización de una máquina etiquetadora de galones para una empresa farmacéutica* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 2 de diciembre del 2019

Dowal Fabricio Cahuasqui Venegas

C.C.: 122167150




**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELETRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, *Cahuasqui Venegas Dowal Fabricio* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Automatización de una máquina etiquetadora de galones para una empresa farmacéutica* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 2 de diciembre del 2019


Firma
Dowal Fabricio Cahuasqui Venegas
C.C.:... *A22167150*

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a mis papas que han sabido ayudarme en las dificultades que ha tenido esta carrera y a mis amigos que me han auxiliado en las dudas que he tenido a lo largo de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y amigos por ser las personas que me han acompañado en este recorrido de estudios.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e Importancia	2
1.3. Alcance del proyecto	3
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO II	
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
2.1. Descripción Mecánica	9
2.1.1. Banda Transportadora	9
2.1.2. Dosificación de etiquetas	10
2.2. Descripción de componentes Eléctricos y Electrónicos	12
2.2.1. Motor a Pasos	12
2.2.2. Driver o controlador de motor a pasos	14
2.2.3. Motor eléctrico	14
2.2.4. Variador de frecuencia	14
2.2.5. Controlador Lógico Programable (PLC)	15
2.2.6. Sensor Fotoeléctrico	15

CAPÍTULO III**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....16**

3.1. Descripción de la planta.....	16
3.2. Ingeniería de control	17
3.2.1. Etapa 1: Secado	17
3.2.2. Etapa 2: Etiquetado.....	17
3.2.3. Etapa 3: Despacho	18
3.2.4. Banda principal, Banda de despacho y Separador.....	19
3.3. Dimensionamiento del controlador, instrumentación y actuadores	20
3.4. Diseño del sistema eléctrico electrónico.....	22
3.4.1. Circuito de control y de potencia.....	22
3.5. Distribución del tablero de control	26
3.6. Sistema neumático	27
3.7. Diagrama grafcet.....	28
3.8. Programación del PLC.....	31
3.9. Diseño de la interfaz HMI	32

Capítulo IV**IMPLEMENTACIÓN35**

4.1. Implementación	35
4.2. Pruebas y resultados.....	39
4.2.1. Resultados en proceso de producción.....	42

CAPÍTULO V**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES44**

5.1. Conclusiones.....	44
5.2. Recomendaciones	45

BIBLIOGRAFÍA46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la etiquetadora	4
Figura 2. Etapa de etiquetado.....	4
Figura 3. Etapa de despacho del recipiente	5
Figura 4. Vista de las bandas.....	6
Figura 5. Diagrama de bloques	6
Figura 6. Componentes mecánicos	10
Figura 7. Eje acoplado al motor a pasos	11
Figura 8. Partes de la cama de rodillos	11
Figura 9. Camino de la cinta de etiquetas	12
Figura 10. Motor a pasos bipolar	13
Figura 11. Motor a pasos unipolar	13
Figura 12. Componentes de las etapas de la máquina etiquetadora.....	16
Figura 13. Diagrama de bloques etapa de secado	17
Figura 14. Diagrama de bloques etapa de etiquetado.....	18
Figura 15. Diagrama de bloques etapa de despacho	19
Figura 16. Diagrama de bloques de bandas y separador.....	19
Figura 17. Interconexión eléctrica.....	21
Figura 18. Esquema de control.....	23
Figura 19. Diagrama de conexión en terminales de los variadores y driver	24
Figura 20. Diagrama de potencia	25
Figura 21. Distribución de dispositivos	27
Figura 22. Diseño del sistema neumático	28
Figura 23. Grafcet de marchas	29
Figura 24. Grafcet de producción: secado.....	30
Figura 25. Grafcet de producción: etiquetado.....	30
Figura 26. Grafcet de producción: etiquetado.....	31
Figura 27. Grafcet de producción: cola de galones.....	31
Figura 28. Ventana principal.....	32
Figura 29. Ventana de configuración	33
Figura 30. Estructura banda principal	35
Figura 31. Soportes banda principal.....	36
Figura 32. Guías de la banda principal.....	36
Figura 33. Ensamblaje cama de rodillos	37
Figura 34. Ensamblaje de la banda de despacho.....	37
Figura 35. Cableado tablero de control de la máquina etiquetadora	38
Figura 36. Acoplamiento de la caja de control a la parte estructural.	39
Figura 37. Máquina etiquetadora	39

Figura 38. Regulador de caudal	40
Figura 39. Velocidades de motores	41
Figura 40. Velocidades finales	41
Figura 41. Galones etiquetados	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Descripción de la ventana principal</i>	33
Tabla 2 <i>Descripción de la ventana de configuración</i>	34
Tabla 3 <i>Tiempo de salida lote de producción</i>	42
Tabla 4 <i>Tiempo de recuperación de inversión</i>	43

RESUMEN

Actualmente la industria ecuatoriana tiene la necesidad de actualizar los procesos de producción con máquinas automatizadas para conseguir ahorro de recursos económicos, aumentar la eficiencia y con esto mejorar la productividad. Este trabajo resuelve la necesidad que presenta una empresa farmacéutica de automatizar su proceso de etiquetado de galones; para ello se propone un diseño mecánico, el mismo que es aprobado por la empresa farmacéutica y posteriormente se procede a su fabricación. Teniendo la estructura mecánica, se diseña el sistema de control en tres etapas que son: secado, etiquetado y despacho, cada una de estas trabajan de manera independiente para llegar a su cometido; en seguida, se realiza el dimensionamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos que requiere la máquina etiquetadora. Luego se diseña los circuitos de conexión de los dispositivos, como también el sistema neumático. Con los diseños, se arma los circuitos en el tablero de control y a continuación se programa el controlador y el HMI; para proseguir con las pruebas y los ajustes necesarios, llegando a acoplarse al proceso de producción y de esta forma mejorar tiempo y calidad en el etiquetado de galones, demostrando que la máquina etiquetadora realiza el funcionamiento adecuado.

PALABRAS CLAVE:

- **SECADO**
- **ETIQUETADO**
- **DESPACHO**
- **ETIQUETADORA.**

ABSTRACT

Nowadays the Ecuadorian industry has the need to update the production processes with automated machines in order to saving economic resources, increase efficiency and improve productivity. This work presents the need to automate the gallon labeling process of a pharmaceutical company, for this a mechanical design is proposed, this is approved by the client company and then it is manufactured. Having the mechanical structure, the operation is analyzed by stages that are: drying, labeling and dispatch, each of these work independently to reach its task; next, it is determined the dimensioning of electrical and electronic devices required by the labeling machine. Then the connection circuits of the devices are designed, as well as the pneumatic system. With the designs, the circuits are assembled on the control board and then the controller and the HMI are programmed; to continue with the tests and the necessary adjustments, getting to couple to the production process and thus improve time and quality in gallon labeling, demonstrating that the labeling machine performs proper operation.

KEYWORDS:

- **DRYING**
- **LABELING**
- **DISPATCH**
- **LABELER**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo surge la necesidad en una empresa farmacéutica de automatizar su proceso de etiquetado, para lo cual debemos construir una máquina etiquetadora. A continuación, indicamos las características mecánicas y eléctricas de la misma.

1.1. Antecedentes

Con el pasar del tiempo la automatización en las industrias se está convirtiendo en algo muy necesario, ya que mejora tiempo, calidad en la producción, evita pérdidas de producto, ahorro de costes y repetición permanente sin fallos durante el periodo de trabajo. Debido a esto las empresas ecuatorianas buscan servicios que resuelvan estos requerimientos para la producción.

Teniendo en cuenta las necesidades que tiene la industria en el país, nace la empresa METALINOX con la misión de brindar este servicio de automatización faltante hoy en día en la industria nacional.

METALINOX se encarga de automatización y construcción de maquinaria para la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia.

Cuando una persona coloca etiquetas manualmente comete muchos errores; como, por ejemplo: colocar la etiqueta descuadrada lo que genera bolsas de aire, ya que la percepción de una persona es muy baja en comparación a la percepción que tendría una máquina, también puede ocurrir que ponga la etiqueta doblada o que la ensucie con sus manos, generando pérdidas de producto.

Estos problemas ocurren a diario en algunas empresas nacionales, razón por lo que acuden a la empresa METALINOX para solucionar los inconvenientes que tiene en este proceso de etiquetado.

Una máquina etiquetadora es un dispositivo que sirve para poner etiquetas en recipientes de cualquier tipo de sustancia normalmente de consumo humano.

Una de las ventajas más importantes de construir una máquina etiquetadora son la uniformidad en el etiquetado, la que no podría ser conseguida por una persona, debido a los errores que pueda cometer; además se consigue aumentar la producción.

1.2. Justificación e Importancia

En la actualidad las empresas nacionales tienen la necesidad de actualizar su mano de obra a máquinas automatizadas para mejorar tiempos, calidad en la producción y reducir costos. A la vez el consumidor se ve beneficiado con un producto de mejor calidad dado que es resultado de un proceso más preciso y minucioso.

Este proyecto se enfocará en cumplir la necesidad de una empresa farmacéutica que requiere un proceso automatizado para etiquetar galones de medicamento para diálisis.

Los requerimientos que desea la empresa son:

- Necesita secar el galón ya que desde la envasadora pueden venir húmedos.
- Necesita que el galón se etiquete en la posición correcta.
- Necesita que los galones se despachen en pares.

Para que el proyecto cumpla con los requerimientos mencionados, se diseña una máquina con las dimensiones solicitadas, también se diseña un sistema neumático para la parte de secado y un sistema de automatización para controlar las tres necesidades antes planteadas.

Este proyecto contribuye a poner en práctica y reforzar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera de automatización y control para beneficio de la sociedad. Además, permite conocer el estado de la tecnología industrial en el mercado nacional y adquirir conocimientos nuevos referentes al área de mecánica.

1.3. Alcance del proyecto

El proyecto tiene la finalidad de implementar y automatizar una máquina etiquetadora de galones de medicamentos de diálisis para una empresa farmacéutica, de acuerdo a un diseño previo aprobado por el cliente y METALINOX.

De acuerdo a los requerimientos del cliente para lograr un correcto etiquetado, la máquina etiquetadora tiene que poseer tres etapas (Figura 1). La primera permite secar el galón que entra a la banda transportadora ya que este ingresa húmedo, en la segunda se etiqueta el galón y en la tercera se despacha los galones a una banda transportadora.

Para el traslado de los galones entre las diferentes etapas se ocupa una banda transportadora, el movimiento de esta banda está a cargo de un motor AC con un variador de frecuencia.

En la etapa de secado se utilizará un sistema de aire a presión, este sistema fabricado en el taller de la empresa y su funcionamiento será por medio de boquillas de aspersion de aire, este saldrá y roseará al recipiente transportado por la banda ayudando a retirar cualquier residuo de líquido que haya quedado luego de ser llenado.

