



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



ITESCA[®]
*Instituto Tecnológico
Superior de Cajeme*

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CAJEME

INTEGRACION DE SISTEMA DE VACIO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN MECATRONICA

PRESENTA

JULIO CESAR MORALES MOROYOQUI

NOMBRE DEL DIRECTOR DE TESIS

D.I. JOSE EFREN RUELAS RUIZ

Ciudad Obregón, Sonora, México

Junio 2023

**DICTAMEN DE LIBERACIÓN Y APROBACIÓN**

F02PSA18.03

Fecha

28/04/2023

No. de Registro

MIM-070

Dr. José Efraín Ruelas Ruiz**Responsable del Programa de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica****PRESENTE**

A través de este documento, me permito comunicarle que el alumno
cuyo proyecto de obtención de grado

Ing. Julio Cesar Morales Moroyoqui**INTEGRACION DE SISTEMA DE VACIO**

Cumple satisfactoriamente, con los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, por lo que ha sido aceptado para la obtención del grado:

Maestro en Ingeniería Mecatrónica

Sin más por el momento, quedo de Usted.

Dr. José Efraín Ruelas Ruiz**Nombre y Firma del Director de proyecto**

Director de proyecto de obtención de grado

28-abr-23**Fecha****DICTAMEN DE ACEPTACIÓN - COMISIÓN REVISORA****PRESIDENTE**Dr. José Efraín Ruelas Ruiz

Nombre

Firma

28-abr-23

Fecha

MIEMBRO 1Dr. Juan José Delfín Vélazquez

Nombre

Firma

28-abr-23

Fecha

MIEMBRO 2Dr. Galdameso Luciano Velazquez

Nombre

Firma

28-abr-23

Fecha

INDICE

Proyecto Reeses piezas.....	5
-Integración del sistema de vacío en estaciones de colocación de rayón.....	5
-Actualización de fixture para el ensamble de tampones.	5
RESUMEN.....	5
I. INTRODUCCION	6
1.1 Objetivo general.	6
1.2. Justificación.....	6
1.3. Antecedentes:	6
1.4. Definición del problema.....	7
II. FUNDAMENTO TEORICO.....	9
2.1 Neumática.....	9
2.2. Sistemas neumáticos.	9
2.2.1. Producción y tratamiento de aire comprimido	9
2.3. Preparación de aire comprimido	10
2.4. Acumulador de aire comprimido.....	11
2.5. Elementos de un sistema neumático.....	12
2.6. Introducción al mando neumático	12
2.6.1. Mandos elementales	13
2.7. Programación con PLC	13
2.7.1. Elementos de trabajo y control neumático	14
2.7.2. Clasificación de los elementos neumáticos y sus partes	14
2.8. Simbología	17
2.9. Software de CAD	20
2.10. Procesos de Producción.....	21
2.11. Manómetro	21
2.12. Definición de vacío.	22
2.13. Medición de vacío.	22
2.14. Definición de bomba de vacío.....	22
2.15. Como influyen los tubos de vacío.	22
2.16. Micrologística.....	23
2.18. Ergonomía.	23
III. DESARROLLO	24
3.1 Metodología empleada	24
3.2. Balanceo de vacío.....	24
3.3. Actualización del sistema de vacío.	25
3.4. Mejora de la estructura y acceso al material (pledget).....	25

3.5. Ductos.....	26
3.6. Fixture abre pétalos.	27
IV. RESULTADOS	28
4.1. Estudio del comportamiento del sistema de vacío.	28
4.2. Instalación de ductos.	30
4.3. Instalación de instrumentos de medición y control neumático.	31
4.4. Estructura de tolvas y estaciones de trabajo.....	32
4.5. Diseño de nuevo pallet.	33
4.6. Estudio de tiempos una vez introducido el pallet nuevo.	35
4.7. PLC, diagrama de escalera.	39
V. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.	50
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES REFERENCIAS.	50
6.1. Recomendación y diseño de implementación de hardware.	50
6.2. Arquitectura del sistema.....	51
6.3. Circuito de fuerza del arranque estrella-triángulo del motor.	52
6.3.1. Circuito de fuerza del arranque estrella-triángulo.....	53
6.3.2. Circuito de control del arranque estrella-triángulo.....	54
6.3.3. Circuito de control del arranque estrella-triángulo.	54
6.4. determinación de entradas y salidas del sistema.	55
6.4.1. Entradas del sistema.	55
6.4.2. Salidas del sistema.	56
6.4.3. Diagrama de entradas y salidas.	57
6.5. Características técnicas del PLC S7-1200, CPU1214C	58
6.5.1. Entradas digitales.	58
6.5.2. Salidas digitales.....	59
6.5.3. Diagrama de conexión de entradas y salidas al PLC.	59
6.5.4. Selección de los módulos de expansión.	61
6.5.5. HMI local (Interfaz hombre-máquina)	66
6.6. Medición de presión en las etapas del compresor.	67
6.7. Medición de temperatura en las etapas del compresor.....	69
6.8. Fuente de poder.	70
6.9. Electroválvula de desfogue.	71
6.10. Tablero de control.	72
DISEÑO DE INSTALACIONES	82
6.11. Desarrollo del programa de control.....	88
6.12. Programación del PLC.	90
6.13 Lógica de programación del PLC	92
6.13.1 Diagrama de flujo del programa del PLC S7-1200	93

6.2.1.1.	Diagrama de flujo.	94
6.2.1.2.	Alarmas de presión.	95
6.2.1.3.	Alarmas de temperatura.	96
6.14	Programa del PLC S7-1200	96
6.14.1	Acondicionamiento de señales análogas.	96
6.14.2	Arranque del compresor.	97
6.14.3	. Control de capacidad.	97
6.14.4	. Alarmas.	98
6.14.5	. Valores de apagado del compresor.	98
6.14.6	. Horometro.	98
6.14.7	. Reloj del sistema.	99
6.14.8	. Diagrama general del sistema de programado.	99
6.15	Programación del HMI (Interfaz Hombre Máquina).	100
6.15.1	Funciones del HMI local.	100
6.15.2	HMI local implementado.	100
6.17.3.	Ventana de principal	100
6.17.3.1.	Pantalla de arranque del compresor	101
6.17.3.2.	Pantalla de valores de presión	102
6.17.3.3.	Pantalla de valores de temperatura	102
6.17.3.4.	Pantalla de control de capacidad	103
6.17.3.5.	Pantalla de alarmas	104
6.17.3.6.	Pantalla de usuario	105
VII. ANEXOS.		106

Proyecto Reeses pieces

- Integración del sistema de vacío en estaciones de colocación de rayón.
- Actualización de fixture para el ensamble de tampones.

RESUMEN

La presente investigación se basó en un mejoramiento de las líneas de ensamble de tampones para el cuidado de la mujer adulta. Se requiere mejorar la productividad para que la empresa sea tomada como un candidato fuerte de atracción de nuevos negocios.

El proyecto estuvo enmarcado primeramente sobre un tipo de investigación basada en la industria manufacturera, primero tomando como partida cual era la situación en la que se encuentra, para luego definir las metas.

Para poder dar solución a lo planteado hubo que implementar mejoras en el sistema de vacío e introducir un nuevo pallet que simplificara la operación, además de modificar las estructuras del sistema de alimentación de materia prima. De esta manera se pudo concluir que la implantación de las modificaciones mencionadas genera un mejor desempeño de las operaciones en las líneas de producción.

I. INTRODUCCION

1.1 Objetivo general.

El presente proyecto llamado reeses piezas se trata de una mejora a las líneas de producción de la empresa Kimberly Clark de Nogales, Sonora México.

La mejora que se propone realizar consiste en incrementar la productividad de las líneas de ensamble manual que actualmente son 7, y el rate de productividad de cada una es de 14.1 SU's (Standard Unit = 1000 ea). El incremento que se desea es del 10% y las actividades a realizar para lograr el resultado serán facilitar al operador el acceso a los pledget y simplificar el proceso de traslado. Incrementar el vacío en las 22 estaciones de pledget para mejorar el ensamble, esto requerirá balancear el vacío en las tuberías para equilibrar el nivel de vacío en las 22 estaciones de manera que siempre se tenga una presión por arriba de 6" H2O.

1.2. Justificación.

El presente proyecto tiene como finalidad principal el incremento de la productividad en las líneas de producción, sin embargo, la importancia central de este proyecto es la de demostrar la capacidad a nuestros clientes y corporativo con el propósito de que se tenga la confianza en nuestra empresa para atraer nuevos negocios e incrementar la cantidad de ventas. Todo esto es vital para el crecimiento de la compañía ya que este proyecto es un eslabón que unirá una vez terminado a tres proyectos más con los cuales se busca impulsar las ganancias y atraer nuevos negocios.

1.3. Antecedentes:

Impulsados por el ingenio, la creatividad y la comprensión de las necesidades más esenciales de las personas, los 42,000 empleados de Kimberly-Clark alrededor del mundo crean productos que ayudan a las personas a experimentar más de lo que es esencial para ellos.

Nuestras reconocidas marcas globales, incluidas Andrex, Cottonelle, Depend, Huggies, Kleenex, Plenitude, Poise, Scott y U by Kotex, son una parte indispensable de la vida para personas en más de 175 países.



Figura... Planta

En la planta Nogales tenemos la división de cuidado femenino adulto la cual cuenta con dos divisiones, la primera de la marca Poise donde se fabrican dispositivos para la incontinencia urinaria femenina y la segunda de la marca Kotex y en esta se manufacturan dispositivos para cuidado femenino (tampones). Y es aquí donde realizaremos nuestro proyecto.

1.4. Definición del problema.

Para nuestras líneas de producción es necesario agilizar el proceso de producción y para esto tenemos muchas oportunidades en las cuales podemos mejorar aplicando la tecnología y haciendo estudios de productividad para llevar a cabo técnicas de manufactura esbelta, six sigma y estandarización de las estaciones de trabajo. Todo lo anterior es de suma importancia para hacer crecer nuestro negocio ya que al demostrar más capacidad en nuestros procesos demostramos a nuestros clientes y corporativo que estamos aptos para cumplir una demanda más alta.

Algunos de los problemas que se presentan son:

Los valores del flujo de aire son inconsistentes en todas las líneas y entre cada estación de trabajo.

En general, el cabezal de vacío y las conexiones individuales a cada estación de llenado de rayón y la estación para celofán se han desviado de los estándares de diseño.

El conducto de la máquina no es recto ni está alineado con la abertura de la compuerta deslizante hacia la caja de vacío y los puertos de la estación de celofán.

Algunas compuertas deslizantes giran para que su salida quede hacia el piso.

El conducto flexible tiene dobleces, excesivos y longitud inadecuada. El conducto flexible destruye la presión estática

Hay puertas deslizantes que no se usan y parcialmente abiertas.

Las correas del ventilador NS06 se deslizan y se queman.

Los residuos de celofán están pasando por alto el filtro del extractor, más prevalente en las líneas NS01 a NS04.

Hay conexiones en Y que reducen el flujo de aire a las estaciones de llenado.

II. FUNDAMENTO TEORICO.

2.1 Neumática.

Tanto en ciencia como en tecnología, la neumática es el uso de aire y gases para generar presión. La neumática es la tecnología que emplea un gas (normalmente aire comprimido) como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos y/o máquinas.

Mientras que en la hidráulica son los fluidos (líquidos y gases) los que se utilizan para la transmisión de potencia en la neumática es solo el aire comprimido.

Los sistemas de aire comprimido se utilizan para convertir la energía del aire comprimido en energía mecánica, o lo que es lo mismo, en movimiento.

Los procesos consisten en incrementar la presión de aire y a través de la energía acumulada sobre los elementos del circuito neumático (por ejemplo las cilindros) efectuar un trabajo útil.

Por lo general el gas utilizado es el aire comprimido, pero para aplicaciones especiales puede usarse el nitrógeno u otros gases inertes.

2.2. Sistemas neumáticos.

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la los gases ideales.

Estas impurezas pueden crear partículas más grandes (polvo +aceite) por lo que dan origen muchas veces a averías y pueden conducir a la destrucción de los elementos neumáticos. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, en los compresores y en el de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos. Por otro lado, desde el punto de vista de prevención de los riesgos laborales, el aire de escape que contiene aceite puede dañar la salud de los operarios y, además, es perjudicial para el medio ambiente.

2.2.1. Producción y tratamiento de aire comprimido

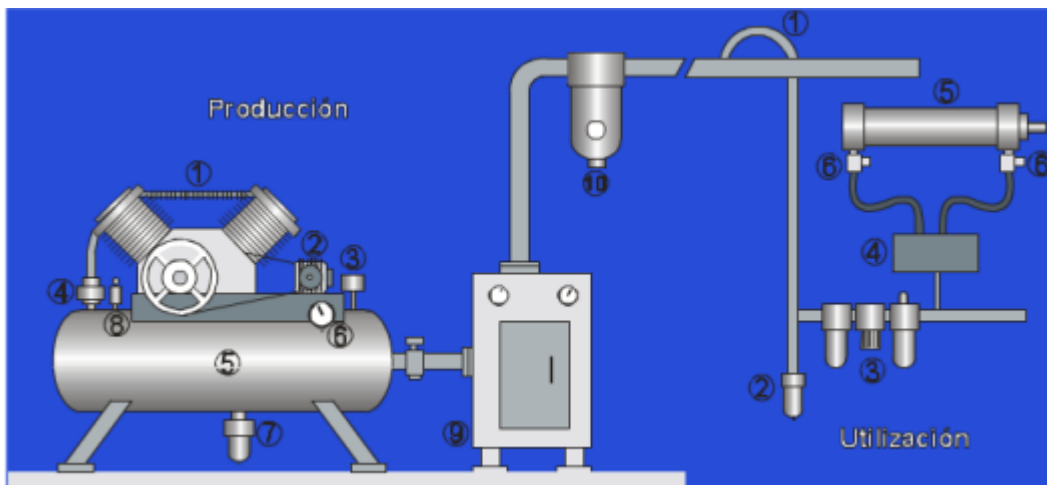
El aire comprimido, por el hecho de comprimirse, comprime también todas las impurezas que contiene, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites y aerosoles y los residuos y depósitos de la red de tuberías, tales como óxido, residuos de soldadura, y las sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de las tuberías y accesorios.

Producción

- Compresor
- Motor eléctrico
- Presostato
- Válvula anti-retorno
- Deposito
- Manómetro
- Purga automática
- Válvula de seguridad
- Secador de aire refrigerado
- Filtro de línea

Utilización

- Válvula del aire
- Purga automática
- Unidad de acondicionamiento del aire
- Válvula direccional
- Actuador
- Controladores de velocidad



2.3. Preparación de aire comprimido

El proceso puede clasificarse en tres fases. La eliminación de partículas gruesas, el secado y la preparación fina del aire. En el compresor, el aire se calienta, por lo que es necesario montar un equipo de refrigeración del aire inmediatamente detrás del compresor. El aumento de temperatura en el calentamiento viene dado por la siguiente fórmula:

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Siendo: T1 = temperatura del aire de entrada al compresor en grados kelvin. T2 = temperatura del aire a la salida del compresor en grados kelvin. P1 = presión del aire a la entrada del compresor en bar. P2 = presión del aire a la salida del compresor en bar. k = 1,38 a 1,4

La refrigeración se consigue en compresores pequeños, con aletas de refrigeración montadas en los cilindros que se encargan de irradiar el calor y en los compresores mayores, un ventilador adicional, o bien en caso de potencias muy grandes con un sistema de refrigeración por circulación de agua en circuito cerrado o abierto. Si no se utiliza un compresor exento de aceite el aire contendrá una mezcla comprimida de aire y aceite y partículas gruesas que deben extraerse mediante un separador (deposito acumulador situado a la salida del compresor). A continuación, el aire debe secarse para conseguir que su punto de rocío sea bastante inferior a la temperatura mínima que se va a tener a lo largo del año en el ambiente de trabajo donde están los equipos neumáticos. El secado tiene lugar en el filtro secador, siendo los procedimientos usuales el secado por frío, el de absorción, el de membrana y el de adsorción. En el método de secado

por frío o de refrigeración, del aire disminuye por efecto de un agente refrigerante formándose condensado y disminuyendo así el contenido de agua del aire.