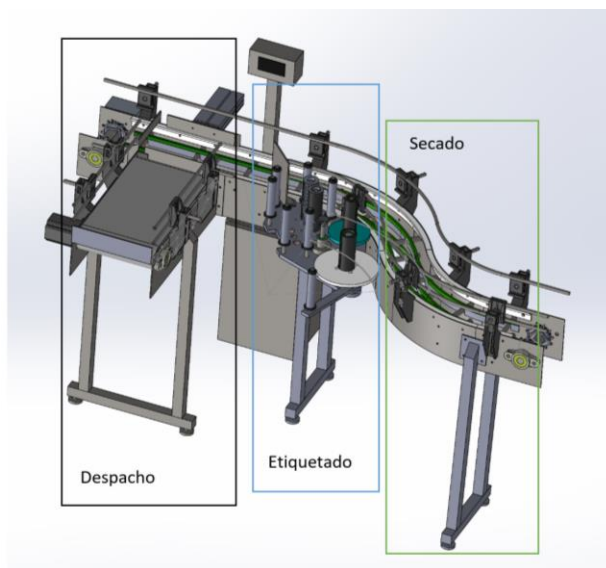


Figura 1. Etapas de la etiquetadora

Para el control del sistema de secado se utiliza un sensor de presencia el cual detecta cuando el recipiente llega a la posición adecuada, luego se activa una electroválvula que habilitará el paso de aire hacia las boquillas de aspersor.

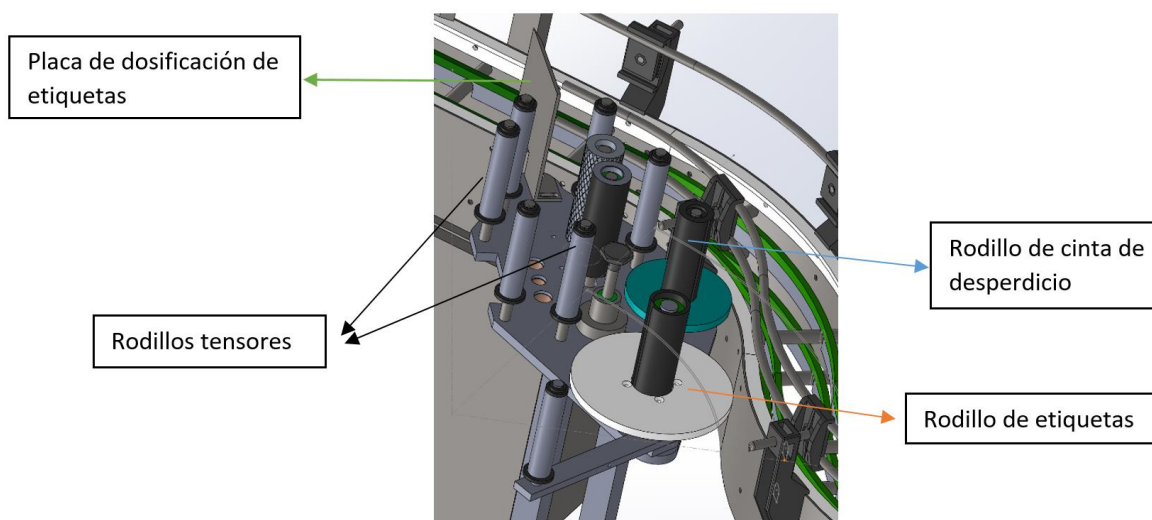


Figura 2. Etapa de etiquetado

La etapa de etiquetado (Figura 2) se lleva a cabo mediante el contacto de la etiqueta con el recipiente gracias al adhesivo que tiene la misma, dicha etapa está compuesta por una cama que carga las partes electromecánicas para la dosificación de la etiqueta, primero se tiene el rodillo que cargará el rollo de etiquetas, luego este mismo rollo pasará por rodillos tensores, para posteriormente continuar por unos rodillos de transmisión los cuales están conectados al eje ensamblado en el motor que hará la transmisión del movimiento, después pasa por una placa de dosificación de etiquetas que ayuda a la adherencia de la etiqueta al recipiente, por último existe un rodillo que va a cargar con la cinta de desperdicio.

En el sistema de actuación se propone utilizar un motor a pasos para el movimiento de la etiqueta y para el sistema de instrumentación un sensor de presencia ubicado en la banda de transporte y un sensor de contraste en el rollo de etiquetas.

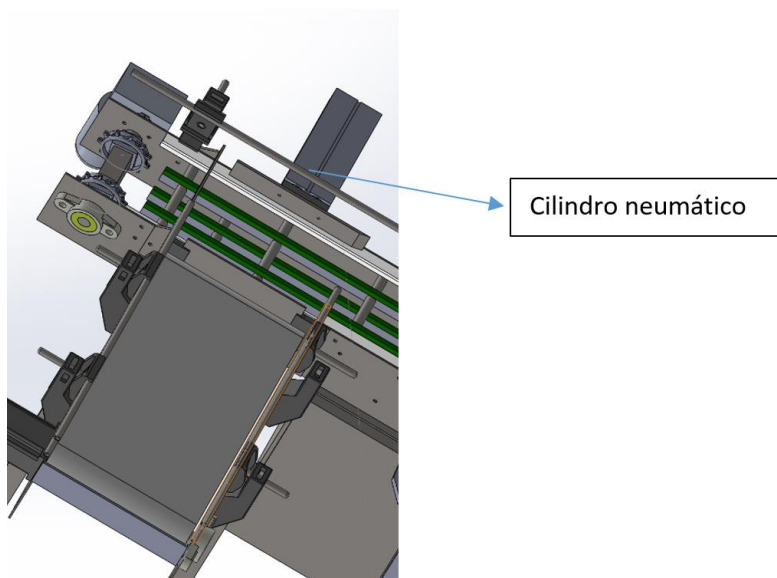


Figura 3. Etapa de despacho del recipiente

En la etapa de despacho (Figura 3) se hace una cola de dos recipientes, luego estos son empujados por un cilindro neumático a una banda transportadora que despacha los recipientes en pares.

Para el control de esta etapa, se ocupa un sensor de presencia para detectar los recipientes pasantes, luego se activa una electroválvula accionando el cilindro neumático señalado.

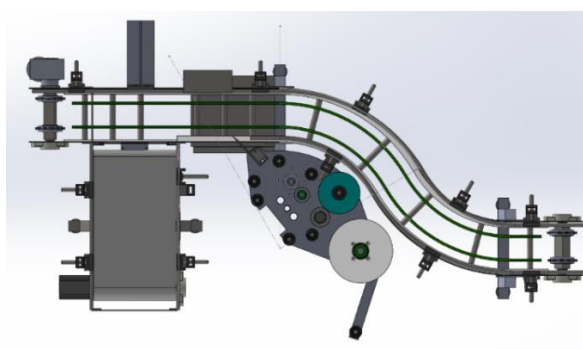


Figura 4. Vista de las bandas

El control de las etapas de la máquina se retroalimenta con los sensores antes mencionados junto con la ayuda de un controlador lógico programable PLC para que con la interacción de los actuadores realice un correcto etiquetado (Figura 5).

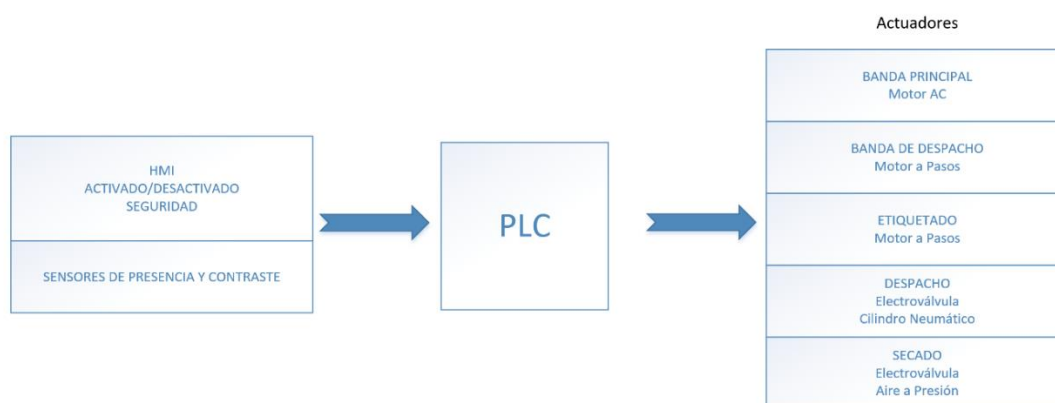


Figura 5. Diagrama de bloques

Para la interacción del operador y la máquina etiquetadora se utiliza una interfaz humano-máquina HMI táctil que permite tener el control de encendido, apagado y control de velocidades de motores de la misma.

El proyecto a realizar está dividido en tres fases las cuales se detallan a continuación:

- En la primera fase del proyecto, se arma y ensambla toda la parte mecánica de la máquina etiquetadora.
- En la siguiente fase se selecciona todos los componentes eléctricos y electrónicos que se ocupa en la máquina etiquetadora para luego ser armado el tablero de control.
- En la tercera fase se conecta los sensores y actuadores al tablero de control y se realiza las respectivas pruebas y calibración de los componentes que llevará la máquina etiquetadora.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Automatizar una máquina etiquetadora de galones en una empresa farmacéutica para optimizar recursos y mejorar la producción.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Implementar un sistema neumático tanto para el secado y despacho de la etiquetadora.
- Implementar un sistema eléctrico que controle los motores AC y a pasos que realiza el movimiento a las bandas transportadoras que conforman la máquina etiquetadora.

- Implementar un sistema de control que permita hacer el etiquetado, despacho y secado de galones mediante la utilización de un PLC que interactúa con los sensores de presencia y contraste.
- Elaborar una interfaz de usuario que permita manipular el control de la máquina etiquetadora por parte del operario.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se habla de las características mecánicas que posee la máquina etiquetadora y de los términos eléctricos y electrónicos que se utilizan en futuros capítulos.

La automatización de la máquina etiquetadora se basa en un diseño hecho previamente en la empresa METALINOX y aprobado por el cliente de la empresa farmacéutica.

En base a las etapas mencionadas en la sección 1.3 se tiene un sistema mecánico que funcionará en conjunto a la parte eléctrica y electrónica de la máquina etiquetadora.

2.1. Descripción Mecánica

2.1.1. Banda Transportadora

Para el funcionamiento de la banda que transporta los galones de medicamento se tiene un sistema de acoplamiento de un eje mecánico hacia el motor (Figura 6) y otro eje hacia el otro extremo de la banda (Figura 6).

En cada uno de los ejes se colocará dos piñones los cuales ayudarán mediante el giro que nos ofrecerá el motor a mover la banda que viene en forma de cadena. Para que haya un correcto movimiento en cada extremo de los ejes se coloca una chumacera la cual centra al eje y permite que gire (Figura 6).