En el secado por adsorción, la humedad es absorbida y se disuelve en una sustancia química. La sustancia química es una solución salina a base de NaCl que se consume a razón de un kilogramo de sal por cada 13 kg de condensado, por lo que debe reponerse constantemente. Con este sistema, se alcanza un. De condensación máximo de -15 °C. Otros agentes refrigerantes son glicerina, ácido sulfúrico, tiza deshidratada y sal de magnesio y hiperacidificado.

Los secadores de membrana están compuestos por un haz de fibras huecas permeables al vapor y que está rodeada por aire seco derivado del aire que ya fue sometido al proceso de secado. El secado se produce por la diferencia parcial de presión entre el aire húmedo en el interior de las fibras huecas y el flujo en sentido contrario del aire seco. Con este método se alcanzan puntos de condensación de hasta -40 °C (punto de rocío del aire comprimido).

Las fibras huecas son de material exento de silicona y están cubiertas de una ínfima capa que forma la superficie de la membrana. Las membranas pueden ser porosas que impiden el paso de agua y aceite y homogéneas que sólo permiten el paso del vapor de agua. El aire de enjuague al proceder del proceso de secado representa un consumo importante de aire que reduce el rendimiento del secador. Estos secadores se utilizan preferentemente en tramos parciales de la red o en sus puntos finales.

En el proceso de secado por adsorción, las fuerzas moleculares inducen el enlace de las moléculas del gas o del vapor. El agente secante es un gel que también se consume, aunque puede regenerarse. Según el tipo de agente secador que se utilice, se alcanzan puntos de condensación de hasta -70 °C.

2.4. Acumulador de aire comprimido

Tiene la finalidad de almacenar el aire comprimido que proporciona el compresor. Su fin principal consiste en adaptar el caudal del compresor al consumo de la red. Debe cumplir varios requisitos; entre ellos: una puerta para inspección interior, un grifo de purga, un manómetro, válvula de seguridad, válvula de cierre, e indicador de temperatura. Puede colocarse horizontal o verticalmente, pero a ser posible alejado de toda fuente calorífica, para facilitar la condensación del vapor de agua procedente del compresor.

Sus funciones en una instalación de aire comprimido son:

- Amortiguar las pulsaciones del caudal de la salida de los compresores.
- Permitir que los motores de arrastre de los compresores no tengan que trabajar de manera continua, sino intermitente.
- Hacer frente a las demandas punta del caudal sin que se provoquen caídas de presión.

Por lo general los depósitos son cilíndricos de chapa de acero. Los factores que influyen en el dimensionamiento de los depósitos son el caudal del compresor (mínimo debe tener 1/10 el volumen entregado en un minuto por el compresor, en hidráulica deben ser mínimo 3 veces mayor que el caudal), las variaciones de demanda, y la refrigeración.

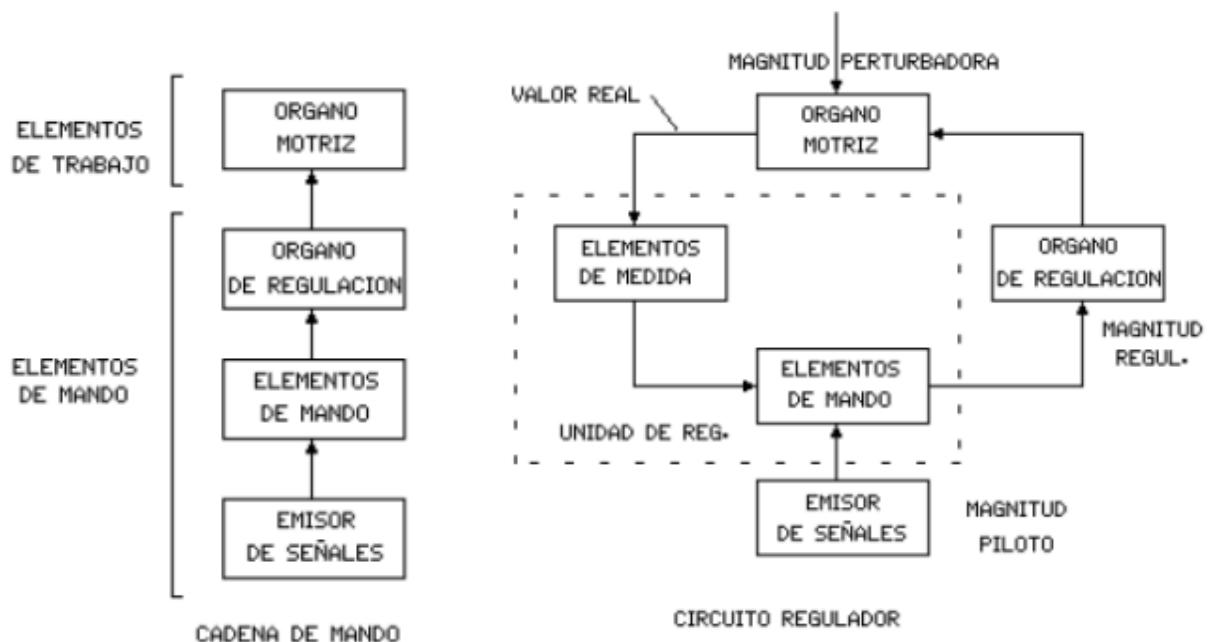
2.5. Elementos de un sistema neumático

En todo sistema neumático se pueden distinguir los siguientes elementos:

- Elementos generadores de energía. Tanto si se trabaja con aire como con un líquido, se ha de conseguir que el fluido transmita la energía necesaria para el sistema. En los sistemas neumáticos se utiliza un compresor, mientras que en el caso de la hidráulica se recurre a una bomba. Tanto el compresor como la bomba han de ser accionados por medio de un motor eléctrico o de combustión interna.
- Elemento de tratamiento de los fluidos. En el caso de los sistemas neumáticos, debido a la humedad existente en la atmósfera, es preciso proceder al secado del aire antes de su utilización; también será necesario filtrarlo y regular su presión, para que no se introduzcan impurezas en el sistema ni se produzcan sobrepresiones que pudieran perjudicar su funcionamiento. Los sistemas hidráulicos trabajan en circuito cerrado, y por ese motivo necesitan disponer de un depósito de aceite y también, al igual que en los sistemas neumáticos, deberán ir provistos de elementos de filtrado y regulación de presión.
- Elementos de mando y control. Tanto en sistemas neumáticos como en hidráulicos, se encargan de conducir de forma adecuada la energía comunicada al fluido en el compresor o en la bomba hacia los elementos actuadores.
- Elementos actuadores. Son los elementos que permiten transformar la energía del fluido en movimiento, en trabajo útil. Son los elementos de trabajo del sistema y se pueden dividir en dos grandes grupos: cilindros, en los que se producen movimientos lineales y motores, en los que tienen lugar movimientos rotativos.

2.6. Introducción al mando neumático

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y elementos de trabajo.



2.6.1. Mandos elementales

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y un aporte de trabajo. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de trabajo de los elementos de trabajo y se denominan válvulas.

Para el tratamiento de la información de mando es preciso emplear aparatos que controlen y dirijan el fluido de forma preestablecida, lo que obliga a disponer de una serie de elementos que efectúen las funciones deseadas relativas al control y dirección del flujo del aire comprimido.

En los principios de la automatización, los elementos rediseñados se mandan manual o mecánicamente. Cuando por necesidades de trabajo se precisaba efectuar el mando a distancia, se utilizan elementos de comando por símbolo neumático (cuervo).

Actualmente, además de los mandos manuales para la actuación de estos elementos, se emplean para el comando procedimientos servo-neumáticos, electroneumáticos y automáticos que efectúan en su totalidad el tratamiento de la información y de la amplificación de señales.

La gran evolución de la neumática y la hidráulica han hecho, a su vez, evolucionar los procesos para el tratamiento y amplificación de señales, y por tanto, hoy en día se dispone de una gama muy extensa de válvulas y distribuidores que nos permiten elegir el sistema que mejor se adapte a las necesidades.

Hay veces que el comando se realiza manualmente, y otras nos obliga a recurrir a la electricidad (para automatizar) por razones diversas, sobre todo cuando las distancias son importantes y no existen circunstancias adversas.

2.7. Programación con PLC

Una instalación neumática o hidráulica puede controlarse desde un PLC (controladores lógicos programables) con la ventaja de ser modificable. De modo que la programación y el aspecto de las pantallas del monitor pueden cambiarse más adelante para una nueva instalación, o bien, diseñar simplemente una mejora en el circuito. Existe una norma de estandarización de programas para el PLC con cuatro lenguajes de programación que son los más utilizados.

- Lenguaje de contactos (ladder) Emula la estructura de los esquemas eléctricos. Representa una red de contactos y bobinas que el autómatas ejecuta secuencialmente.

- Lenguaje lista de instrucciones. Está formado por una serie de instrucciones ejecutadas secuencialmente por el PLC y es parecido al lenguaje ensamblador, pero se estructura igual que el lenguaje de contactos porque las instrucciones se organizan en secuencia. Dispone de dos tipos de códigos de instrucción, el de prueba y el de acción.

- Lenguaje literal estructurado: al igual que el de lista de instrucciones es un lenguaje evolucionado. Se basa en el código C y resulta muy sencillo para gestionar tablas, funciones aritméticas, etc.
- Lenguaje Grafcet: permite representar gráficamente el funcionamiento de un automatismo secuencial. Su estructura está basada en etapas y transiciones y permite representar cualquier diagrama de estados.

2.7.1. Elementos de trabajo y control neumático

- Elementos de trabajo:

De movimiento rectilíneo (Cilindros)

De movimiento giratorio (Motores de aire comprimido)

- Elemento de control:

La función de las válvulas es controlar la presión o la rapidez del flujo de presión medio.

2.7.2. Clasificación de los elementos neumáticos y sus partes

Los elementos neumáticos se pueden dividir en elementos de trabajo y elementos de control, como se vio en el punto anterior. A continuación, solamente veremos los tipos de los elementos de control y trabajo y los veremos más detalladamente en el capítulo 3 (elementos de control y mando) y capítulo 4 (actuadores).

- Elementos de trabajo.

De movimiento rectilíneo, Cilindros neumáticos:

Existen diferentes tipos: de simple efecto, de membrana y de doble efecto (doble vástago, tándem, giro, etc.).

De Movimiento giratorio, motores:

Estos elementos transforman la energía neumática en movimiento de giro mecánico. En los motores de aire comprimido su ángulo de giro no está limitado, se dividen en tres tipos de motores de émbolo, aletas y engranajes.

- Elementos de control

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como, la presión o el caudal del fluido enviado por una bomba o que está almacenado en un depósito.

- Elementos generadores de energía.

En los sistemas neumáticos se utiliza un compresor, el cual es accionado por medio de un motor eléctrico o de combustión interna.

Compresores:

La presión atmosférica es una presión muy pequeña como para poder ser utilizada en los circuitos neumáticos. Por ello es necesario disponer de aire a presiones superiores, obteniendo de esta forma lo que se conoce como aire comprimido. El elemento cuya función es la de elevar la presión del aire se denomina compresor. De esta forma podemos definir como compresor a una máquina que toma el aire en unas determinadas condiciones y lo impulsa a una presión mayor a la de entrada. El compresor para poder realizar este trabajo de compresión debe tomar la energía de un motor eléctrico.

Tipos de compresores:

Compresor de émbolo.

Este compresor aspira el aire a la presión atmosférica y luego lo comprime. Se compone de las válvulas de admisión y escape, émbolo y biela-manivela. Admisión: El árbol gira en el sentido del reloj. La biela desciende el émbolo hacia abajo y la válvula de admisión deja entrar aire 10° después del punto muerto superior, hasta el punto muerto inferior. Escape: En el punto muerto inferior la válvula se cierra, y al ascender el émbolo se comprime el aire. Bajo el efecto de la presión, se abre y circula el aire comprimido hacia el consumidor.

Compresor de émbolo de dos etapas

El movimiento molecular, provoca una elevación de la temperatura: Ley de transformación de la energía. Si se desean obtener presiones mayores es necesario disminuir la temperatura. En este tipo de compresores existe una cámara de enfriamiento del aire antes de pasar a la segunda compresión.

Compresor de émbolo, de dos etapas, doble acción.

La compresión se efectúa por movimiento alternativo del émbolo. El aire es aspirado, comprimido, enfriado y pasa a una nueva compresión para obtener una presión y rendimiento superior.

Compresor de émbolo con membrana.

El funcionamiento es similar al del compresor de émbolo. La aspiración y compresión la realiza la membrana, animada por un movimiento alternativo. El interés de este compresor radica en la ausencia de aceite en el aire impulsado por este tipo.

Compresor radial de paletas.

Un rotor excéntrico, dotado de paletas gira en un alojamiento cilíndrico. La estanqueidad en rotación se asegura por la fuerza centrífuga que comprime las paletas sobre la pared. La aspiración se realiza cuando el volumen de la cámara es grande y resulta la compresión al disminuir el volumen progresivamente hacia la salida. Pueden obtenerse presiones desde 200 a 1000 kPa (2 a 10 bares), con caudales entre 4 y 15 m³/min.

Compresor de tornillo.

La aspiración y la compresión se efectúan por dos tornillos, uno engrana en el otro. La compresión se realiza axialmente. Pueden obtenerse a presiones de 1000kPa (10 bares) caudales entre 30 a 170 m³/min.

Compresor Rooths.

Dos llaves que giran en sentido inverso encierran cada vuelta un volumen de aire entre la pared y su perfil respectivo. Este volumen de aire es llevado al fin del giro a la presión deseada.

Turbo compresor.

Este tipo de compresor es una turbina de tres etapas. El aire es aspirado, y su presión se eleva en cada etapa 1.3 veces aproximadamente.

Turbocompresor radial.

El aire aspirado axialmente es introducido a una velocidad muy alta. La compresión tiene lugar radialmente. Este tipo de compresor es recomendable cuando se desean grandes caudales. Entre las diferentes etapas hay que tener previsto las cámaras de enfriamiento.

Turbocompresor axial.

Este tipo de compresor funciona con el principio del ventilador. El aire es aspirado e impulsado simultáneamente. Las presiones son muy bajas, pero los caudales pueden ser muy elevados.

- Elemento de tratamiento de los fluidos.

En el caso de los sistemas neumáticos, debido a la humedad existente en la atmósfera, es preciso proceder al secado del aire antes de su utilización; también será necesario filtrarlo y regular su presión, para que no se introduzcan impurezas en el sistema ni se produzcan sobrepresiones que pudieran perjudicar su funcionamiento.

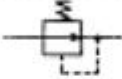
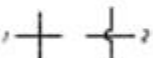
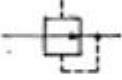
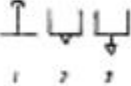
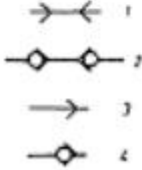
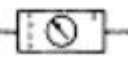
Filtro de aire comprimido con purga.

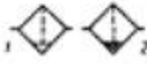
Este filtro libera las impurezas, sobre todo agua condensada. El aire es conducido por una guía que la imprime un rápido movimiento circular, con lo cual las partículas más pesadas y las gotas de agua son proyectadas hacia fuera, a la pared de la cubeta del filtro, donde se precipitan. El condensado se recoge en la parte inferior y debe ser evacuado a través del tornillo de purga, cuando se haya alcanzado la cota del nivel máximo. Las partículas más finas son retenidas por el cartucho filtrante, por el cual debe circular el aire comprimido en su fluir hacia la utilización. El cartucho de filtro debe limpiarse o sustituirse periódicamente.

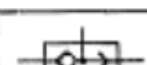
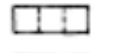
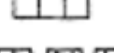
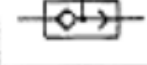
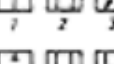
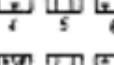
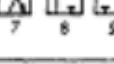
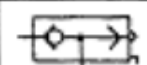
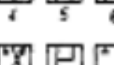
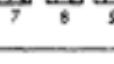
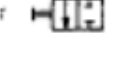
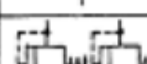
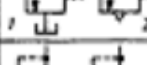
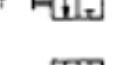
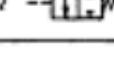
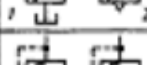
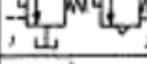
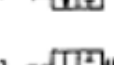
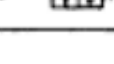
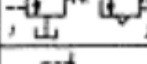
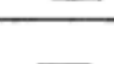
Lubricador de aire comprimido

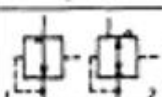
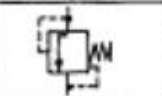
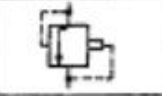
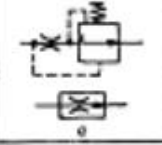
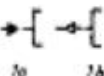
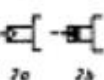
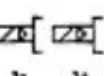
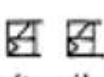
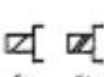
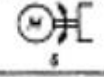
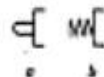
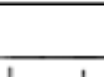
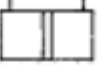
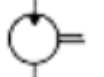
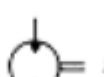
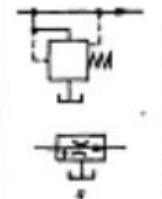
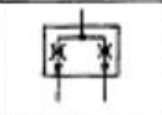
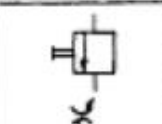
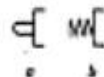
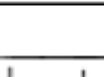
Con este elemento, el aire es dotado de una fina neblina de aceite. De este modo las piezas móviles de los elementos neumáticos se proveen de lubricante, disminuyéndose el rozamiento y el desgaste. Funcionamiento: El aire atraviesa el lubricador, y una parte se conduce a través de una tobera. La caída de presión hace que, a través de un tubo de subida, se aspire aceite del depósito. En la tobera de aspiración el aire circulante arrastra las gotas de aceite, pulverizándolas.

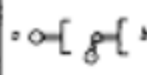
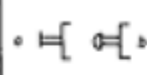
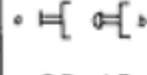
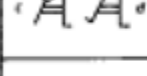
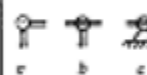
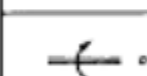
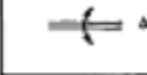
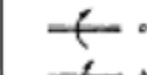
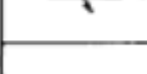
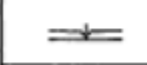
2.8. Simbología

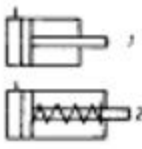
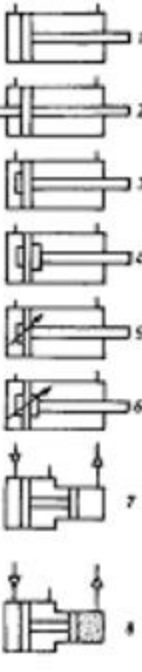
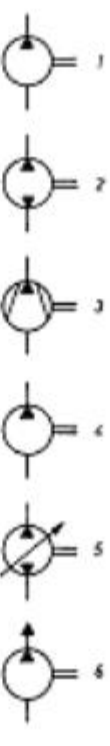
SIMBOLOS NEUMATICOS			3
			59
	Conductores 1 – de trabajo 2 – de pilotaje 3 – de purga o drenaje		Deshumidificador
	Conductor flexible		Lubricador
	Unión de conductores		Reductor de presión
	Cruce de conductores		Reductor de presión pilotado
	Purga de aire 1 – orificio de evacuación 2 – piso no conectable 3 – conectable por roscado		Manómetro (Indicador de presión)
	Acoplamientos rápidos 1 – Acoplado sin válvula anti-retorno. 2 – Acoplado con válvula anti-retorno. 3 – Acoplado simple 4 – Cerrada por válvula anti-retorno.		Grupo de acondicionamiento Filtro-Reductor, indicador de presión, Lubricador.
			Grupo de acondicionamiento Esquema anterior simplificado
			Inicio de instalación (presión)

   	Depósitos 1 - Conducciones por encima del nivel del líquido 2 - Conducciones por debajo del nivel del líquido 3 - Conducciones a presión 4 - Conducciones con depósito con carga		Medidor de temperatura (Termómetro)
			Medidor de caudal
 	Acumuladores 1 - Hidráulico 2 - Neumático		Presostato
			Válvula (símbolo general)
	Silenciador		Válvula directa (pilotaje neumático) Normalmente abierta
	Filtro		Válvula inversa (pilotaje neumático) Normalmente cerrada
 	Purgadores 1 - Mando manual 2 - Mando automático		Válvula antirretorno 1 - No regulada 2 - Regulada (tarada)
 	Filtro con purgador 1 - Mando manual 2 - Mando automático	 	

 	Válvula antirretorno pilotada 1 - Al cierre 2 - A la apertura	  	Distribuidores a) Distribuidor de 2 posiciones b) Distribuidor de 3 posiciones con posición intermedia de paso c) Distribuidor de 3 posiciones indistintas
	Selector de circuitos		Vías interiores 1 - 1 vía 2 - 2 vías paralelas 3 - 2 vías cruzadas 4 - 2 orificios cerrados 5 - 2 vías en conexión transversal 6 - 2 orificios cerrados y 2 vías en by-pass 7 - 1 orificio cerrado y 2 vías 8 - 1 orificio cerrado y 2 vías en paralelo 9 - 4 orificios cerrados
	Regulador de caudal en un solo sentido	  	
	Válvula de escape rápido	  	
 	Limitador de presión (Válvula de seguridad)	  	
 	Limitador de presión pilotado	 	Distribuidores 2 p, 2 v 1 - Accionamiento manual 2 - Accionamiento neumático con retorno por resorte
	Limitador proporcional de presión		Distribuidor de 2 p, 3 v Accionamiento neumático en los dos sentidos

	Reductor de presión pilotado		Distribuidor de 2 p, 4 v Accionamiento neumático en los dos sentidos
	Reductor diferencial de presión		Distribuidor de 2 p, 5 v Accionamiento neumático en un sentido y retorno por resorte.
	Reductor proporcional de presión		
	Regulador de caudal (a) Simplificado	 1a  1b  2a  2b  3a  3b  4a  4b  5a  5b  5c	Mando de distribuidores 1 – Mando por fluido directo 1a - por presión 1b - por depresión (falta pres.) 2 – Mando por fluido indirecto 2a - por presión 2b - por depresión 3 – Mando combinado 3a - por electroimán y distribuidor piloto 3b - por electroimán o distribuidor piloto 4a - equivale a 3a 4b - equivale a 3b 5 – Mando eléctrico 5a - por electroimán (un arrollamiento) 5b - por electroimán (dos arrollamientos) 5c - por motor eléctrico
	Regulador de caudal con retorno al depósito (a) Simplificado		
	Divisor de caudal		
	Válvula de estrangulamiento (a) Simplificado		 a  b

 a  b	Mando mecánico a – por rodillo b – por rodillo abatible		Convertidor de presión aire-aceite
 c  d	Mando manual a – símbolo general b – por pulsador c – por palanca d – por pedal	 1	1 – Motor de caudal constante. Motor hidráulico no reversible
 e  b  c	Mecanismos articulados a – articulación simple b – articulación con palanca c – articulación con punto fijo	 2	2 – Motor de caudal constante. Motor hidráulico reversible
 a  b	Ejes rotativos a – un solo sentido de rotación b – con dos sentidos de giro	 3	3 – Motor de caudal constante. Motor neumático no reversible
	Dispositivo de mantenimiento de posición	 4	4 – Motor de caudal variable no reversible
	Dispositivo de enclavamiento	 5	5 – Motor de caudal variable reversible

	Cilindros 1 – de simple efecto 2 – de simple efecto con retorno por resorte		6 – motor térmico
	1 – de doble efecto 2 – de doble efecto con doble vástago 3 – de doble efecto con amortiguación al retorno 4 – de doble efecto con amortiguación a la ida y retorno 5 – de doble efecto con amortiguación regulable al retorno 6 – de doble efecto con amortiguación regulable a la ida y retorno 7 – multiplicador de presión con fluido de la misma naturaleza 8 – multiplicador de presión con fluidos de distinta naturaleza (aire-aceite)		1 – Bomba de caudal constante, compresor Bomba hidráulica no reversible 2 – Bomba de caudal constante, compresor Bomba hidráulica reversible 3 – Bomba de caudal constante, compresor no reversible 4 – Bomba de caudal variable, no reversible 5 – Bomba de caudal variable, reversible 6 – Bomba de vacío

2.9. Software de CAD

El diseño asistido por ordenador (CAD) consiste en el uso de programas de ordenador para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto. El CAD se utiliza mucho en los efectos especiales en los medios y en la animación por ordenador, así como en el diseño industrial y de productos.

El CAD se utiliza a lo largo de todo el proceso de ingeniería, desde el diseño de productos conceptual y la estructura pasando por el análisis de ensamblajes hasta la definición del método de fabricación. El CAD permite a los ingenieros probar de forma interactiva las variantes de diseño con el número mínimo de prototipos físicos, con el objetivo de:

- Reducir los costes de desarrollo de productos
- Ganar velocidad
- Mejorar la productividad
- Asegurar la calidad
- Reducir el tiempo de lanzamiento al mercado

2.10. Procesos de Producción

Los procesos industriales son una serie sistemática de operaciones mecánicas, físicas, eléctricas o químicas. Estos pasos ayudan a fabricar un artículo que se lleva, generalmente, a gran escala. Dicho de otra manera, se encargan de utilizar materia prima obtenida de distintos recursos naturales y emplearla para fabricar un producto en masa. Por ejemplo, la impresión de libros, la fabricación de aviones o barcos, la producción de bolígrafos, etc.

Cuando una empresa empieza a fabricar un producto, el proceso está determinado por ciertos factores. Por ejemplo, por la demanda del consumidor, la técnica de fabricación, los recursos de la empresa, etc.

Este tipo de procesos industriales son muy relevantes para la economía de toda la población. Pues, prácticamente el 90% de los bienes que se consideran imprescindibles en nuestro día a día, no existirían. Además, abaratan y hacen más asumible económicamente los bienes de consumo. En definitiva, permiten hacer más fácil la vida del consumidor final y simplifican los procesos de producción.

2.11. Manómetro

Emplea un tubo metálico curvado de sección transversal aplanada. Un extremo del tubo está cerrado, y la presión que se va a medir se aplica por el otro extremo. A medida que la presión aumenta, el tubo tiende a adquirir una sección circular y enderezarse. El movimiento del extremo libre (cerrado) mide la presión interior y provoca el movimiento de la aguja. El elemento sensible del manómetro puede adoptar numerosas formas. Las más corrientes son las de tubo en C, espiral y helicoidal, y se presentan en una serie de aleaciones de cobre y en aceros inoxidables al cromo níquel. También se utilizan tubos de aleación hierro-níquel, debido a que tienen un coeficiente de dilatación muy pequeño, que hace que la lectura de la presión no esté influida por la temperatura del instrumento.

Las alturas de las columnas de distintos líquidos pueden ser usadas como unidades de presión. En tu caso usan como líquido el agua. Como unidad de la columna usan pulgadas.

De lo cual resulta la unidad para medir presión: pulgada de columna de agua. H₂O in.

A estas unidades se deben agregar las que resultan de dividir las unidades de fuerza (Newton, dina, kilogramo-fuerza, libra-fuerza) por las unidades de área (metro cuadrado, centímetro cuadrado, pulgada cuadrada), y la presión de la atmósfera tomada como unidad (atm

La equivalencia de una pulgada de agua en libras por pulgada cuadrada es:

1 H₂O in = 0.03609 psi.

2.12. Definición de vacío.

De acuerdo con la definición de la Sociedad Estadounidense del Vacío o AVS (1958), el término se refiere a cierto espacio lleno con gases a una presión total menor que la presión atmosférica, por lo que el grado de vacío se incrementa en relación directa con la disminución de presión del gas residual. Esto significa que cuanto más se disminuya la presión, mayor vacío se obtendrá, lo que permite clasificar el grado de vacío en correspondencia con intervalos de presiones cada vez menores. Cada intervalo tiene características propias.

2.13. Medición de vacío.

La presión atmosférica es la que ejerce la atmósfera o aire sobre la Tierra. A temperatura ambiente y presión atmosférica normal, un metro cúbico de aire contiene aproximadamente 2×10^{25} moléculas en movimiento a una velocidad promedio de 1600 km/h. Una manera de medir la presión atmosférica es con un barómetro de mercurio; su valor se expresa en términos de la altura de la columna de mercurio de sección transversal unitaria y 760 mm de alto. Con base en esto, se dice que una atmósfera estándar es igual a 760 mmHg. Se utilizara por conveniencia la unidad torricelli (símbolo, Torr) como medida de presión; 1 Torr= 1 mmHg, por lo que 1 atm= 760 Torr; por lo tanto 1 Torr= 1/760 de una atmósfera estándar, o sea 1 Torr= $1,316 \times 10^{-3}$ atm.

2.14. Definición de bomba de vacío.

La bomba de vacío es un equipo mecánico diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases / fluidos que contienen. Este flujo genera una diferencia de presión medida en relación con la presión atmosférica o con referencia a un punto de trabajo concreto. Esto nos permite mantener presiones menores a la atmosférica en aplicaciones que lo requieren.

2.15. Como influyen los tubos de vacío.

El tamaño del tubo flexible de alimentación de presión debe ser adecuado para el consumo de aire del generador de vacío.

El tamaño del tubo flexible de vacío debe ser adecuado para las compuertas utilizadas.

El distribuidor debe seleccionarse de manera que sea adecuado para el tubo flexible seleccionado y el número de compuertas.

El tamaño del tubo flexible de vacío debe ser adecuado para el generador de vacío utilizado.

Los tubos flexibles largos y estrechos suelen formar un cuello de botella y reducen el grado de eficacia de la generación de vacío. Como resultado se obtiene una admisión elevada (consumo de aire del generador de vacío) pero una salida muy reducida (incremento del tiempo de evacuación).

2.16. Micrologística.

En las líneas de manufactura la micrologística se encarga de organizar y optimizar la ubicación y cantidad de nuestra materia prima con el propósito de que todo esté al alcance y su acceso sea ágil para reponer y transportar además de disponer de material de stock en todas las estaciones para evitar que la producción se detenga.

2.18. Ergonomía.

La ergonomía es la disciplina que se encarga del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas, de modo que coincidan con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades de los trabajadores que se verán involucrados. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de la persona, de la técnica y de la organización.

III. DESARROLLO

3.1 Metodología empleada

Como principal problema dentro de la compañía se presentó el desafío de aumento de la productividad, el obstáculo de mayor peso era que el operador de las estaciones de pledget, presentan dificultades al momento de retirar el celofán que cubre a este. Entonces lo primero que se hizo es una toma de tiempos y a través del modelo estadístico definir cuál era el estado actual de la línea de producción, una vez que se define este proceso como cuello de botella, es entonces que hay que iniciar a identificar las mejoras que nos ayudaran a incrementar ese 10% de productividad requerido.

Lo siguiente es introducirse un poco en el comportamiento del flujo de los fluidos para analizar concretamente el diseño de los ductos, dado que cada estación está compuesta por dos entradas también era necesario que se calculara la apertura de cada una de ellas para evitar que el vacío fuera uniforme.

Para finalizar tenemos también el control eléctrico de la bomba de vacío la cual alimenta las 8 líneas de producción.

3.2. Balanceo de vacío.

Los siguientes pasos para balanceo de vacío en línea, deben llevarse a cabo con el Sistema de vacío activado:

1- Colocar 20 pallets con aplicadores (CAR) en las 20 estaciones de inserción de pledget, verificar que cada pallet se encuentre correctamente instalado en el nido de la estación.