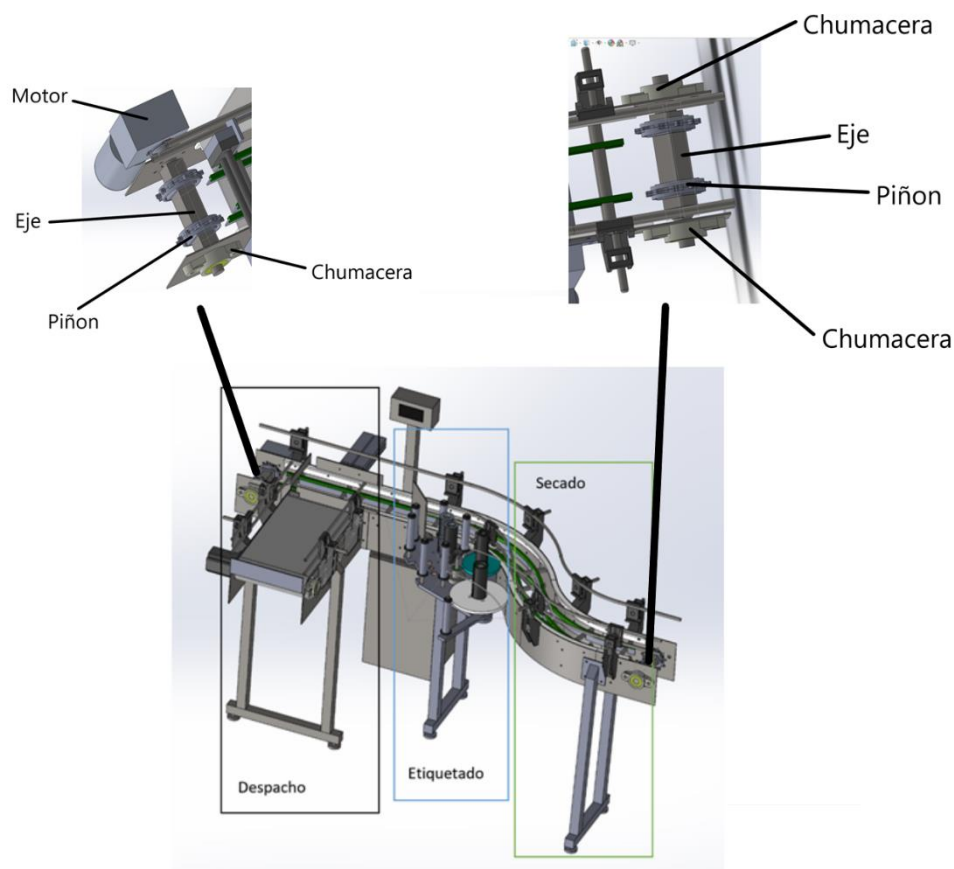


Figura 6. Componentes mecánicos

2.1.2. Dosificación de etiquetas

Para el funcionamiento de la dosificación de las etiquetas se acopla un eje al motor a pasos (Figura 7).

Al eje acoplado se lo envuelve de caucho y con ayuda de otro rodillo de aluminio troquelado generan fricción (Figura 8), para que con la tensión hecha por el camino de la cinta de etiquetas (Figura 9) haga que se envuelva en el rodillo de desperdicio y salga la etiqueta.

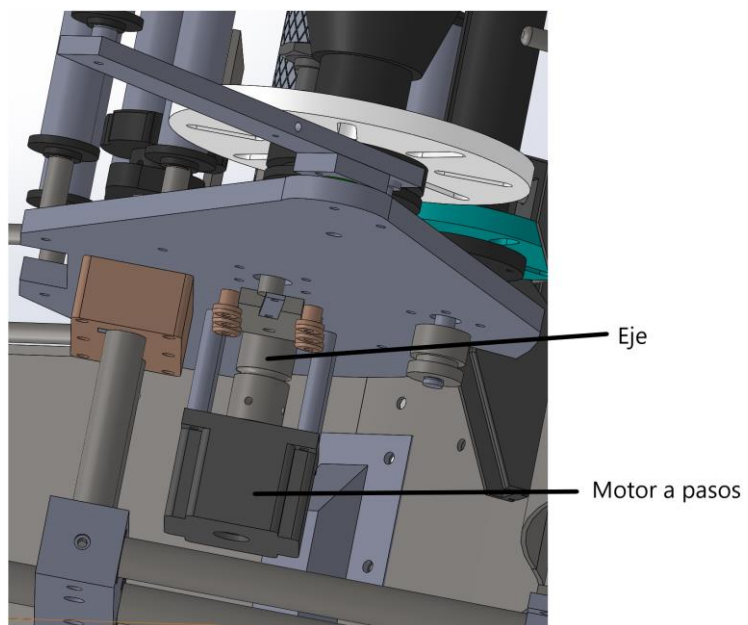


Figura 7. Eje acoplado al motor a pasos

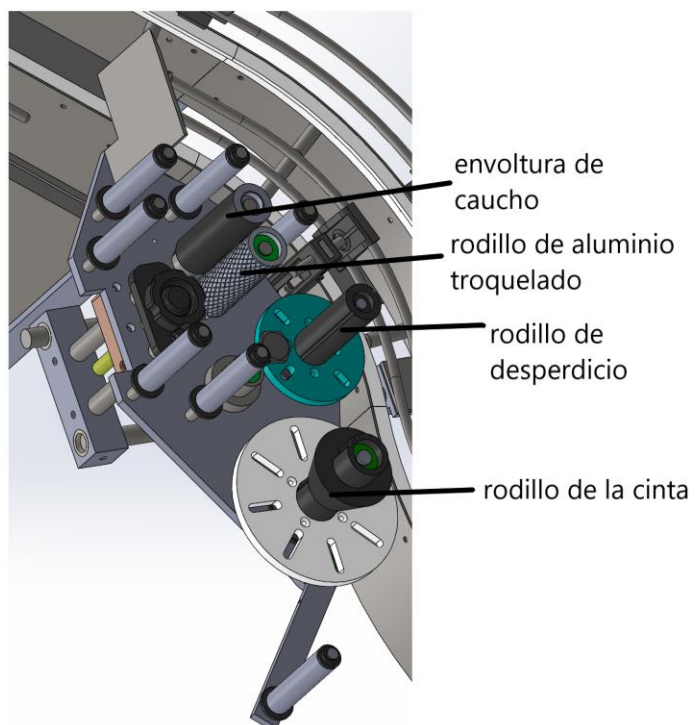


Figura 8. Partes de la cama de rodillos

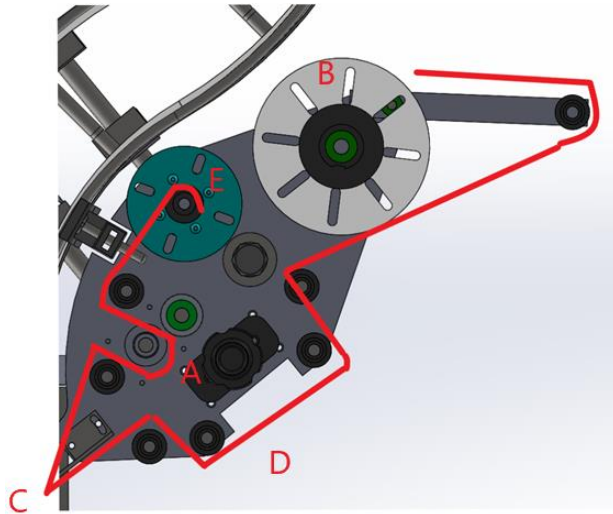


Figura 9. Camino de la cinta de etiquetas

En la Figura 9 se tiene el camino de la cinta de etiquetas adhesivas este movimiento comienza desde el punto A donde se encuentra el rodillo acoplado al motor a pasos este gira cuando el sensor de presencia detecta si hay un galón, en el mismo instante que sucede este giro hace que también se muevan el rodillo de etiquetas en el punto B, el rodillo de desperdicio en el punto E y desprendiendo una etiqueta en el punto C. Este movimiento se detiene cuando el sensor de contraste detecta que ya paso una etiqueta que se encuentra en punto D.

2.2. Descripción de componentes Eléctricos y Electrónicos

2.2.1. Motor a Pasos

“Estos motores ofrecen una gran precisión a la hora de realizar un giro, ya que permiten controlar, como su nombre indica, un paso, que no es más que un pequeño ángulo de giro” (Barra Zapata, 2011).

Existe 2 clases de motores a pasos los cuales son:

2.2.1.1. Motor a pasos bipolar

“Estos motores ofrecen una gran precisión a la hora de realizar un giro, ya que permiten controlar, como su nombre indica, un paso, que no es más que un pequeño ángulo de giro” (Barra Zapata, 2011, pág. 317) . En la Figura 10 se muestra la configuración bipolar del motor a pasos.

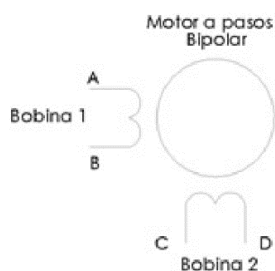


Figura 10. Motor a pasos bipolar

En la máquina etiquetadora se ocupa un motor a pasos bipolar ya que el proveedor de la empresa nos ofreció dicho motor.

2.2.1.2. Motor a pasos unipolar

“Este tipo de motores generalmente tienen 5 o 6 cables, dependiendo de la conexión interna, el control de los motores a pasos unipolares es más sencillo que los bipolares” (Barra Zapata, 2011, pág. 332). En la Figura 11 se observa la configuración unipolar del motor a pasos.

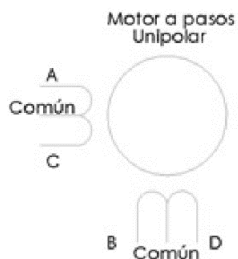


Figura 11. Motor a pasos unipolar

2.2.2. Driver o controlador de motor a pasos

Estos drives son conocidos como drivers moduladores de ancho de pulso (PWM) o drivers de corriente constante, utilizan una fuente de alto voltaje, la corriente de motor es regulada por la apertura y cierre de transistores a la salida, logrando un nivel de corriente medio. La característica más sobresaliente de este tipo de driver es la habilidad para manejar motores en modo de micro pasos, sin embargo, presentan una gran desventaja porque producen interferencias electromagnéticas (EMI) e interferencias de radiofrecuencias (RFI). (Life, 2008).

2.2.3. Motor eléctrico

Es una máquina que tiene la capacidad de producir movimiento mediante la transformación de la energía eléctrica en trabajo mecánico (Calloni, 2004).

En función al número de fases tenemos los siguientes motores:

- Motor monofásico
- Motor bifásico
- Motor trifásico

En esta máquina se ocupa tres motores trifásicos, dos para el movimiento de las bandas transportadoras y otro para el separador de galones.

2.2.4. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo de electrónica de potencia, que como su propio nombre lo dice, es capaz de modificar la frecuencia en hercios de la alimentación de un motor

(Martín, 2016). Ya que su función es modificar la frecuencia que ayuda a controlar la velocidad del motor.

2.2.5. Controlador Lógico Programable (PLC)

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas (DIEEC, 2011). Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

2.2.6. Sensor Fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos se basan en detectar un objeto que interrumpe o refleja un haz de luz. Disponen de amplio rango de distancias de detección desde muy cortas hasta metros.

El sistema de detección consiste en crear una barrera de luz mediante un haz. Consta de un emisor, que es encargado de generar y emitir el rayo de luz, y de un elemento receptor, que es encargado de recibir este rayo de luz.

Hay dos sistemas de detección: el sistema por bloqueo de haz y el sistema por retorno de haz o réflex (Miguel, 2018, pág. 103).

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se trata el diseño y componentes elegidos del sistema de control de toda la máquina etiquetadora. Cabe recalcar que los diseños realizados en este capítulo son de autoría propia y que los componentes utilizados para implementar son los que exigió la empresa METALINOX.

3.1. Descripción de la planta

Analizando las etapas del proceso de la máquina etiquetadora se establece que componentes van a poseer cada una de estas (Figura 12).