Nota: preferiblemente utilizar pallets con solamente 48 barrenos en parte inferior como se muestra en imagen para evitar cualquier pérdida de vacío durante el balanceo.

2- Antes de iniciar proceso de calibración de vacío, es necesario verificar que todas las estaciones de sección de pledget cuenten con vacío activado, este se llevara a cabo revisando manómetro indicador de vacío y pedal en parte inferior de estación.

3- Para realizar el balanceo de línea, serán necesarias 4 personas, el balanceo será llevado a cabo por 2 personas lado A y 2 personas lado B para realizar balanceo de compuertas simultáneamente, se iniciará balanceo de estación 1 hasta estación 10.

4- Para calibrar lado A y lado B de línea asegurarse que el al iniciar proceso de calibración, este siempre sea iniciado en dirección de suministro de diámetro más grande de tubería de vacío a diámetro menor.

5- Durante la calibración de balanceo de compuertas para la estación de celofán 1-9 serán calibradas en (7" WC) y compuertas para pallet serán calibradas en (7" WC), para estaciones 10 lado A y B compuertas serán abiertas totalmente para evitar atoramiento de celofán.

6- Una vez terminado el proceso de calibración, es necesario verificar que todas las estaciones de sección de pledget cuenten con vacío calibrado, este se llevara a cabo revisando manómetro indicador de vacío, de ser necesario realizar ajuste de compuerta.

7- De ser encontrado una anomalía o variación con lectura de manómetro, revisar que las conexiones de manómetros en parte inferior como muestra imagen se encuentren correctamente y sin ningún doblez que pueda alterar la lectura.

3.3. Actualización del sistema de vacío.

La actualización de la tubería de vacío será con un cabezal de 22 estaciones de vacío ya que anteriormente solo eran 18.

También se instalarán medidores de vacío analógicos para controlar el nivel de vacío en cada una de las estaciones.

Otra adecuación serán los pedales para el encendido y apagado del vacío, estos pedales son totalmente mecánicos y nos ayudaran para controlar la presión de vacío ya que su principal función es no desperdiciar presión en estaciones que no se están utilizando o maximizar el uso de ella.

3.4. Mejora de la estructura y acceso al material (pledget).

Básicamente nuestra estructura de alimentación de material se modificará para que esta sea más ergonómica y accesible. Actualmente se tiene una tolva muy alta a la cual es necesario colocar una escalera para rellenarla de material y esto se hace cada 2 hrs. Aproximadamente, la propuesta es fabricar una tolva de una altura de 1.70 mts. En la cual no es necesaria una escalera y por la parte de abajo que es donde se toma el material funciona por gravedad a la vez que se va tomando el material de la parte de abajo el material de arriba va cayendo.

3.5. Ductos.

Hacer un chequeo estático inicial de los ductos:

- Verificar que el sistema de ductos está instalado de acuerdo con los dibujos.
- Pre-balancear la compuerta de vacío a la posición inicial.
- Revisar que todas las mangueras y tubos están seguros y no interfieren en las tareas del operador.
- Chequeo general estático: Confirmar que la instalación y construcción está completa.
- Verificar que la lista de artículos necesarios está completa, Tener a la mano llaves allen de la medida 7/16" y guantes.
- Asegurar que todas las guardas han sido reemplazadas, pegadas y atornilladas.

Check list del sistema estático:

- Poner señalización en las compuertas de vacío las cuales deben referenciar cuando están abiertas al 25%, 50% y 75%.
- Visualmente verificar que el sistema está instalado de acuerdo con el layout.
- Verificar que todos los medidores de presión están debidamente instalados.
- Asegurar que todas las compuertas de 3" de las válvulas están instaladas y que el tubo de metal está correctamente conectado con la tubería de vacío.
- Revisar que todas las compuertas de control de aire están instaladas y en la correcta orientación.
- Confirmar manualmente que todas las compuertas instaladas pueden moverse completamente de 0% a 100%.
- Colocar las compuertas que estarán en la estación de celofán al 50% y las compuertas para estación de pallets al 25%.
- Enumerar las estaciones para identificar las estaciones.
- Verificar que todas las compuertas están aseguradas con tornillos 7/16" de llaves allen y que las compuertas están debidamente aseguradas.
- Verificar que todos los ductos están conectados a tierra.
- Asegurar que todos los tubos flexibles están correctamente asegurados para trabajar sin que estos puedan ser movidos de posición.
- Checar que todas las abrazaderas cuentan con la cubierta de plástico instalada.
- Verificar que las corbatas instaladas no contengan puntas filosas.

Chequeo dinámico de ductos y sistema.

- Verificar que el sistema es instalado de acuerdo con los dibujos.
- Balancear el sistema para las especificaciones diseñadas.
- Verificar que las dos estaciones adicionales de vacío están conectadas.

Chequeo dinámico general.

- Verificar que se completó el chequeo estático.
- Verificar que el aire comprimido de la válvula actuadora es seteado a 65 psi (448 kPa).
- Verificar que todas las guardas han sido reemplazadas y aseguradas.
- Requerir 10 pallets con aplicadores ya insertados.
- Tener a la mano un allave allen 7/16" y guantes.

Check list del sistema dinámico.

- Informar al personal alrededor del equipo que vas a encender los abanicos.

- Habilitar la corriente de los abanicos.
- Mientras este parado cerca del abanico que alguien encienda el sistema.
- Escuchar atentamente por cualquier ruido extraño en los ductos (escombros, vibraciones), apague el sistema y corrija cualquier problema.
- Trabaje debajo de los ductos en cada salida y escuche cuidadosamente cualquier ruido en los coples del ducto para identificar escapes de aire. Toque en los ensambles de los ductos y partes selladas con tape para detectar cualquier fuga.
- Verificar los pedales de todas las estaciones. Asegurar que todas las válvulas se abren cuando el pedal está presionado hacia abajo y se cierran cuando el pedal está arriba.
- Verificar pallets (Instalados en el lado que está siendo ajustado y que tienen insertados los aplicadores) son propiamente instalados a un solo lado (lado A = estaciones del 1-10 y lado B = estaciones del 11-20) de la línea. Abrir todas las válvulas en el lado que está siendo probado usando el pedal.
- Trabajando desde un extremo del lado, ajuste los amortiguadores de la compuerta de cada estación hasta que (utilizando la llave allen de 7/16”).
- El vacío del pallet de como lectura de 6” a 7” WC.
- Estaciones de celofán de una lectura de 8” a 10 WC.
- Verificar que las lecturas de las estaciones son correctas (repita todos los pasos anteriores hasta que todas las estaciones del lado que se está ajustando sean correctas.)
- Después del ajuste inicial, cada compuerta debe regresarse en la línea para verificar que todos los tornillos están sujetos y las compuertas ajustadas.

3.6. Fixture abre pétalos.

La función principal del operador de la estación “abre pétalos” es la de colocar la parte de arriba del fixture para que el dispositivo quede abierto de la parte de arriba y así insertar la parte absorbente (pledget), este fixture es muy importante ya que abre 48 dispositivos en un solo movimiento para que el este quede listo para la siguiente operación. La mejora que se hizo consiste en que se le coloco una parte la cual nos sirve para sujetar y una vez insertado su función es asegurar las partes para que no se separen. Además, se le agregaron guías en las 4 esquinas del fixture para asegurar el correcto ensamble y evitar que se dañen las piezas que conforman el pallet.

Todo lo anterior es en busca de mejorar el tiempo de operación y ergonomía, al facilitar al operador su tarea este será más productivo y si con ello también se busca en primera instancia que el operador tenga una tarea en la cual se sienta confortable y prevenga posibles daños físicos nos dar un mejor resultado.

IV. RESULTADOS

En esta parte representaremos el contenido de los resultados obtenidos a lo largo de la investigación realizada, estos resultados mostrarán la mejora general que consigue la gran parte de nuestro proyecto. La evolución particular de cada actividad y características estructurales comentadas, destacaremos especialmente las variables que han influido significativamente en la mejora de nuestras actividades con esto se pretende dar las posibles razones que han podido dar lugar a dichos resultados.

En nuestra actividad nos dedicamos a mejorar el balanceo de vacío logramos resolver algunos de los retos que se presentaron.

4.1. Estudio del comportamiento del sistema de vacío.

La tabla número 1 muestra los requerimientos necesarios para cumplir con el nivel de vacío requerido que son mínimo 6" H₂O de vacío, lo siguiente fue calculado en referencia a la siguiente ecuación de la figura 1:

Ecuacion(es) $d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_a}{60v}}$ $\Delta p = \frac{\mu \cdot l \cdot v^2 \cdot \rho}{2d}$	Qa: Rango de Flujo de Aire (Real) (m ³ /min) l : Longitud de la Tubería (m) d : Diámetro Interno Tubería (m) v : Velocidad del Aire (m/s) Δp: Caída de Presión (Pa) μ : Coeficiente de Fricción ρ : Densidad (kg/m ³)
--	--

Figura 1.

Para esto existe una calculadora en el sitio web de la compañía TLV que es especialista en vapor, algunos de los datos que se investigaron aquí fueron los que se muestran en la figura 2:

Introducir Datos		Unidades	SI(bar) ▼
Grado de Tubería	DIN 2448 ▼		
Presión del Aire	448	kPa abs ▼	
Temperatura del Aire	25	°C ▼	
Rango de Flujo de Aire (Real)	2.1832	m ³ /min ▼	
Rango de Flujo de Aire (Normal)	(8.84344)	Nm ³ /min ▼	
Longitud de la Tubería [?]	8.909	m ▼	
Velocidad Máxima Permisible [?]	3.102	ft/s ▼	

Figura 2.

Los datos que se introdujeron son el tipo de tubería DIN 2448 la cual se refiere a los ductos contruidos de lámina de acero sin soldar.

La presión del aire en nuestro sistema es de 65 psi $\approx$ 448 kPa, además de la temperatura del aire.

La longitud de la tubería en la línea es de 8.909 m. de acuerdo con los dibujos realizados por ingeniería de procesos de la compañía los cuales podemos ver en la figura 3.

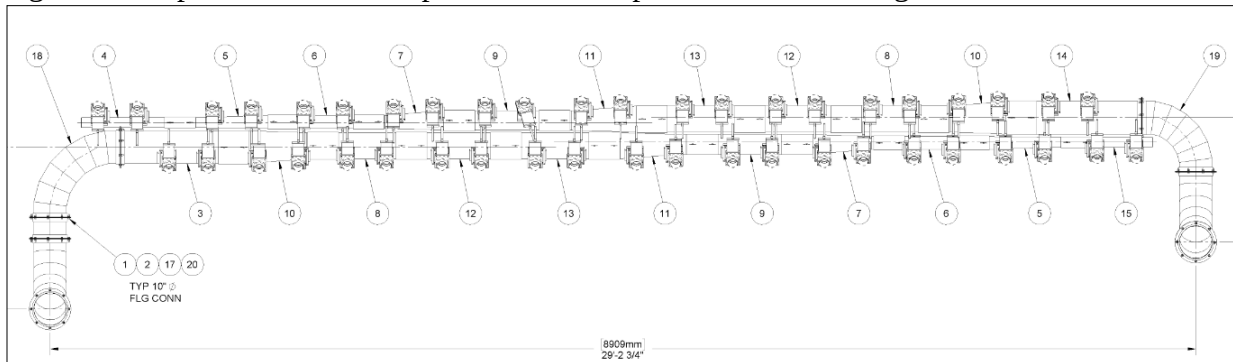


Figura 4. Tuberías de vacío.

A partir de los datos anteriores se hicieron los siguientes arreglos:

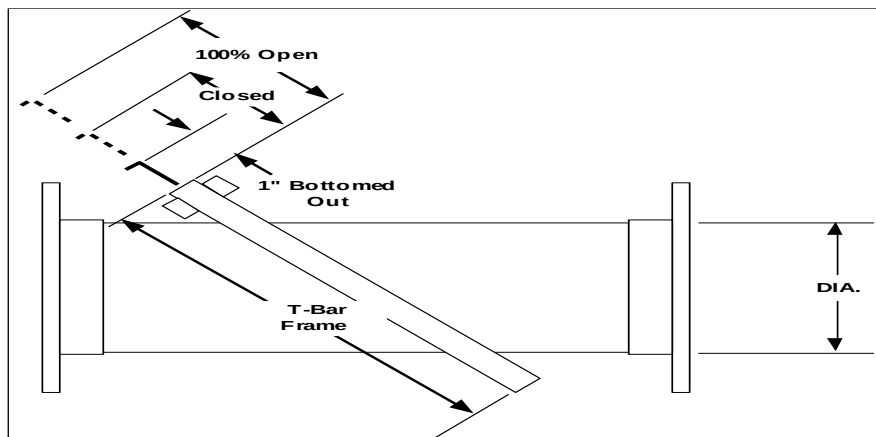


Figura 3. Representación de las partes.

La tabla numero 1 muestra a continuación las medidas del diámetro del ducto y las posiciones de las compuertas, todas las medidas están en pulgadas.

Diámetro	Estructura de ángulo T	Abierto 100%	Abierto 75%	Abierto 50%	Abierto 25%	Cerrado
3 in.	10	6	4 15/16	3 7/8	2 13/16	1 3/4
4 in.	11	7	5 9/16	4 3/16	2 3/4	1 3/8
5 in.	13	9	7 1/4	5 7/16	3 11/16	1 15/16
6 in.	14	10	7 7/8	5 3/4	3 5/8	1 1/2
7 in.	13 3/4	11 3/4	9 1/4	6 3/16	4 5/16	1 7/8
8 in.	17	13	10 1/8	7 5/16	4 1/2	1 11/16
9 in.	18 3/8	14 3/8	11 3/16	8	4 13/16	1 5/8
10 in.	19 3/4	15 3/4	12 3/16	8 11/16	5 1/8	1 5/8
12 in.	23	19	14 3/4	10 1/2	6 1/4	2
13 in.	24	20	15 3/8	10 13/16	6 3/16	1 5/8
14 in.	25	21	16 1/16	11 1/8	6 1/8	1 3/16
16 in.	28 1/2	24 1/2	18 7/8	13 3/16	7 1/2	1 7/8

17 in.	30 1/2	26 1/2	20 1/2	14 1/2	8 1/2	2 7/16
18 in.	31 3/4	27 3/4	21 3/8	15	8 11/16	2 5/16
20 in.	34 1/2	30 1/2	23 7/16	16 3/8	9 5/16	2 3/16
22 in.	39 1/4	35 1/4	27 1/2	19 11/16	11 15/16	4 1/8
24 in.	41	37	28 1/2	20	11 9/16	3 1/16

Tabla 1.

4.2. Instalación de ductos.

La siguiente actividad será instalar los ductos flexibles que van directo a las estaciones tanto de celofán y rayón, se alinearon todas las tuberías de vacío buscando que quedaran lo más recto posible y todas de un mismo calibre como se puede observar en la figura 5, buscando además que estos no interfieran con las actividades del operador para evitar que se muevan de su lugar o que a su vez estos pudieran ocasionar algún golpe o cortadura al personal operativo.

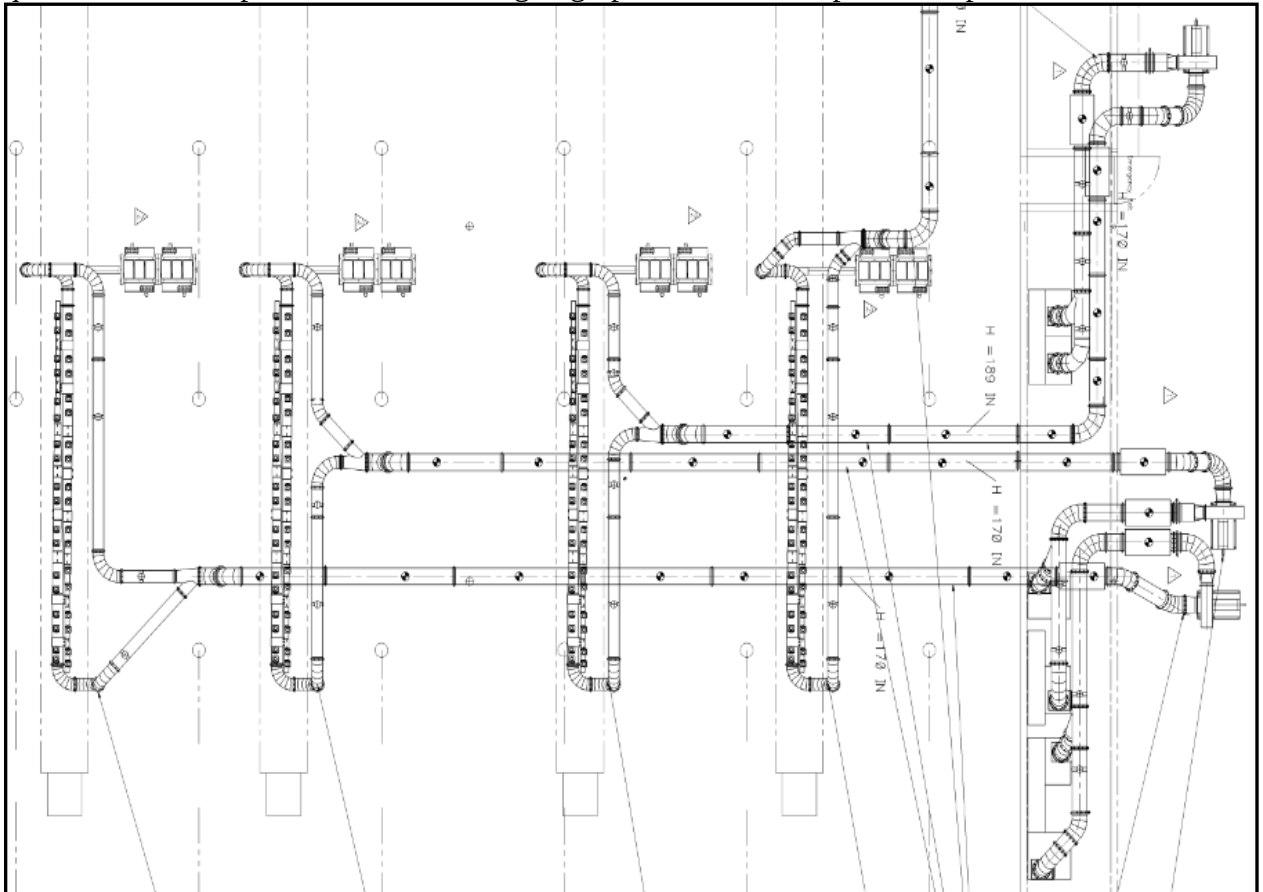


Figura número 5 diagrama general de tuberías de vacío en 4 líneas de producción.



Figura 6. Instalación de tubería flexible.

4.3. Instalación de instrumentos de medición y control neumático.

Para corroborar los datos de vacío en tiempo real se instalaron 44 manómetros de presión diferencial de la marca Dawyer Instrument y del modelo Minihelic II Gage, estos manómetros solo medirán el vacío en InH_2O y se están utilizando solamente para referencia además que nos ayudaran a saber si existe algún problema de obstrucción o fuga de aire en las conexiones de los ductos. La figura número 7 a continuación nos muestra los instrumentos.



Manómetro



Conexión del manómetro



Pedal para apertura de vacío

Figura 7.

Una vez con estos elementos instalados pudimos corroborar las lecturas de vacío en tiempo y poder poner a prueba el sistema en el peor de los escenarios que seria que las 44 válvulas estuvieran en estado abierto, recordemos que son 22 estaciones de rayón y 22 de celofán, aun en este escenario los manómetros estuvieron midiendo vacío para las estaciones de rayón que es donde se coloca el pallet de 6" a 7" W.C. de vacío. Para las estaciones de celofán la lectura estuvo dentro de 8" a 10" W.C. de vacío.

En la figura 8 se muestra el diagrama neumático de la instalación de los dispositivos mencionados.

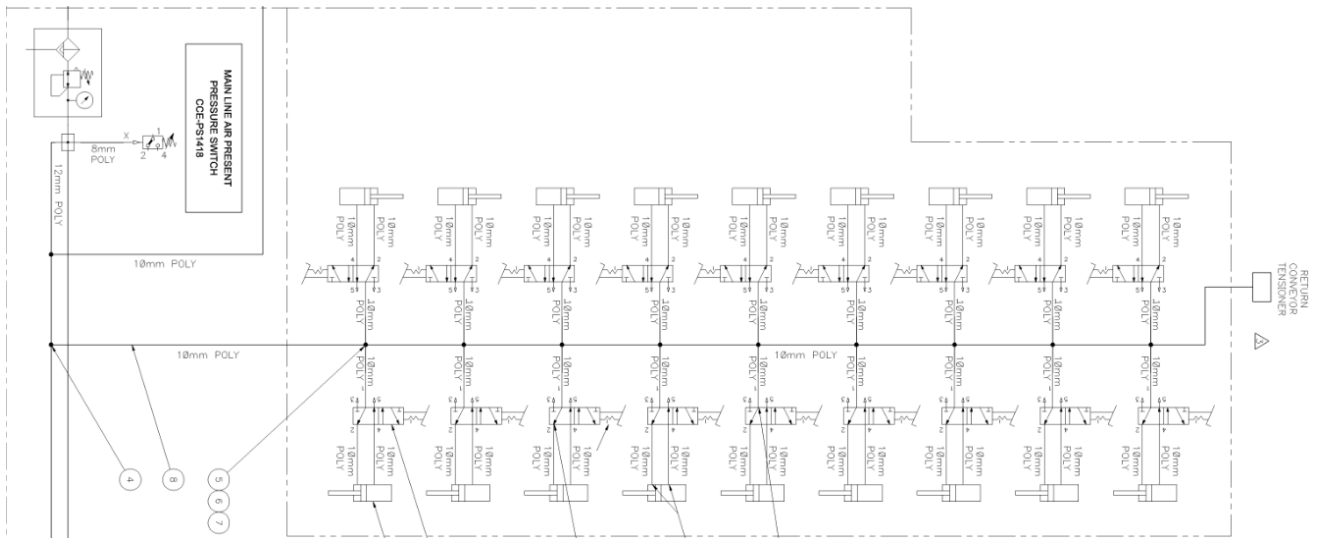


Figura número 8, en ella se muestra las válvulas 5/2 accionadas por pedal, las cuales a su vez activan los pistones que cierran las compuertas de vacío.

4.4. Estructura de tolvas y estaciones de trabajo.

Para la modificación de las tolvas ya se tenía un ejemplo dentro de la empresa en cual se basó, ya que la forma de este es bastante ergonómica y ayuda de buena manera en el surtido de material, las tolvas nuevas son de lámina acerada como se visualiza en la figura 9, todo material que se utilice en las líneas de producción debe ser acerado por el tipo de producto que se manufactura ya que es de grado médico. Las características de estas tolvas es que son más bajas y contienen unas charolas que están a la altura de las manos del operador, facilitando con esto que la tarea sea más simple.



Figura 9.

4.5. Diseño de nuevo pallet.

El pallet que se diseñó cuenta con una forma que hace fácil su manipulación ya que se enfatizó bastante en la figura que tomaría la parte por donde se sujetará y en la siguiente figura número 10 se puede observar.

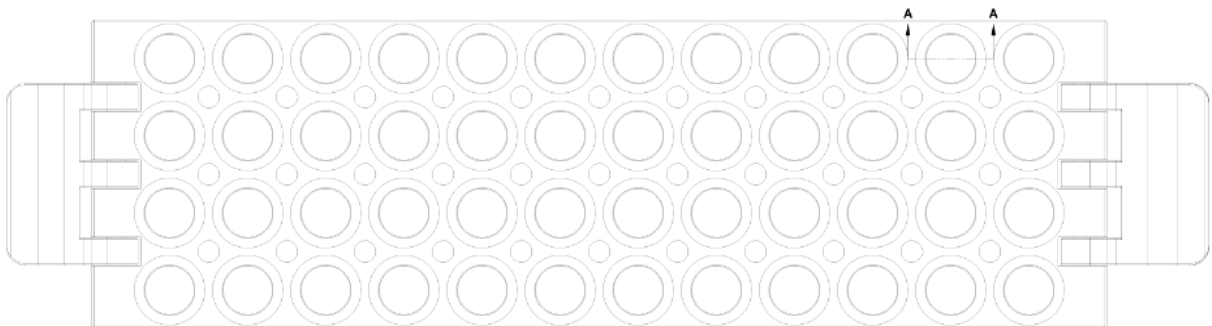


Figura 10. Vista de la parte de arriba del pallet.

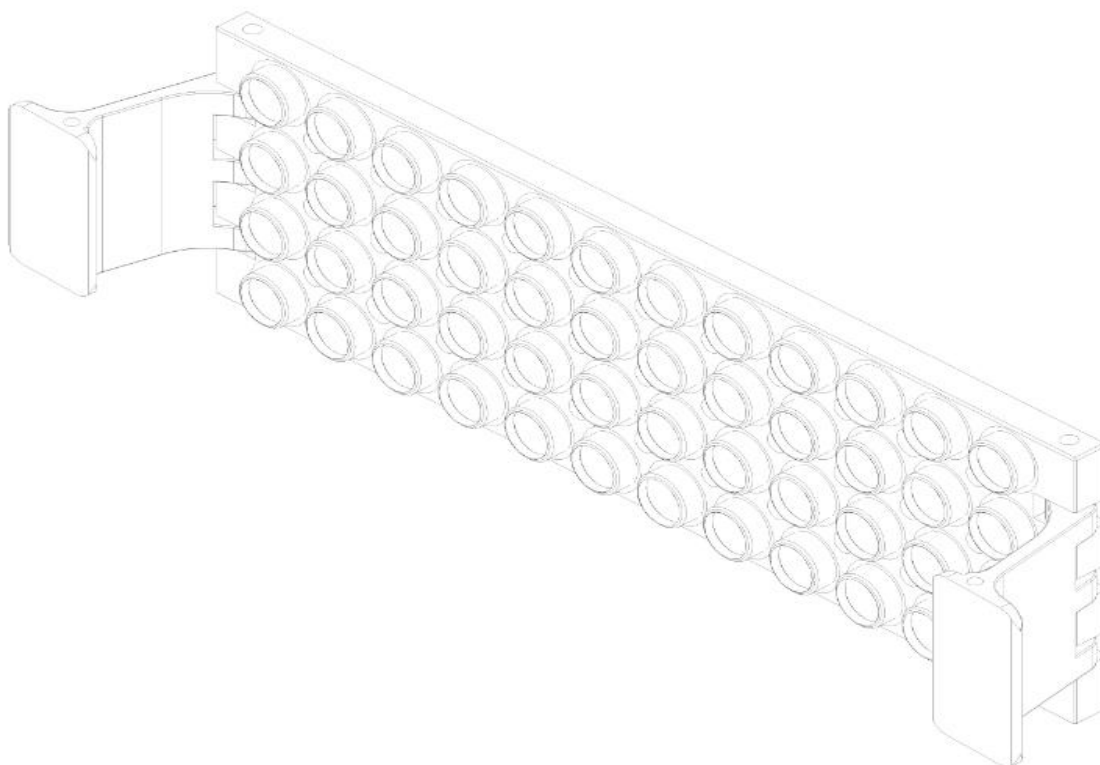


Figura 11.

La figura 11 muestra la parte del pallet de arriba, las agarraderas a la vez sirven para que esta parte ensamble con los demás elementos.

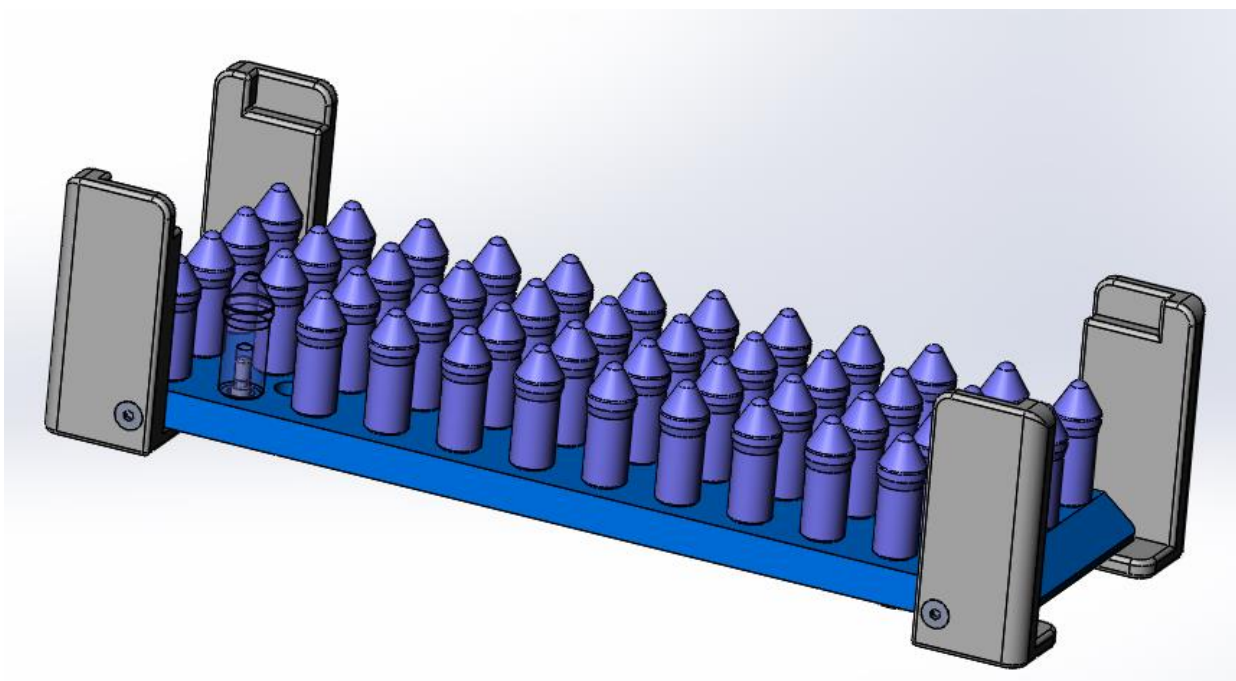


Figura 12.

La figura 12 muestra la parte posterior del pallet y es aquí donde se ensambla con un click la tapa que se mostró anteriormente. La función de esta parte es abrir el barril e insertar el rayón que es la parte absorbente del dispositivo.



Figura 13.

En esta figura número 13 se alcanza a visualizar como es que se inserta el rayón en el fixture el cual está colocado sobre la válvula de vacío y succiona la parte para que quede en su lugar.