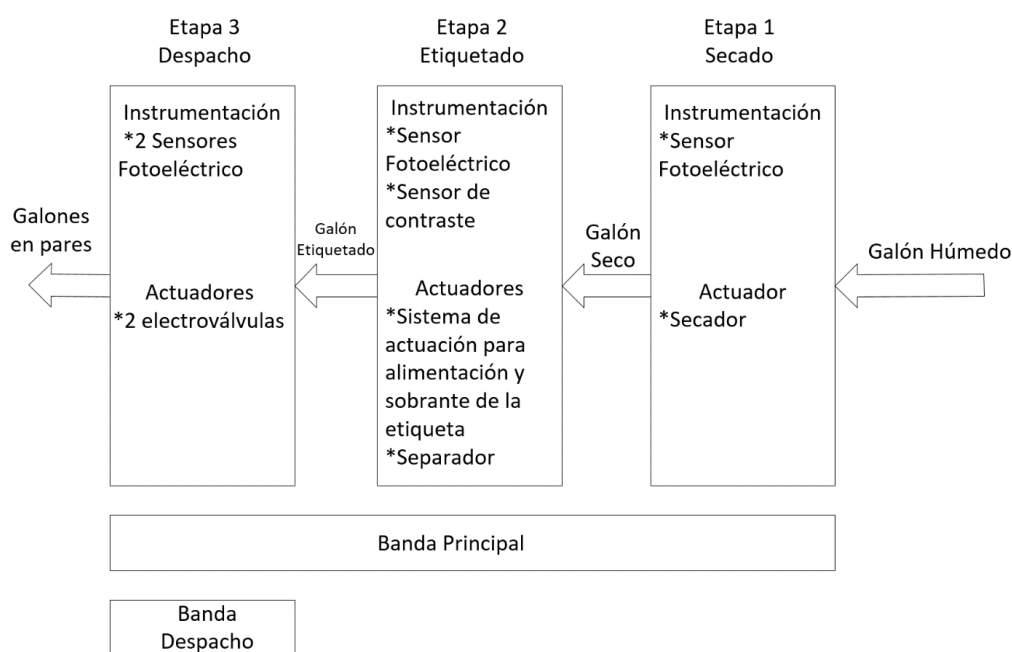


Figura 12. Componentes de las etapas de la máquina etiquetadora

Como se puede observar en la Figura 12 se establece que sensores y actuadores se ocupan en la máquina etiquetadora para que cumpla la función deseada que es secar, etiquetar y sacar en pares los galones.

En base al análisis se propone que funcione independientemente cada etapa que se trata en el siguiente numeral.

3.2. Ingeniería de control

En base a las etapas que se tiene se establece un diagrama de bloques, sistema eléctrico y sistema neumático para hacer el control de cada una.

3.2.1. Etapa 1: Secado

- Sistema de control

Para esta etapa se propone utilizar un sistema de control en lazo abierto, la variable a manipular es la humedad relativa del galón mediante la variable controlada que es el flujo de aire en el secador, todo esto funciona con la detección del galón mediante un sensor fotoeléctrico, con el objetivo de secar el galón húmedo. (Figura 13).

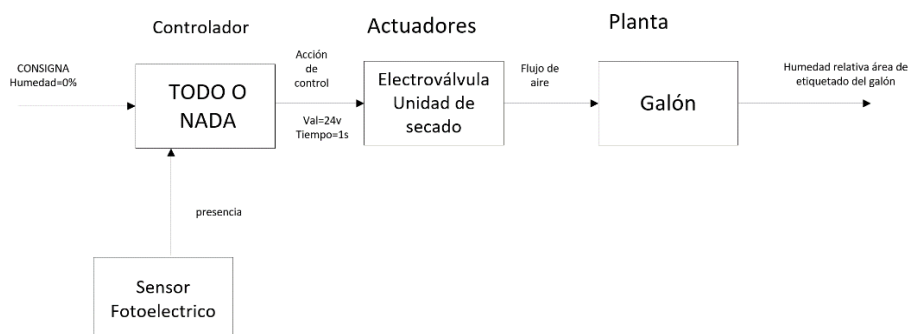


Figura 13. Diagrama de bloques etapa de secado

3.2.2. Etapa 2: Etiquetado

- Sistema de control

Para esta etapa se propone utilizar un sistema de control en lazo abierto, la variable a manipular es la posición relativa de etiqueta pegada en el galón mediante la variable controlada que es la etiqueta, todo esto funciona con la detección del galón mediante un sensor fotoeléctrico, con el objetivo de etiquetar el galón (Figura 14).

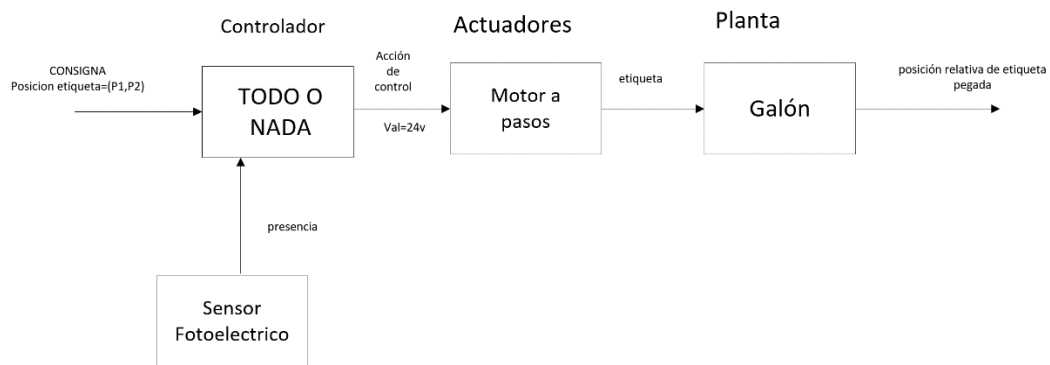


Figura 14. Diagrama de bloques etapa de etiquetado

3.2.3. Etapa 3: Despacho

- Sistema de control

Para esta etapa se propone utilizar un sistema de control en lazo abierto, la variable a manipular es la posición relativa de dos galones mediante la variable controlada que es retener y empujar los mismos, todo esto funciona con la detección de los galones mediante un sensor fotoeléctrico, con el objetivo de despachar los galones en pares (Figura 15).

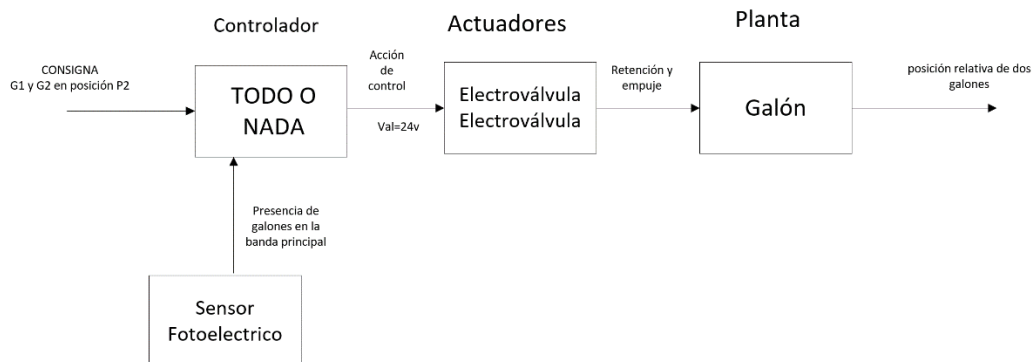


Figura 15. Diagrama de bloques etapa de despacho

3.2.4. Banda principal, Banda de despacho y Separador

- Sistema de control

Para esta etapa se propone utilizar un sistema de control en lazo abierto, la variable a manipular es el movimiento relativo del galón mediante la variable controlada que es el giro, todo esto funciona con el inicio del proceso, con el objetivo de desplazar y separar los galones

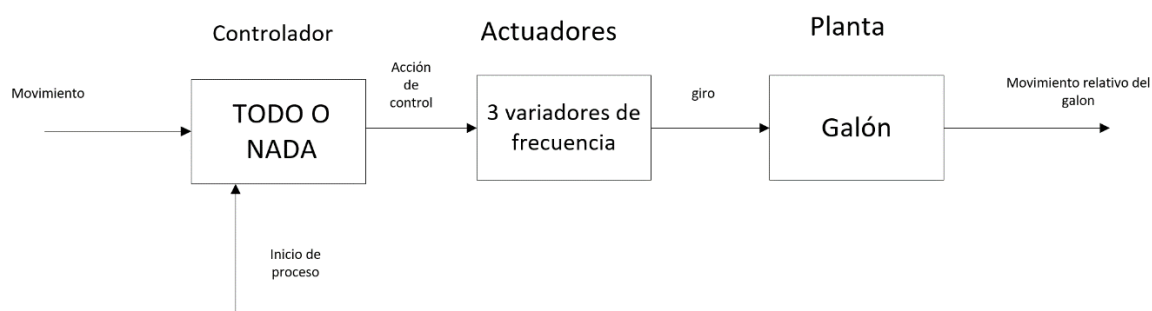


Figura 16. Diagrama de bloques de bandas y separador

Para poder implementar el sistema de control propuesto, en los siguientes numerales se explica el sistema eléctrico electrónico, neumático e Interfaz HMI.

3.3. Dimensionamiento del controlador, instrumentación y actuadores

En base a los elementos que se requiere en la máquina etiquetadora se propone la utilización:

- 1 PLC de 16 entradas, 16 salidas y 4 salidas analógicas.
- 4 sensores fotoeléctricos
- 1 sensor de contraste
- 3 variadores de frecuencia
- 1 motor a pasos
- 1 controlador de motor a pasos
- 3 motores eléctricos trifásicos
- 1 fuente de alimentación de 24v
- 40 borneras de conexión
- 1 interruptor de dos estados
- 1 breaker
- 3 electroválvulas
- 1 unidad de secado
- 2 cilindros neumáticos
- 1 panel táctil HMI

En base a los materiales antes mencionados se propone un diseño de interconexión de cada uno de estos (Figura 17).