4.6. Estudio de tiempos una vez introducido el pallet nuevo.

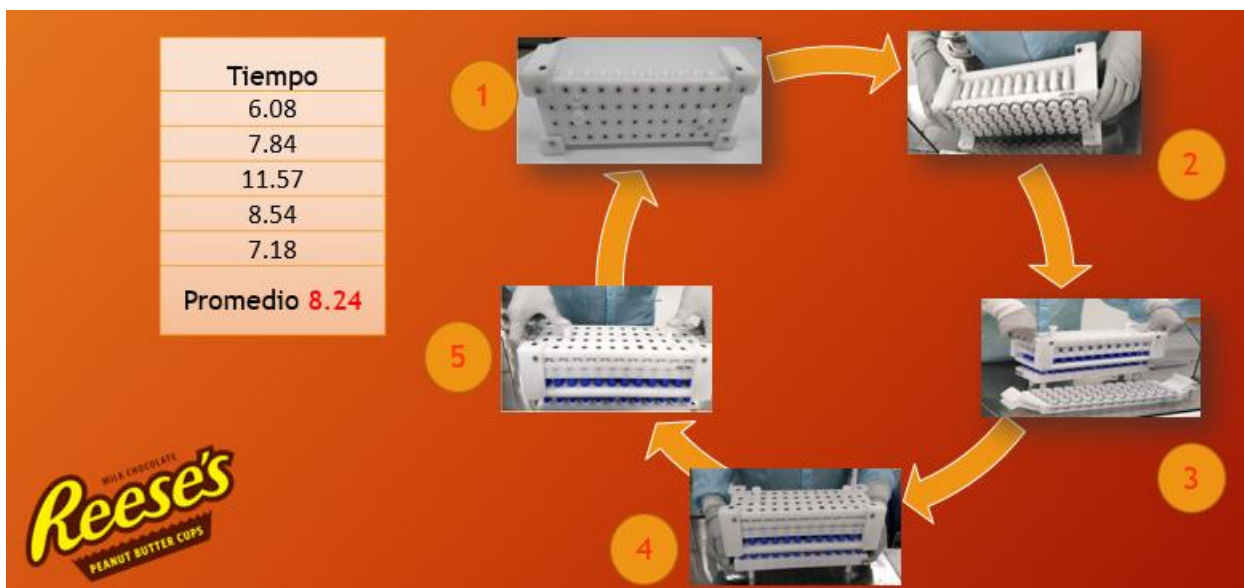


Figura 14.

En figura 14, se muestra el proceso de la estación “abre pétalos” y el tiempo promedio de esta que es de 8.24 segundos.

En la toma de tiempo del recorrido del pallet por la banda y al igual que el tiempo de ciclo de la prensa de formado de pétalo es de 2.40 segundos y este trayecto puede contener hasta 6 pallets y dos más en espera.

Producto: Click súper	Línea: NS07
Pallet actual	Tiempo
1	02:17.4
2	02:25.3
3	02:19.8
4	02:21.5
5	02:31.2
6	02:22.3
7	02:28.2
8	02:26.9
9	02:31.5
10	02:27.2
Promedio	02:25.1

Producto: Click súper	Línea: NS07
Nuevo pallet	Tiempo
1	01:58.4
2	01:57.0
3	02:10.4
4	02:08.4
5	02:02.2
6	02:17.3
7	02:05.2
8	02:04.2
9	02:07.9
10	02:01.0
Promedio	02:05.2

Tabla número 2.

En esta toma de tiempo de la tabla número 2, los datos arrojan un 5% de mejora con el nuevo pallet.

Producto: Click regular	Línea: NS07
Pallet actual	Tiempo
1	01:35.0
2	01:33.4
3	01:32.0
4	01:33.1
5	01:33.4
6	01:33.5
7	01:35.2
8	01:41.8
9	01:44.0
10	01:36.5
Promedio	01:35.8

Producto: Click regular	Línea: NS07
Nuevo pallet	Tiempo
1	01:29.9
2	01:28.0
3	01:29.1
4	01:29.8
5	01:25.5
6	01:27.4
7	01:25.0
8	01:30.3
9	01:29.9
10	01:26.0
Promedio	01:28.1

Tabla número 3.

En esta segunda toma de tiempo que se muestra en la tabla 3, para el producto de absorbencia regular nos da un aumento del 8% con el nuevo pallet.

Producto: Click súper+	Línea: NS07
Pallet actual	Tiempo
1	01:57.1
2	02:01.0
3	02:02.1
4	01:47.0
5	02:07.0
6	01:48.0
7	01:05.1
8	01:47.0
9	01:54.0
10	01:51.0
Promedio	01:35.8

Producto: Click súper+	Línea: NS07
Nuevo pallet	Tiempo
1	01:53.0
2	01:50.0
3	01:54.0
4	01:45.0
5	02:02.0
6	01:57.0
7	01:51.0
8	01:59.0
9	01:56.1
10	01:56.0
Promedio	01:28.1

Tabla 4.

En esta tercera toma de tiempo de la tabla número 4 y con una con una absorbencia diferente tenemos que el incremento de la productividad nos da un 3.9%.

De acuerdo con el estudio de prueba realizado para el producto click súper y para el producto click regular. La prueba se completó con éxito con un aumento promedio del 5% de productividad para cualquier tamaño.

NOTA: Utilizamos las paletas de embudo con insertos nuevos para esta ejecución.

Los comentarios de los operadores fueron positivos ya que tienen que hacer menos fuerza con este nuevo pallet. Además, asegura abrir la mayoría de los pétalos y reducirá el daño del pétalo.

Para el estudio del tiempo, seleccionamos dos operadores diferentes en la misma estación con 10 pallets procesados con Nueva plataforma y 10 pallets procesados con Pallets actuales.

En el diagrama de flujo de la siguiente página que se muestra en la figura 15, damos a conocer cuál es el proceso de las líneas de ensamble identificado por estaciones y la secuencia en la cual están ordenadas.

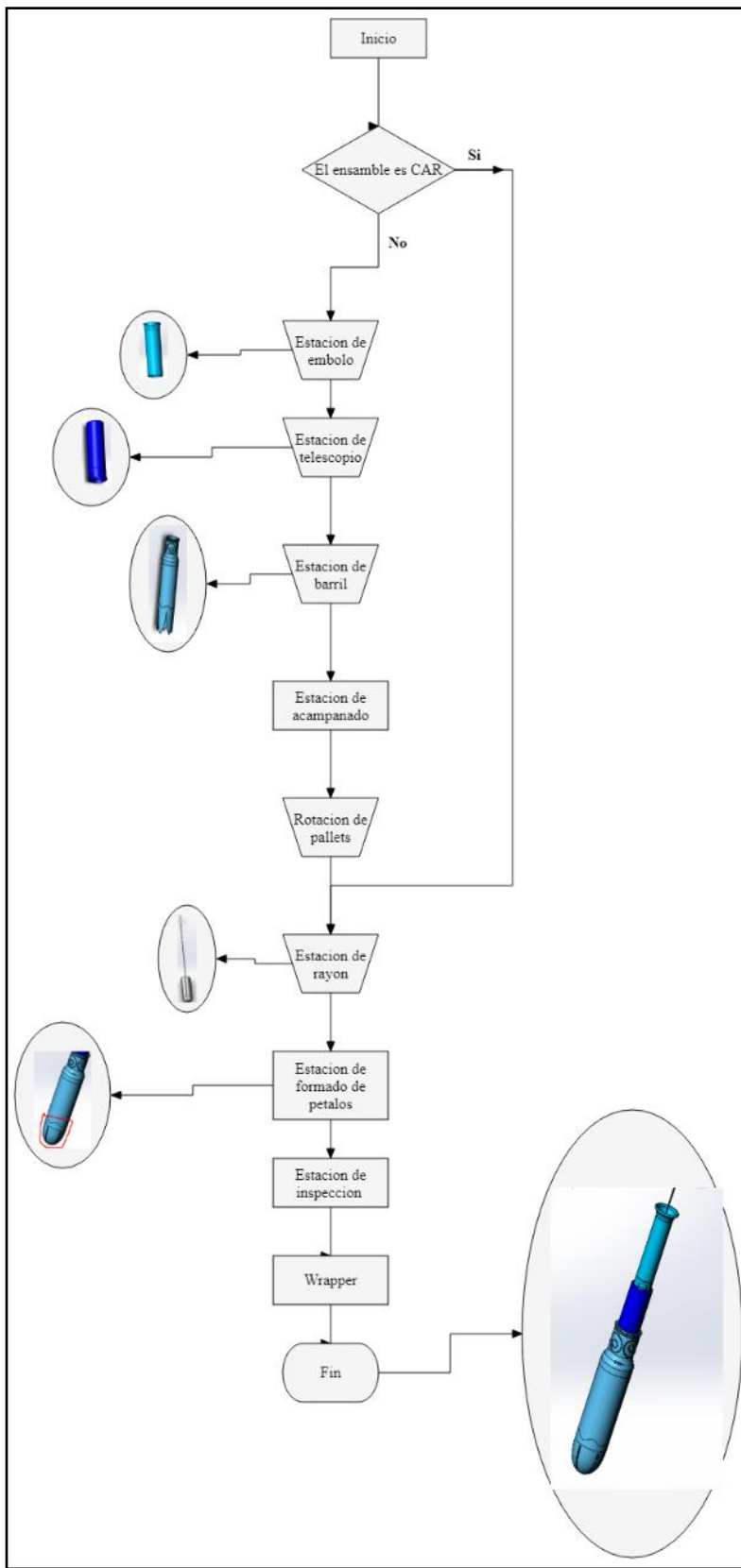
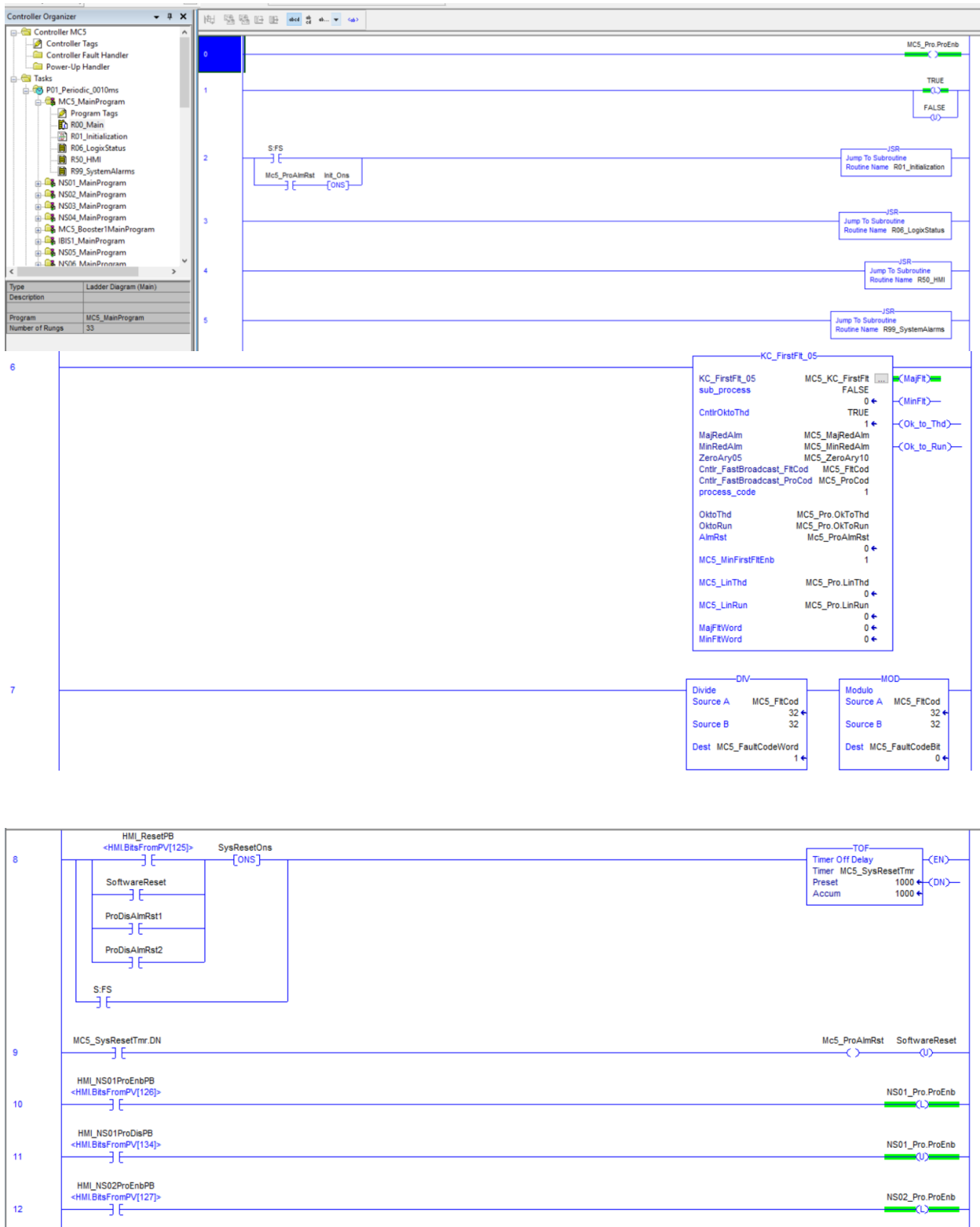
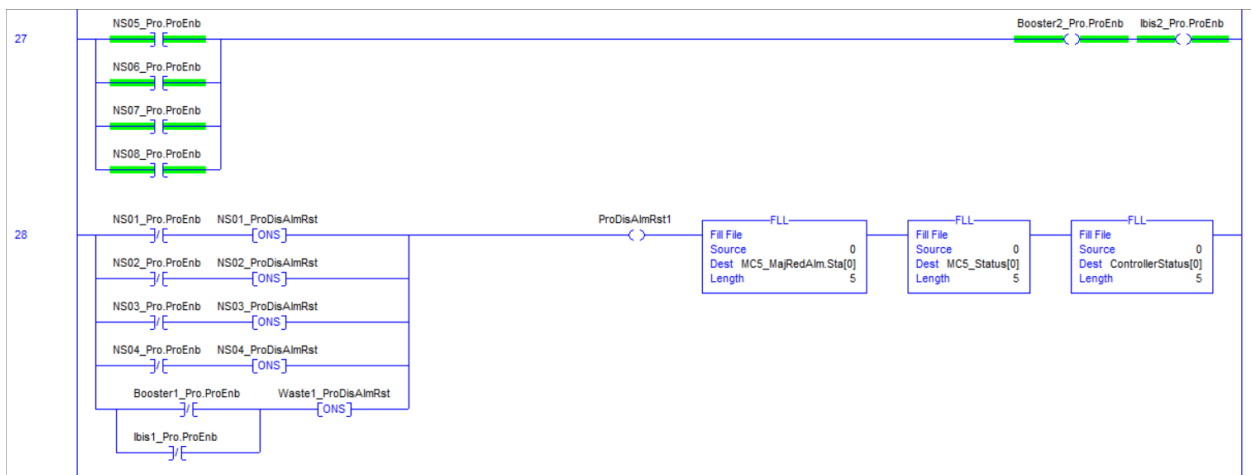
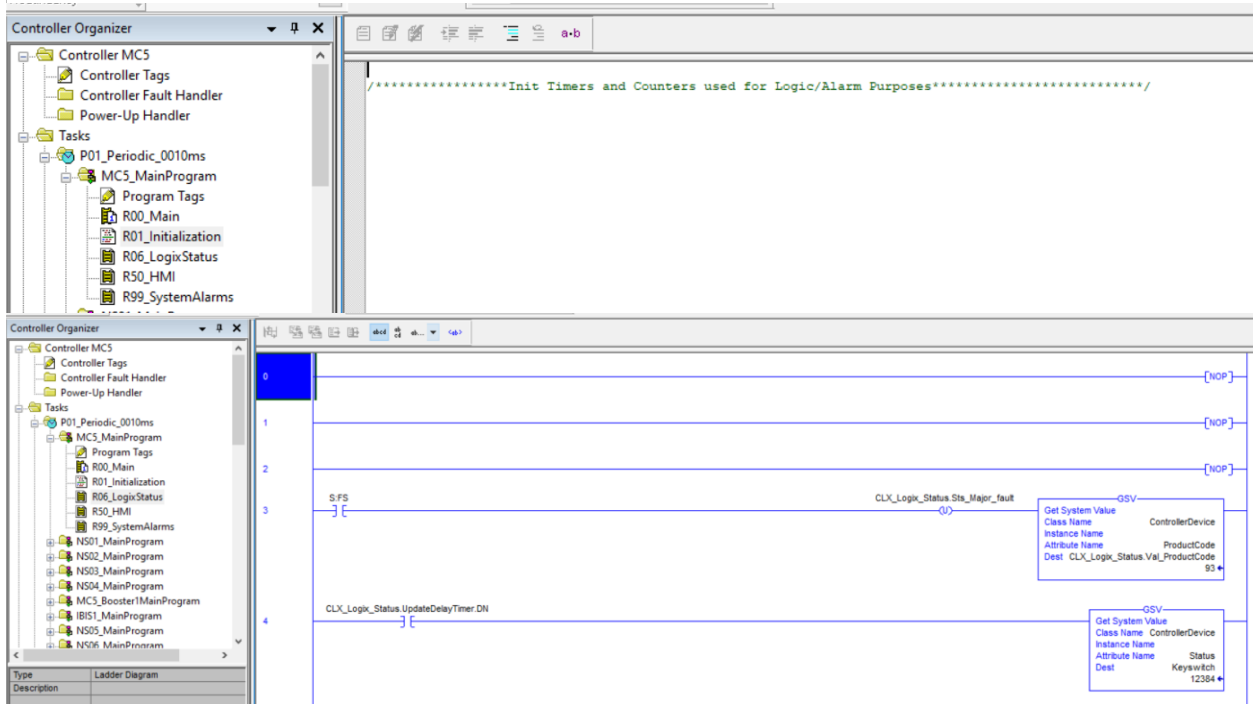


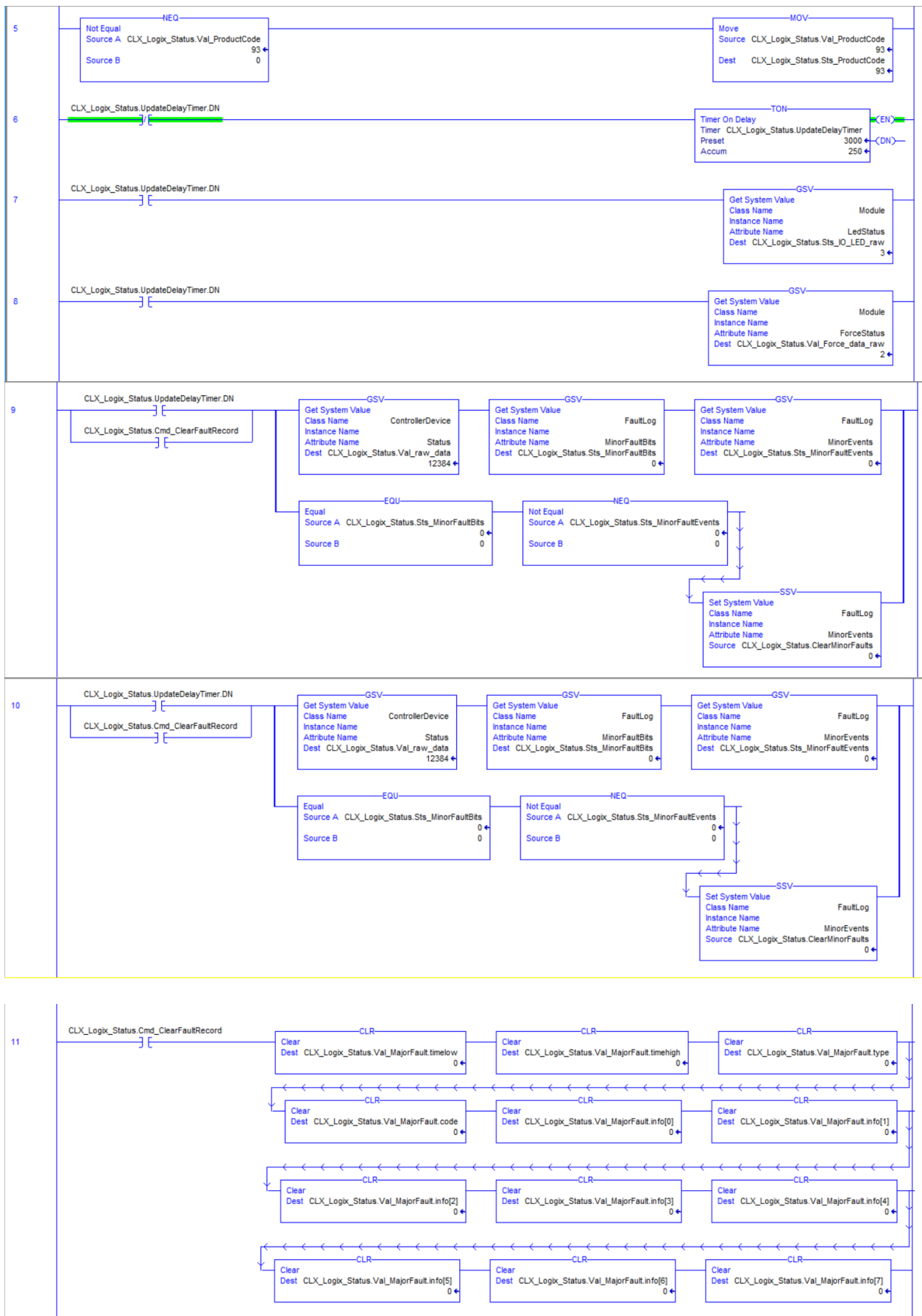
Figura15. Descripción del proceso de producción.

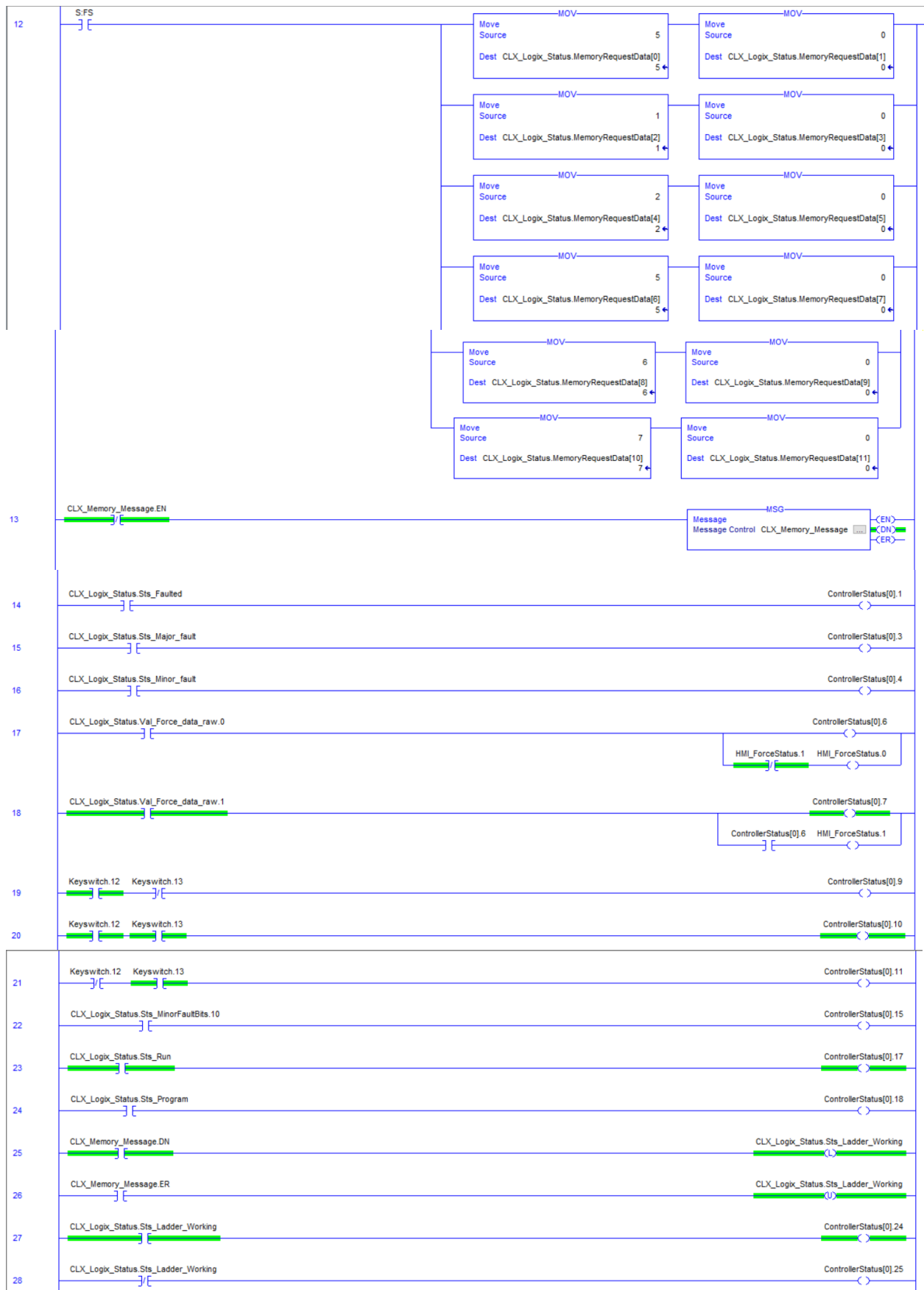
4.7. PLC, diagrama de escalera.

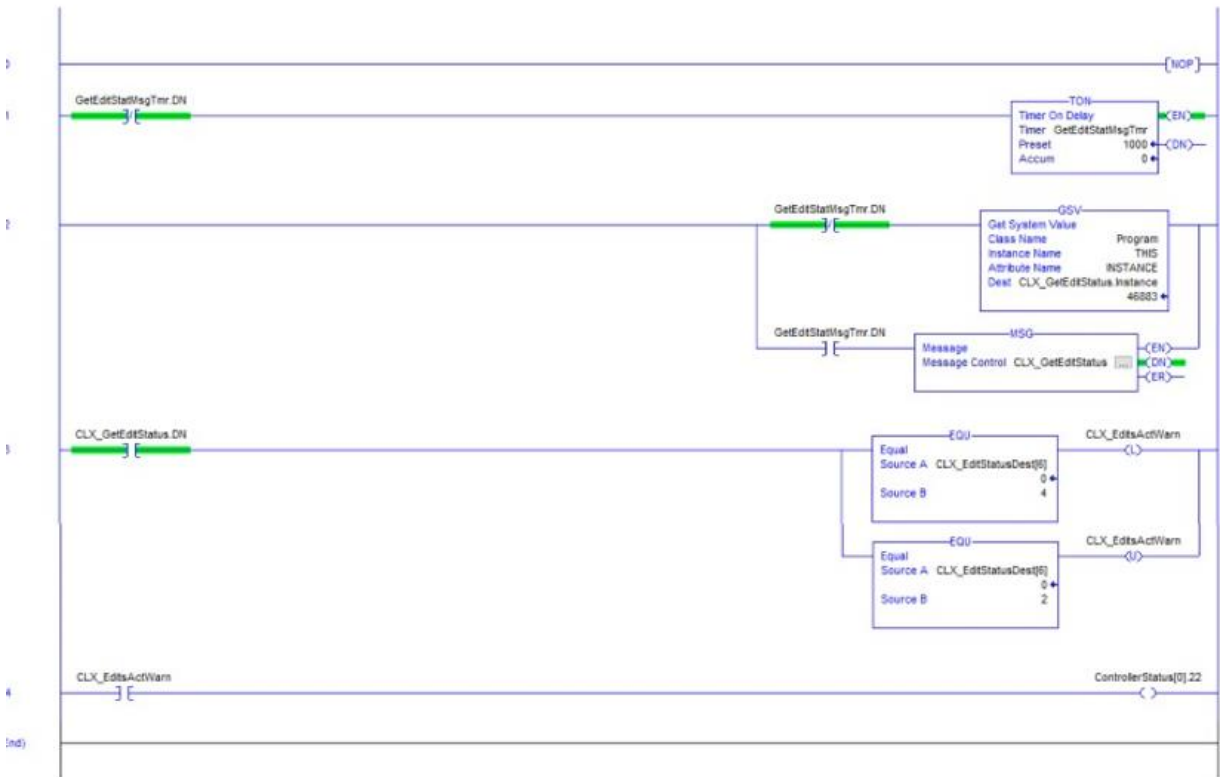
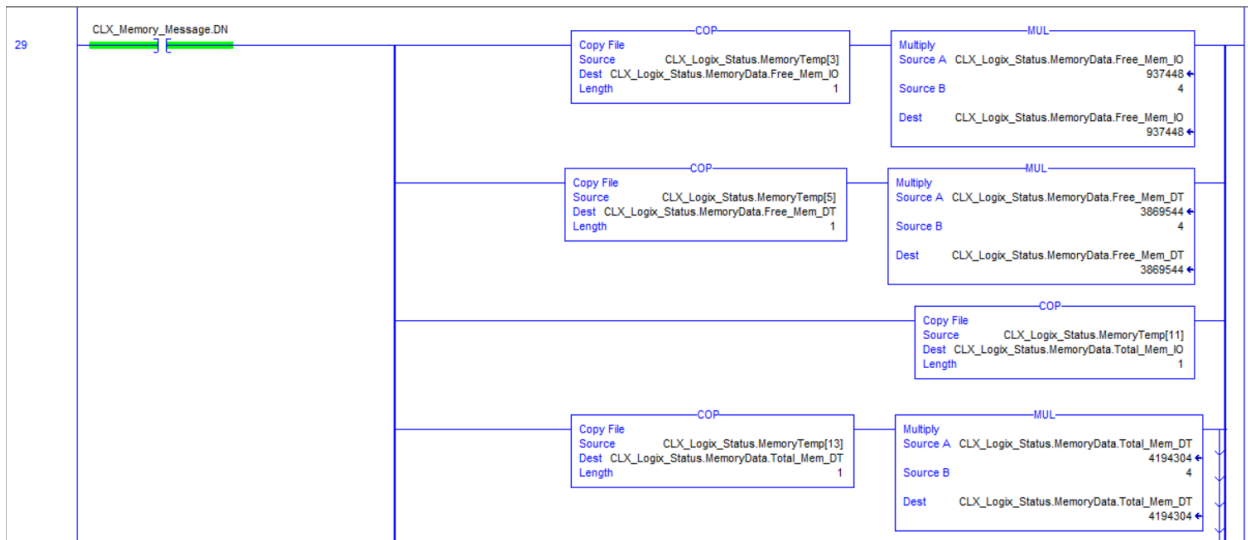