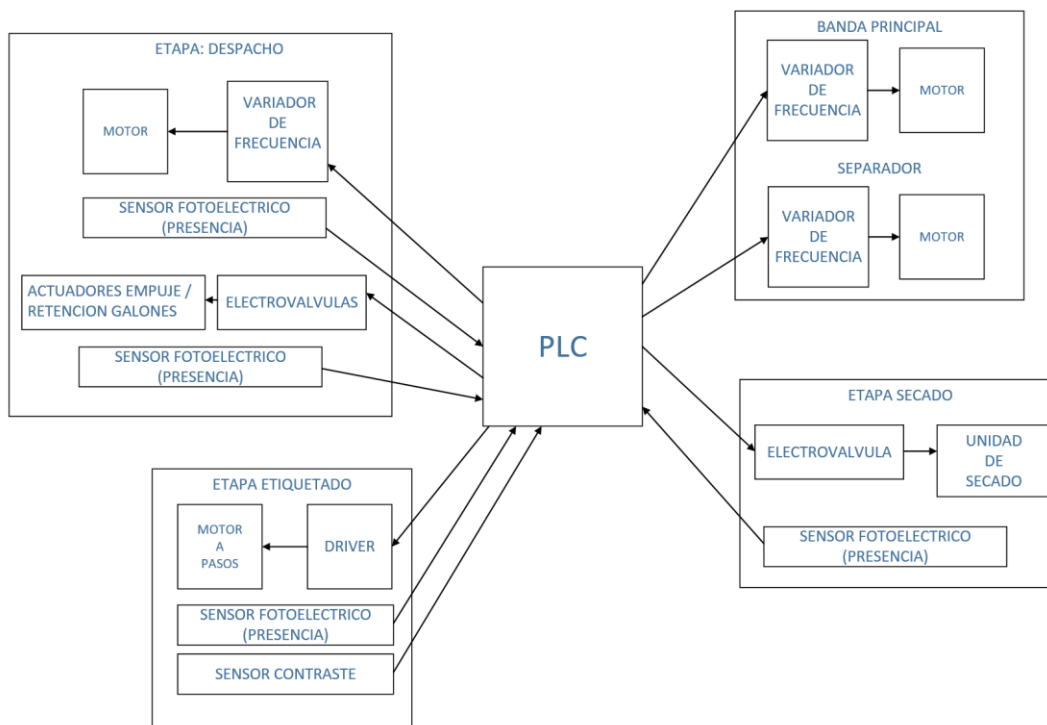


Figura 17. Interconexión eléctrica

Las direcciones de las flechas determinan si el PLC recibe o envía una señal. En la etapa de despacho usa un variador de frecuencia para poder controlar la velocidad del motor de la banda de despacho, un sensor de presencia para que vaya haciendo la cuenta de galones para que se despachen en pares, dos electroválvulas para que controlen el cilindro neumático de empuje y de retención y un sensor de presencia para que detecte si hay cola de galones en la etapa de despacho. En la etapa de etiquetado se tiene el controlador y el motor a pasos para que haga girar el camino de etiquetas, un sensor de presencia para que detecte cuando llegue un galón a la etapa de etiquetado y el sensor de contraste que nos avisa que ya paso una etiqueta. En la etapa de secado existe una electroválvula que nos ayuda a controlar el aire que se envía a la unidad de secado y un sensor de presencia que nos avisa si hay un galón en la etapa de secado. En la banda principal y el separador tenemos un motor y un variador de frecuencia para cada uno de estos.

La empresa METALINOX dispuso ocupar los siguientes dispositivos:

- 3 variadores de frecuencia marca MICNO modelo KE300x
- 1 fuente de alimentación marca Kinco modelo ps-2405
- 1 PLC Panasonic FPOR-C16P
- 1 módulo de expansión de entradas y salidas digitales marca Panasonic FPOR-E16T
- 2 módulos de entradas y salidas analógicas Panasonic AFPORA42
- 3 sensores fotoeléctricos marca ifm modelo O6H203
- 1 sensor fotoeléctrico marca ifm modelo OBF501
- 1 sensor de contraste fotoeléctrico marca Micro detectors modelo FC71/**_**_**
- 1 motor a pasos marca NEMA de 8.5N
- 1 motor trifásico marca motive tipo 63B-4
- 2 motor trifásico marca motive tipo 53C-4
- 1 HMI táctil Panasonic modelo GT707

Ya contando con todos los dispositivos, se puede diseñar los circuitos de control y potencia.

3.4. Diseño del sistema eléctrico electrónico

3.4.1. Circuito de control y de potencia

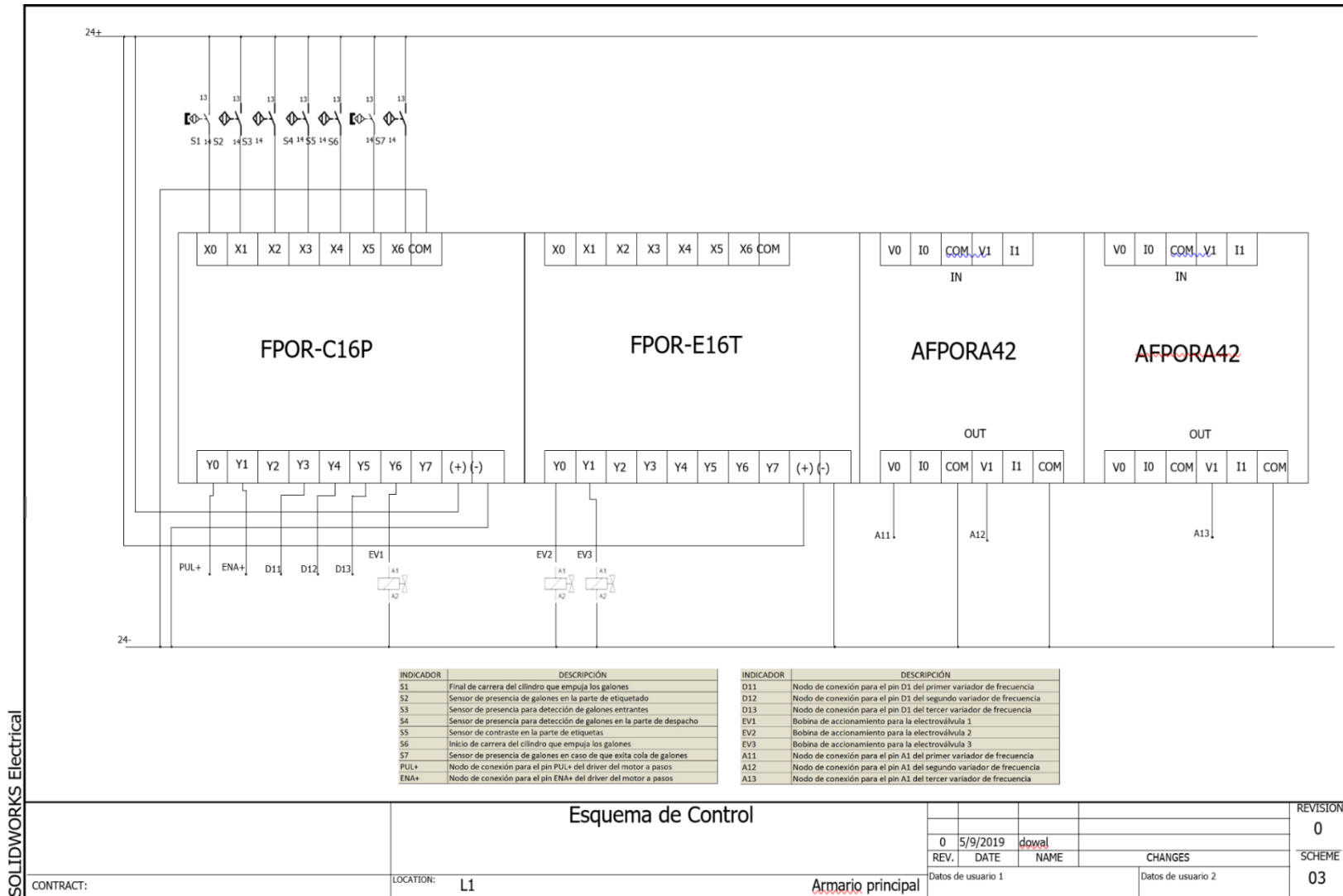


Figura 18. Esquema de control

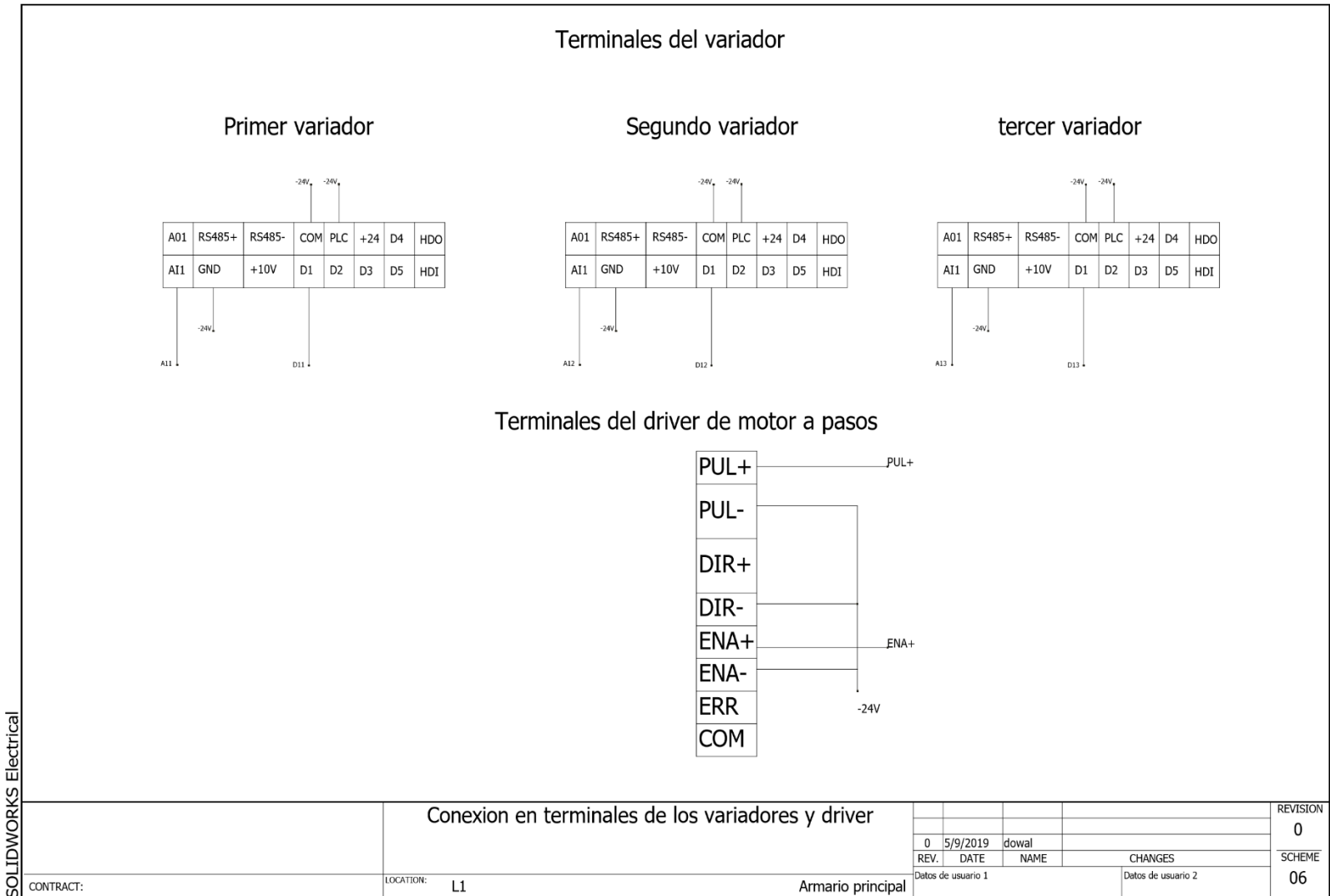


Figura 19. Diagrama de conexión en terminales de los variadores y driver

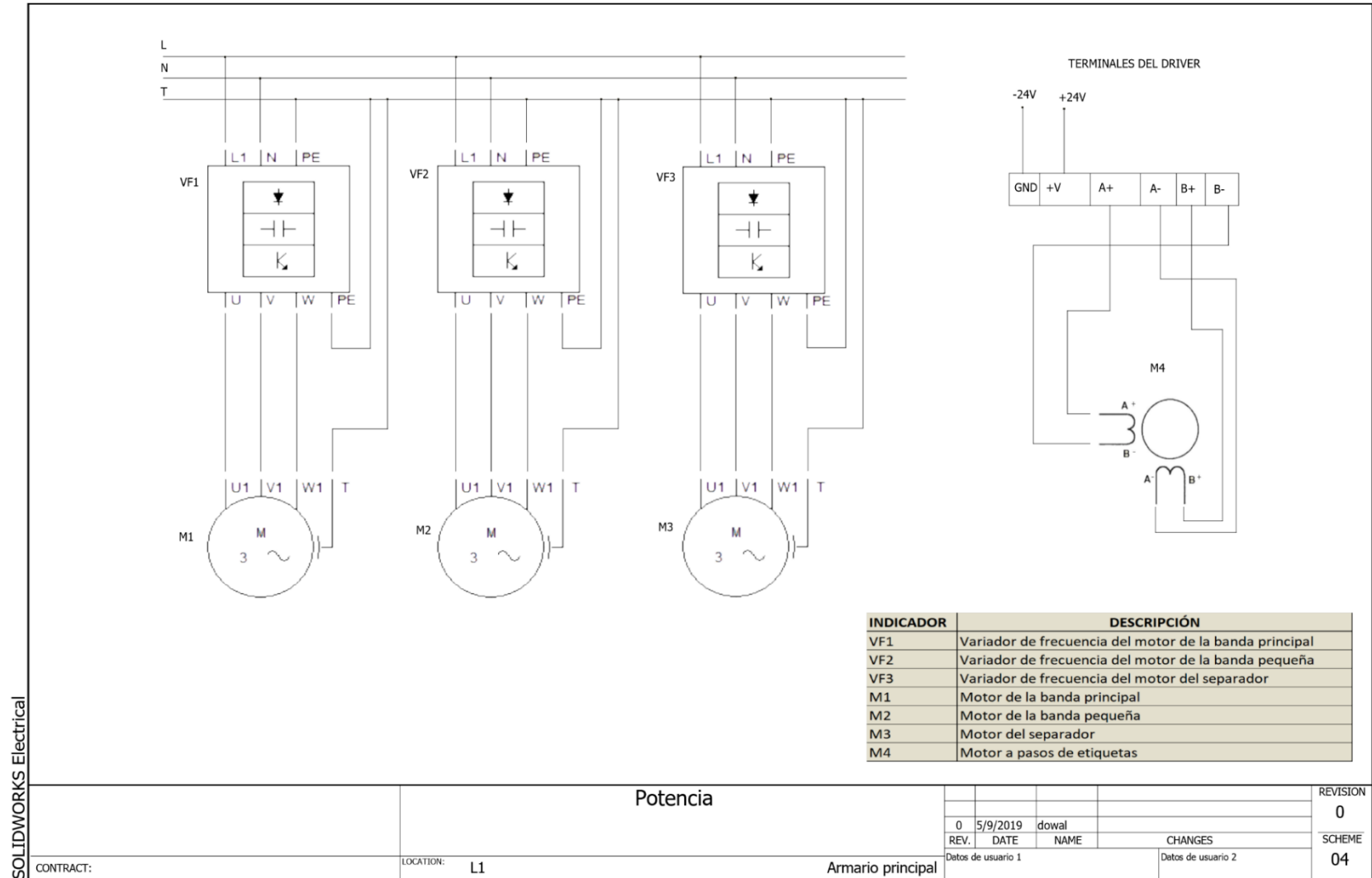


Figura 20. Diagrama de potencia

En la Figura 18 que es el control de la máquina etiquetadora, explica cómo es la conexión de los sensores y actuadores que va a tener la misma, en la parte superior de las entradas al PLC se tiene S1, S2, S3, S4, S5, S6 y S7 estos son todos los sensores que están en la máquina cabe decir que la descripción de cada material se encuentra en la parte inferior del diagrama en dos tablas.

En la parte inferior de las salidas del PLC se tiene los que son las electroválvulas EV1, EV2 que hacen funcionar a los cilindros de la etapa de despacho y EV3 al sistema de secado. También tenemos los nodos de conexión PUL+, ENA+, D11, D12, D13, A11, A12 y A13 estos son las conexiones que van a realizar con los terminales de cada variador y al driver que se explica en la Figura 19.

En la Figura 20 se explica cómo son las conexiones de los motores y como estos se conectan a los variadores de frecuencia y al driver de motor a pasos, se expone de manera detallada a que pin va cada una de las conexiones.

3.5. Distribución del tablero de control

En base a los dispositivos dispuestos por la empresa y como también al tamaño, forma de la caja del tablero de control se propone una distribución de materiales en el mismo.

Como se puede observar en la Figura 21 se ocupan una cantidad considerable de borneras de conexión y se debe a que en ese punto van a salir las conexiones a los motores y sensores que tiene la máquina etiquetadora ubicados en su estructura.

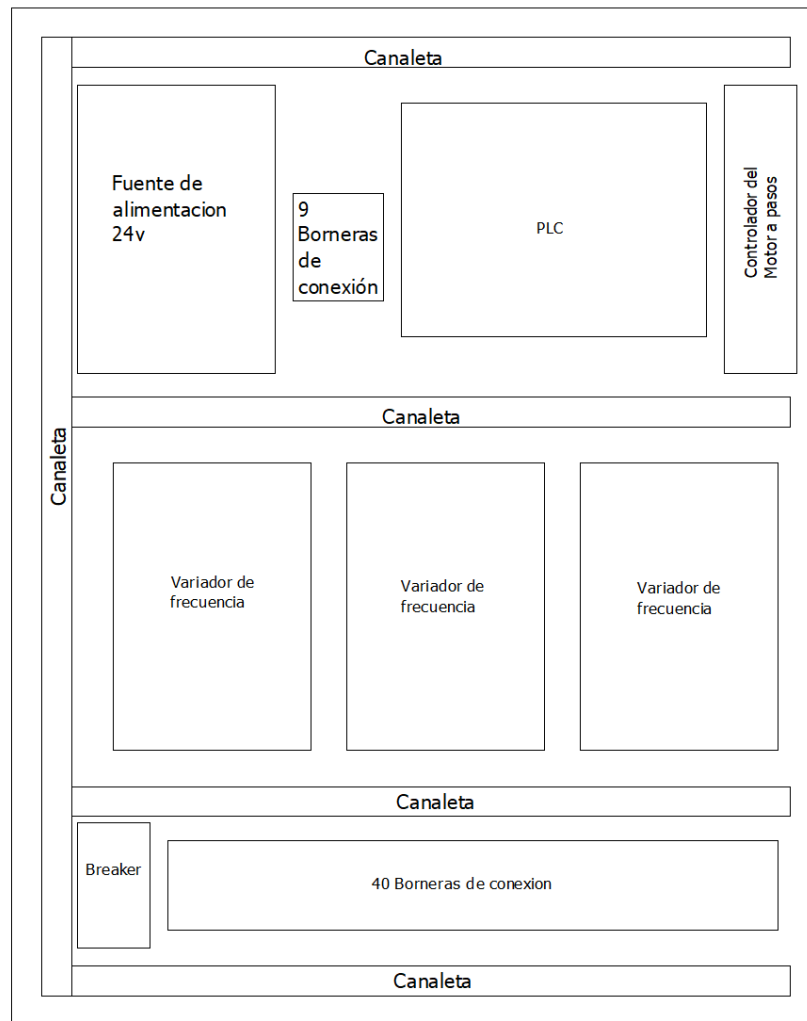


Figura 21. Distribución de dispositivos

3.6. Sistema neumático

Para el sistema neumático de la máquina etiquetadora se tomó en cuenta los siguientes elementos:

- Dos cilindros neumáticos
- Una unidad de secado y electroválvula de control

Ya con los elementos se propone utilizar tres electroválvulas neumáticas, una unidad de mantenimiento y un regulador de caudal para la unidad de secado.

En base a los elementos ya mencionados se realiza el diagrama neumático. En el cual al inicio de sistema neumático se requiere un compresor para que este alimente todo el sistema, luego se necesita una unidad de mantenimiento para que esta regule todo el aire a presión que se requiere en el sistema, para luego este se conecte con tres electroválvulas dos de estas conectadas a los cilindros neumáticos y la otra conectada a un regulador de caudal junto al sistema de secado implementado (Figura 22).

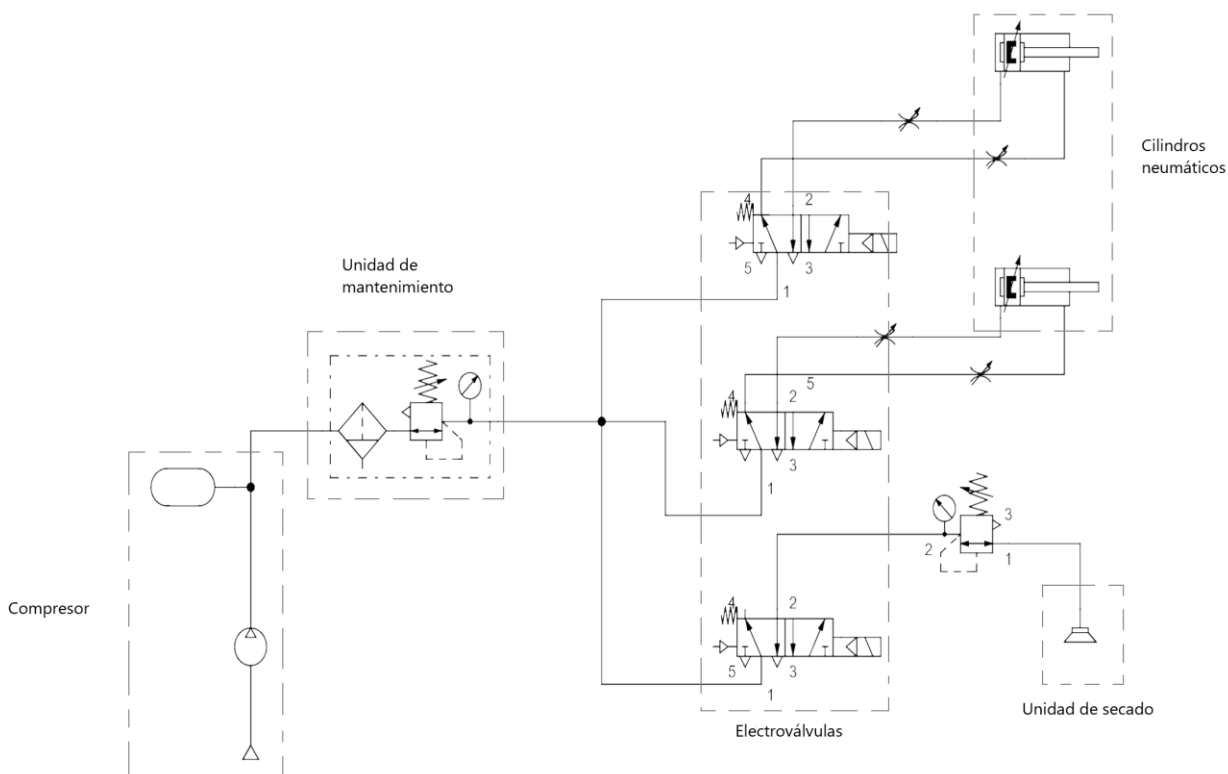


Figura 22. Diseño del sistema neumático

3.7. Diagrama grafcet

En base a los diagramas de bloques se establece un diagrama de flujo para la programación en el controlador.

- Grafcet de marchas

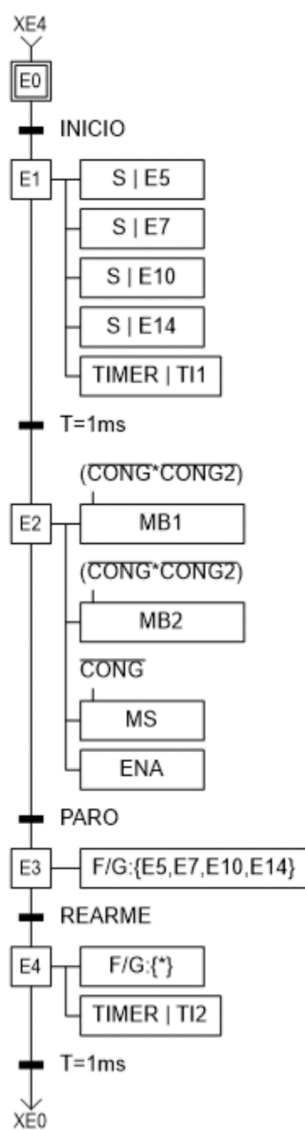


Figura 23. Grafcet de marchas

- Grafcet de producción: secado

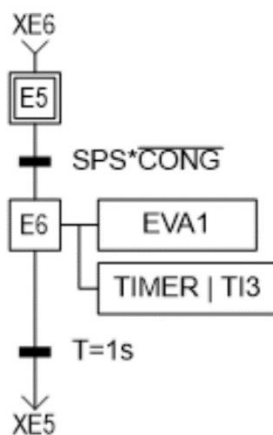


Figura 24. Grafcet de producción: secado

- Grafcet de producción: etiquetado

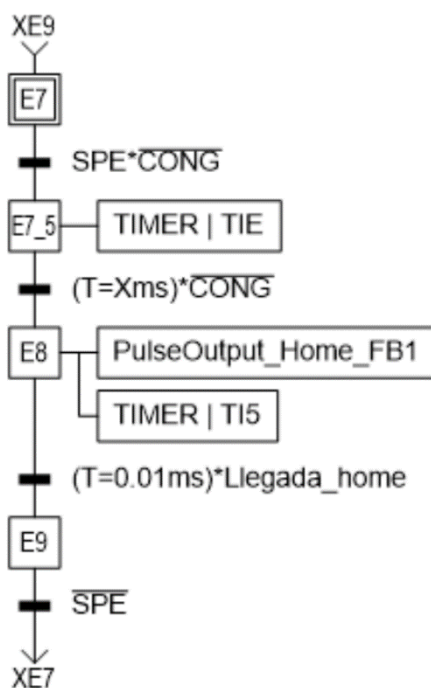


Figura 25. Grafcet de producción: etiquetado

- Grafcet de producción: despacho

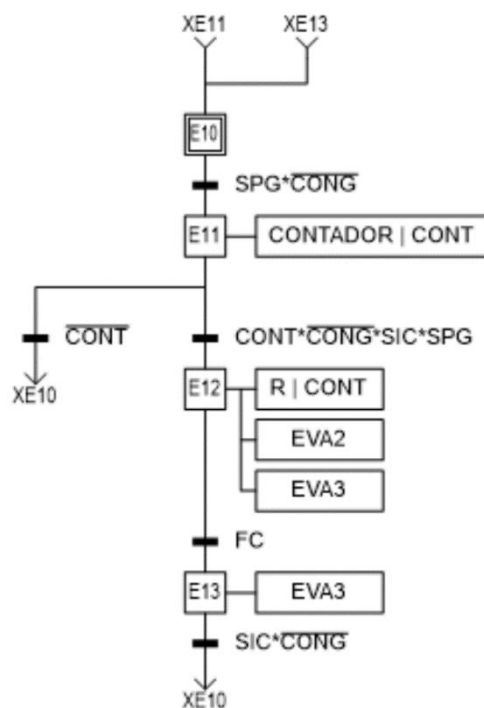


Figura 26. Grafcet de producció: etiquetado

- Grafcet de producció: cola de galones

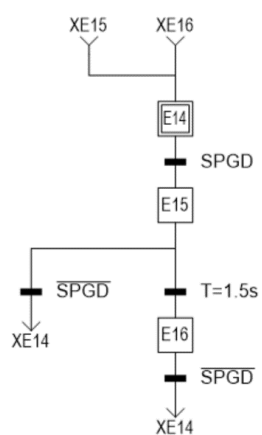


Figura 27. Grafcet de producció: cola de galones

3.8. Programació del PLC

Ya teniendo los diagramas se procede hacer la programación en el programa para los PLCs Panasonic mediante Control FPWIN Pro 7 que está ubicado en anexos.

3.9. Diseño de la interfaz HMI

Para el control de la máquina etiquetadora se hace a través de un panel de visualización HMI, para esto se hace el diseño de dos ventanas una la principal y la otra de configuración.

- Ventana Principal

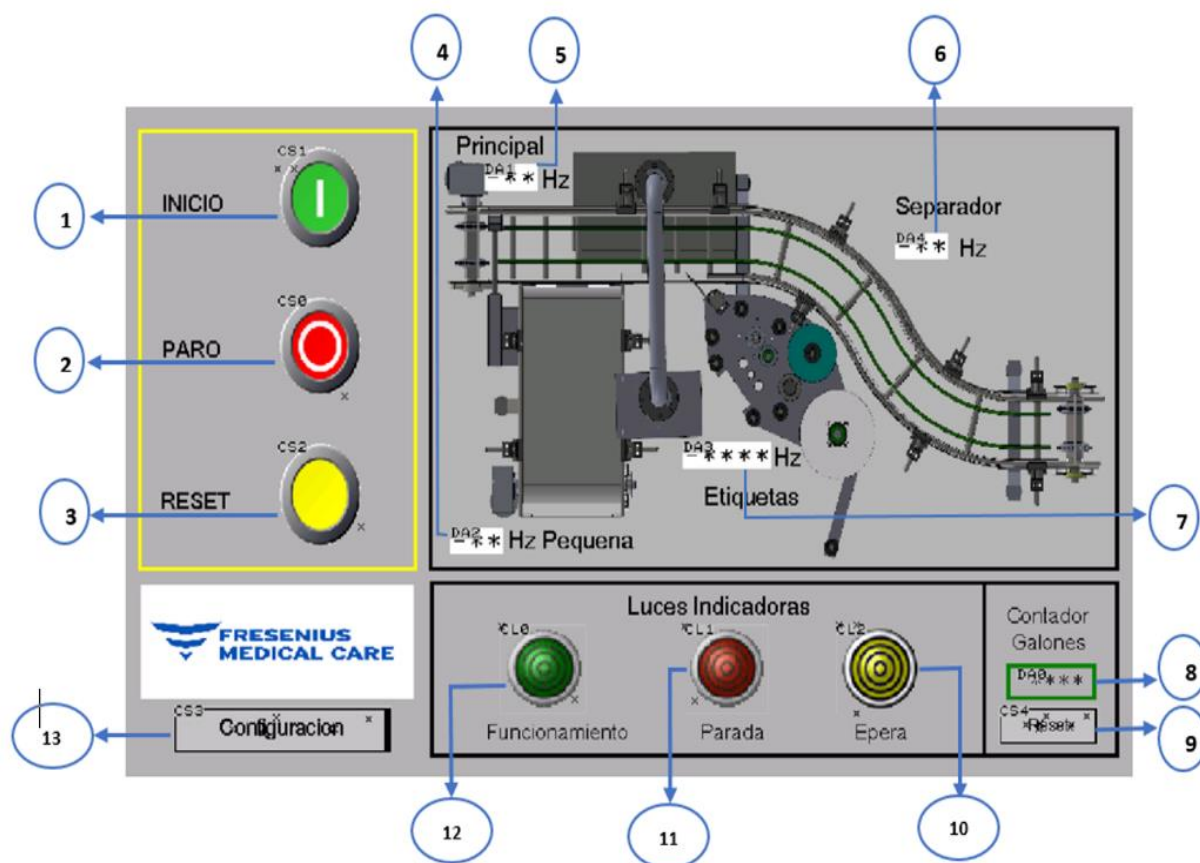


Figura 28. Ventana principal

Tabla 1*Descripción de la ventana principal*

NÚMERO	DESCRIPCIONES	DIRECCIÓN
1	Botón para iniciar el proceso	R100
2	Botón para parar el proceso	R101
3	Botón para reiniciar el proceso	R102
4	Velocidad en Hz de la banda despacho	DT11
5	Velocidad en Hz de la banda principal	DT10
6	Velocidad en Hz del separador de galones	DT9
7	Velocidad en Hz de la salida de etiquetas	DT8
8	Indicador de la cantidad de galones etiquetados	DT13
9	Botón para encerrar la cantidad de galones etiquetados	R2
10	Luz indicadora de estado de espera del proceso	R0
11	Luz indicadora de parada del proceso	R6
12	Luz indicadora de estado de correcto funcionamiento del proceso	R4
13	Botón para direccionar a la ventana de configuración	

- Ventana de configuración

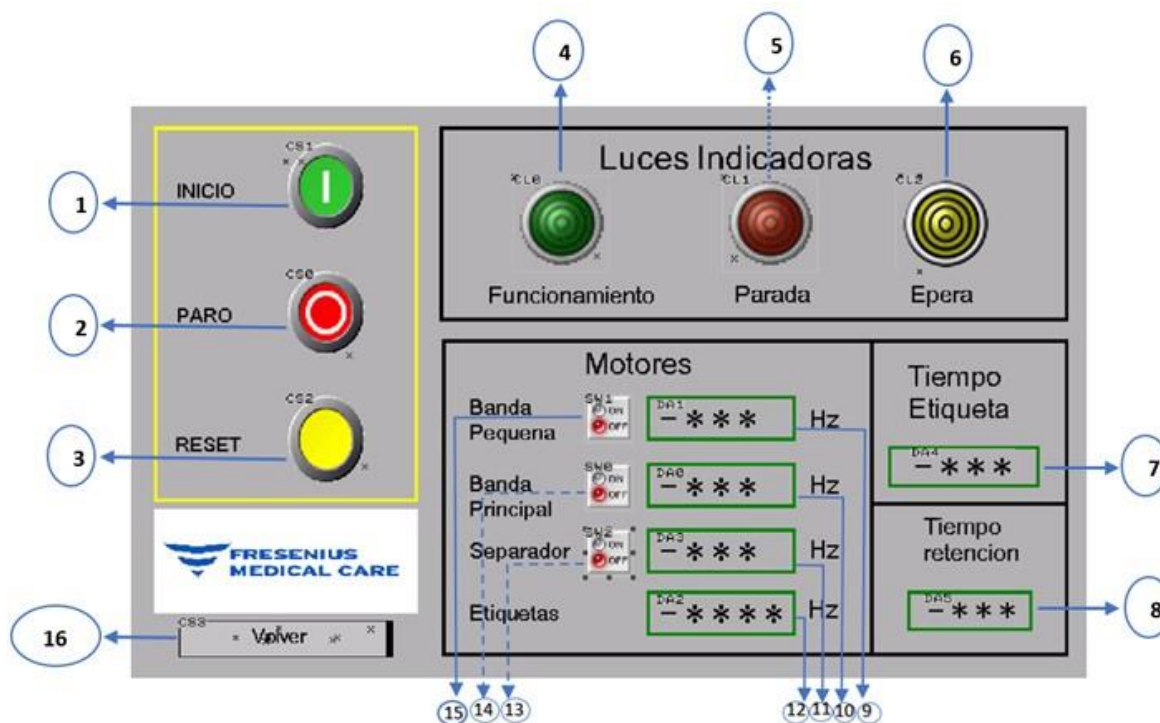
**Figura 29.** Ventana de configuración

Tabla 2*Descripción de la ventana de configuración*

NÚMERO	DESCRIPCIONES	DIRECCIÓN
1	Botón para iniciar el proceso	R100
2	Botón para parar el proceso	R101
3	Botón para reiniciar el proceso	R102
4	Luz indicadora de estado de espera del proceso	R0
5	Luz indicadora de estado de parada del proceso	R6
6	Luz indicadora de estado de correcto funcionamiento del proceso	R4
7	Valor modificable del tiempo que demora en salir la etiqueta	DT2
8	Valor modificable del tiempo de actividad del cilindro que retiene los galones antes de ser empujados a la banda despacho	DT0
9	Valor modificable de la velocidad en Hz de la banda pequeña	DT11
10	Valor modificable de la velocidad en Hz de la banda principal	DT10
11	Valor modificable de la velocidad en Hz del separador de galones	DT9
12	Valor modificable de la velocidad en Hz de la de la salida de etiquetas	DT8
13	Botón de encendido del motor de la banda de separador de galones	R1C
14	Botón de encendido del motor de la banda principal	R1B
15	Botón de encendido del motor de la banda despacho	R1D
16	Botón para direccionar a la ventana principal	

Capítulo IV

IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo trata de cómo se implementó los diseños eléctrico y electrónico hechos previamente y de las pruebas que se realizaron para entregar un producto funcional.

4.1. Implementación

Para la implementación se comienza con la construcción de las partes de la máquina etiquetadora de acuerdo a un diseño digital, y de esta manera realizamos el ensamblaje.



Figura 30. Estructura banda principal

En la Figura 30 se muestra como es la estructura de la banda principal con sus ejes de separación y sus placas laterales de acero inoxidable.



Figura 31. Soportes banda principal

En la Figura 31 se muestra como es la posición de las patas que sostiene la máquina etiquetadora.



Figura 32. Guías de la banda principal

En la Figura 32 muestra como están las guías, que sostienen a la cadena de la banda principal y el perfil de desgaste en las placas laterales.



Figura 33. Ensamblaje cama de rodillos

En la Figura 33 encontramos la banda en forma de cadena y procedemos armar la cama de rodillos que es el sistema que ayuda a desprender la etiqueta para que se pegue al galón. Por último, se ensambla las partes de la banda de despacho (Figura 34) para luego proceder con el cableado de la parte eléctrica y electrónica.



Figura 34. Ensamblaje de la banda de despacho

Contando con la parte estructural y mecánica comenzamos a cablear los sensores, actuadores y armar el tablero de control de la máquina etiquetadora (Figura 35) de acuerdo a los diseños hechos en el capítulo IV.



Figura 35. Cableado tablero de control de la máquina etiquetadora

Por último, se procede a unir el tablero de control con los sensores y actuadores que se encuentran en la parte estructural de la máquina etiquetadora (Figura 36). Logrando tener la máquina lista para comenzar las pruebas de funcionamiento (Figura 37).

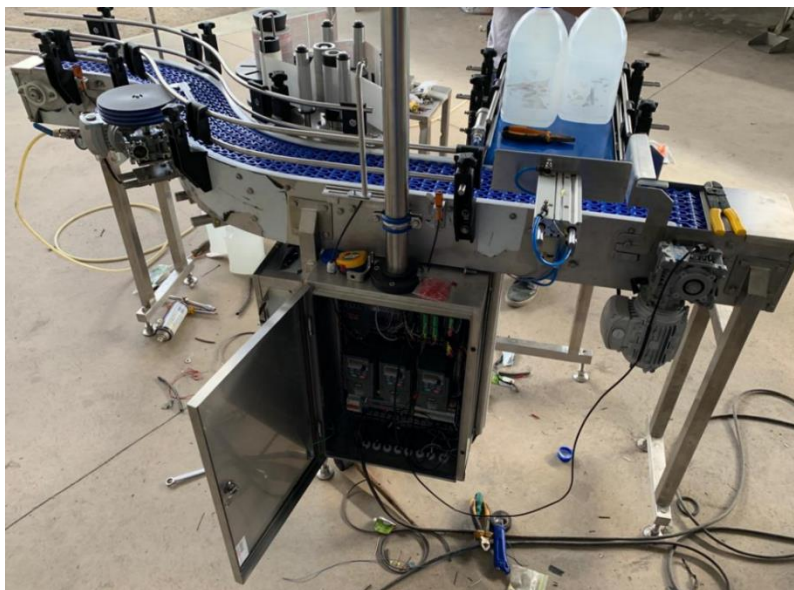


Figura 36. Acoplamiento de la caja de control a la parte estructural.



Figura 37. Máquina etiquetadora

4.2. Pruebas y resultados

Se inicia probando el funcionamiento por etapas, comenzamos con secado para lo cual se alimenta el sistema neumático con un compresor, activamos la banda principal y enviamos galones húmedos. Las primeras pruebas muestran que la presión de aire que sale no es la

suficiente para quitar la humedad de los galones por lo tanto se ajusta el regulador de caudal (Figura 38) para que salga con mayor presión de aire en la unidad de secado.



Figura 38. Regulador de caudal

Luego de hacer este ajuste se envía una cantidad de galones para ver si se quita la humedad y como resultado se obtuvo unos galones secos para que pueda seguir a la etapa de etiquetado.

Para la etapa de etiquetado las pruebas consistieron en regular las velocidades del motor de la banda principal y la del motor a pasos de las etiquetas.

En esta parte de las pruebas se tiene muchos inconvenientes, se practican demasiadas pruebas y la etiqueta no quedaba uniforme en el galón debido a que las piezas mecánicas tenían errores los mismos que se corrigieron. Ya corregidos los errores mecánicos se procede a iniciar de nuevo las pruebas con las velocidades de los motores (Figura 40) logrando tener el etiquetado deseado (Figura 41).



Figura 39. Velocidades de motores



Figura 40. Velocidades finales



Figura 41. Galones etiquetados

Para la etapa de despacho se verifica si los galones se envían en pares para la banda de despacho entre las primeras pruebas realizadas se logró tener un despacho exitoso sin ningún contratiempo viendo como los cilindros neumáticos trabajan de manera deseada haciendo su función de empuje y retención.

4.2.1. Resultados en proceso de producción

- Tiempo

Se evalúa que tiempo se demora en salir un lote de producción con la máquina etiquetadora y se compara con el antiguo tiempo que se demoraba con proceso manual (Tabla 3).

Tabla 3

Tiempo de salida lote de producción

Tipo de etiquetado	Tiempo
Etiquetado manual	2 horas
Maquina etiquetadora	1:30 horas

Los resultados indican que el tiempo de producción de un lote se redujeron en 30 minutos, entendiéndose que la maquina etiquetadora ayuda a que el proceso se demore menos tiempo.

- Dinero

El proceso de etiquetado se realizaba con 6 operarios, ahora con la máquina etiquetadora solo quedo uno de ellos, a partir de esto se hace un análisis de acuerdo al costo de la máquina.

Tabla 4

Tiempo de recuperación de inversión

Costo por operario al mes	Costo por 5 operarios al mes	Costo de la máquina etiquetadora	Tiempo requerido para recuperar la inversión
394 \$	1970\$	24000\$	13 meses

Como se puede observar en la Tabla 4 el costo de la máquina etiquetadora se recupera en 13 meses y a partir del mes 14 se hace ganancia para la empresa siendo el proyecto muy rentable.

- Producto

En base a las preguntas que se le hizo al personal encargado de la máquina etiquetadora las pérdidas de etiquetas era aproximadamente entre un 10 % del rollo total de etiquetas, con la máquina etiquetadora el desperdicio de las etiquetas se redujo a un 5 %, esto nos da entender que gracias a la máquina etiquetadora la perdida de producto se redujo a la mitad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se automatizó la máquina etiquetadora y se entregó en el tiempo establecido cumpliendo con las necesidades de la empresa farmacéutica, para lo cual se realizó la demostración en la fábrica acoplando la misma al proceso de producción, recibiendo galones de la sección de envasado para luego ingresar a la etapa de secado; a continuación, a la etapa de etiquetado y por último a la de despacho. La máquina etiquetadora en todas las etapas funcionó de la manera deseada logrando mejorar tiempos y calidad en la producción quedando satisfecho el encargado de producción de la empresa.
- Se diseñó e implementó un sistema neumático tanto para el secado y despacho de los galones de la máquina etiquetadora.
- Se diseñó e implementó de manera exitosa un sistema de control para cada una de las etapas y el sistema neumático de la máquina etiquetadora.
- Se diseñó e implementó una interfaz de usuario amigable y fácil de manipular para el operador.
- En la construcción eléctrica y electrónica de la máquina etiquetadora no hubo demasiados problemas ya que se realizó siguiendo un orden establecido y diseñando de manera correcta los circuitos de conexión tomando en cuenta las características de cada dispositivo logrando implementar un sistema eléctrico para controlar los motores de la banda principal, banda de despacho y etapa de etiquetado.

- En la construcción de la máquina etiquetadora se encontró varias fallas en la parte mecánica debido a que se tuvo que pedir apoyo a personas conocedoras del área mecánica, para llegar al funcionamiento correcto, se realizó una cantidad considerable de pruebas, notándose la importancia de las mismas para conseguir un funcionamiento eficaz.
- Después realizar las pruebas eléctricas, electrónicas y mecánicas se verificó que las velocidades de cada uno de los motores se programen por defecto para que no haya fallas en el funcionamiento de la máquina etiquetadora.

5.2. Recomendaciones

- Procurar investigar más a fondo el proceso de producción que se va aplicar en la máquina etiquetadora para evitar mal dimensionamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos.
- Es recomendable poseer o investigar conceptos del área mecánica para evitar errores al momento de acoplar la parte mecánica con la eléctrica y electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- Barra Zapata, O. E. (2011). *Microcontroladores PIC con programación PBP*. Mexico, Mexico: Alfaomega grupo editor. Acceso em 16 de julio de 2019
- Calloni, J. C. (2004). *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas/ Electrical and mechanical maintenance for small and medium companies*. Buenos Aires: Nobuko.
- DIEEC. (2011). *Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica y de control*. Fonte: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf
- Life, L. (2008). *Manual de usuario de la etiquetadora Bausch Strobel*. Quito.
- Martín, J. C. (2016). *Arranque y variación de velocidad en motores*. Madrid: Editex.
- Miguel, L. (2018). *Automatismos neumáticos e hidráulicos*. Madrid: Ediciones Paraninfo.