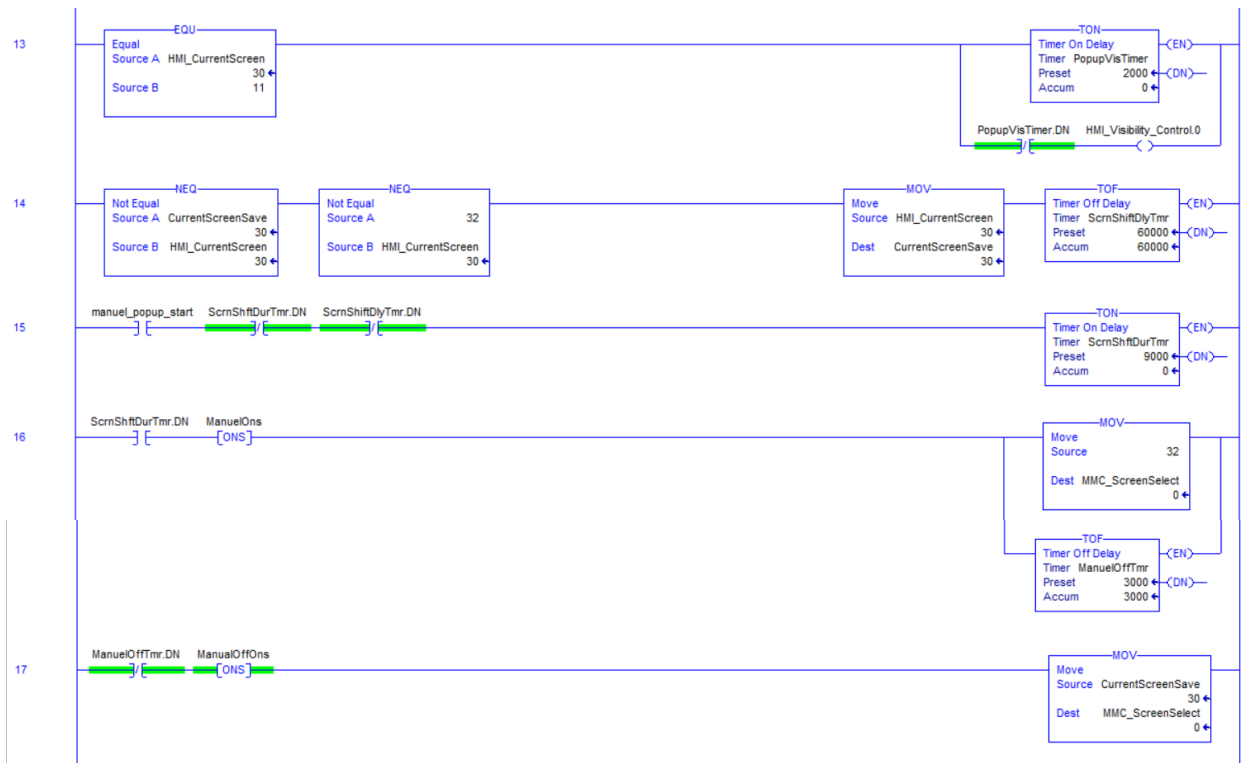
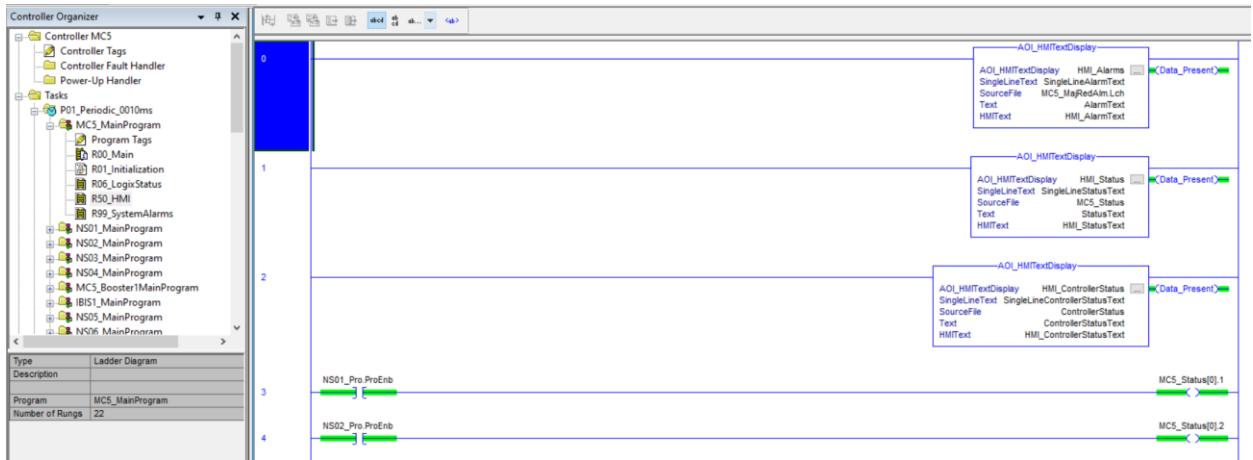


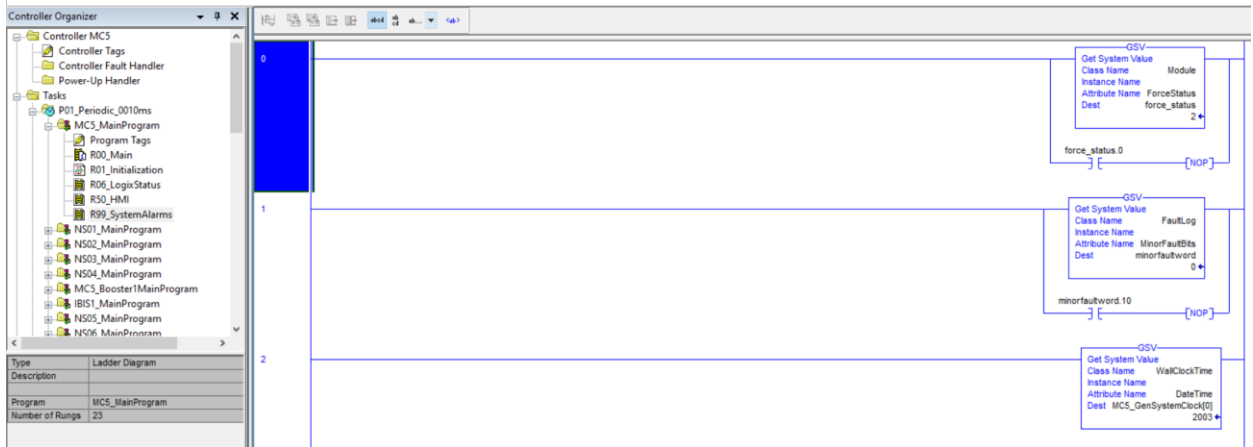
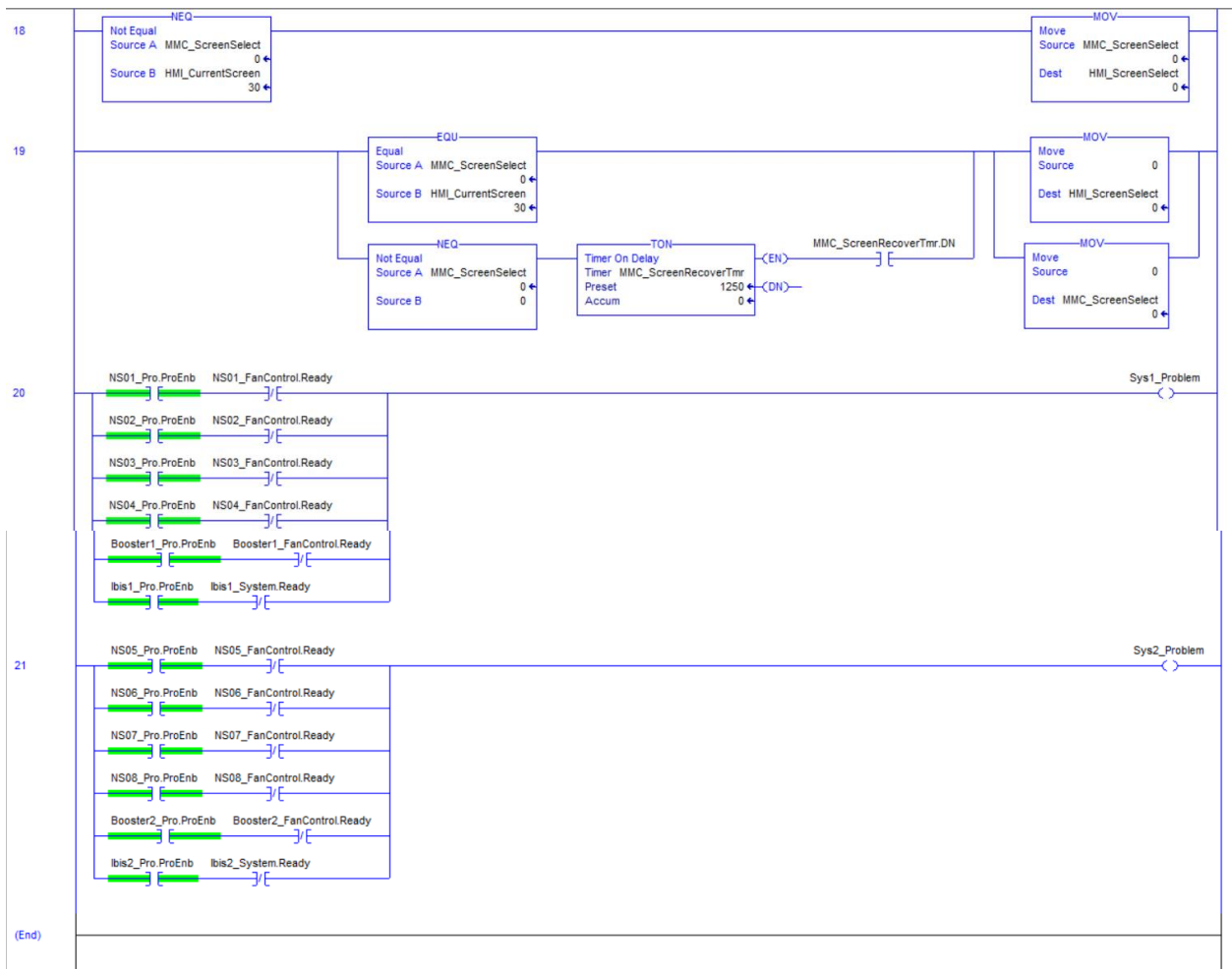


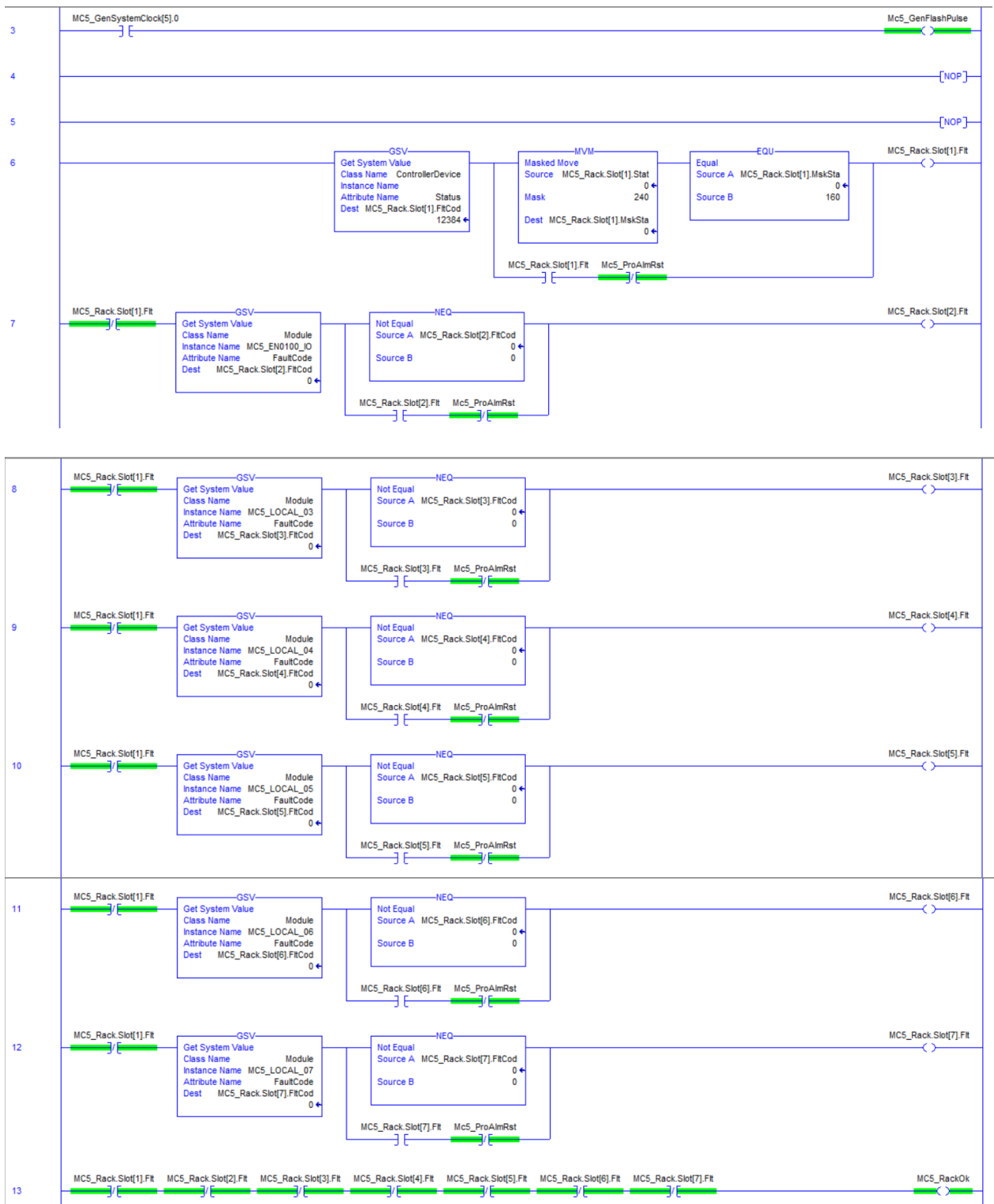


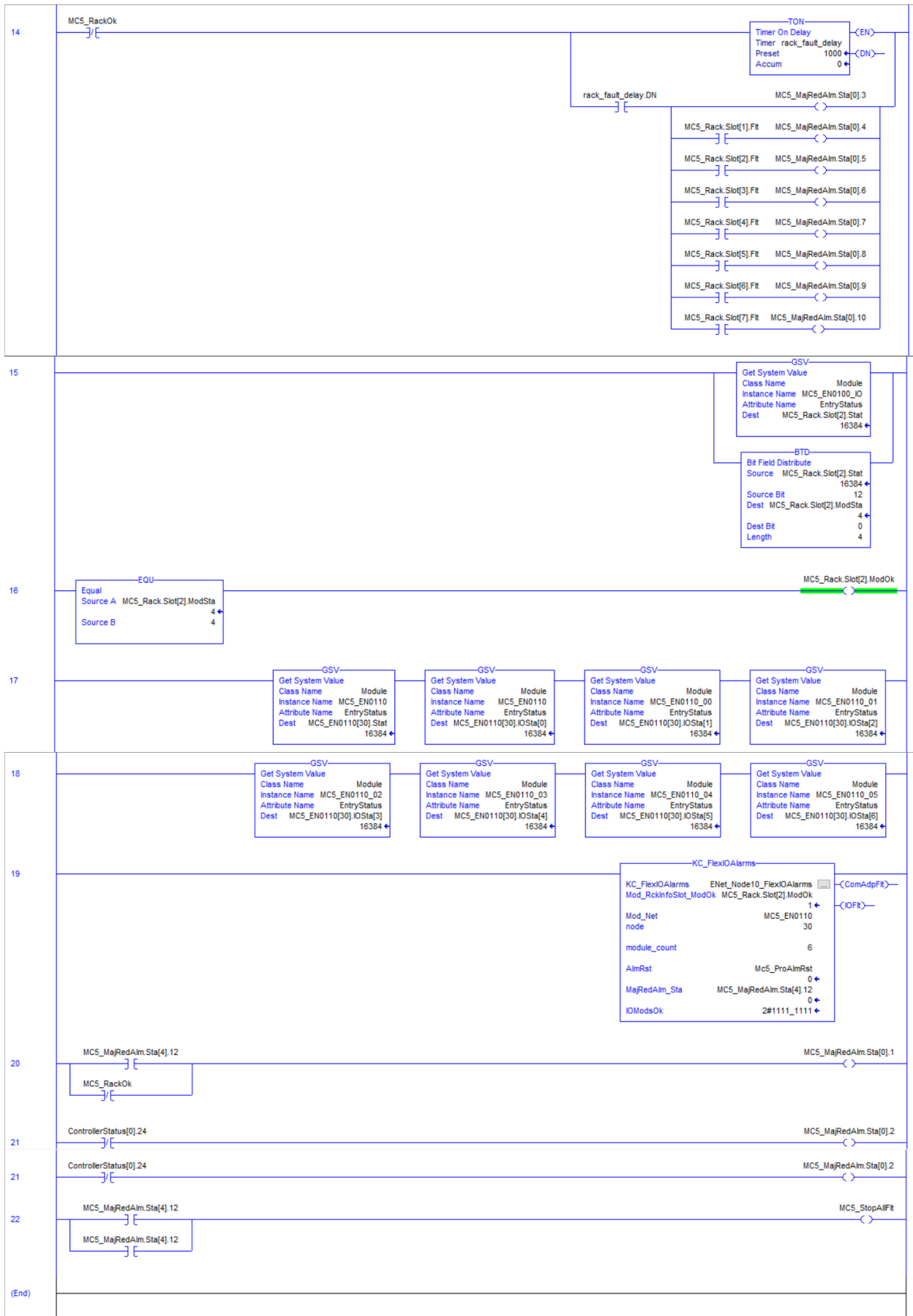


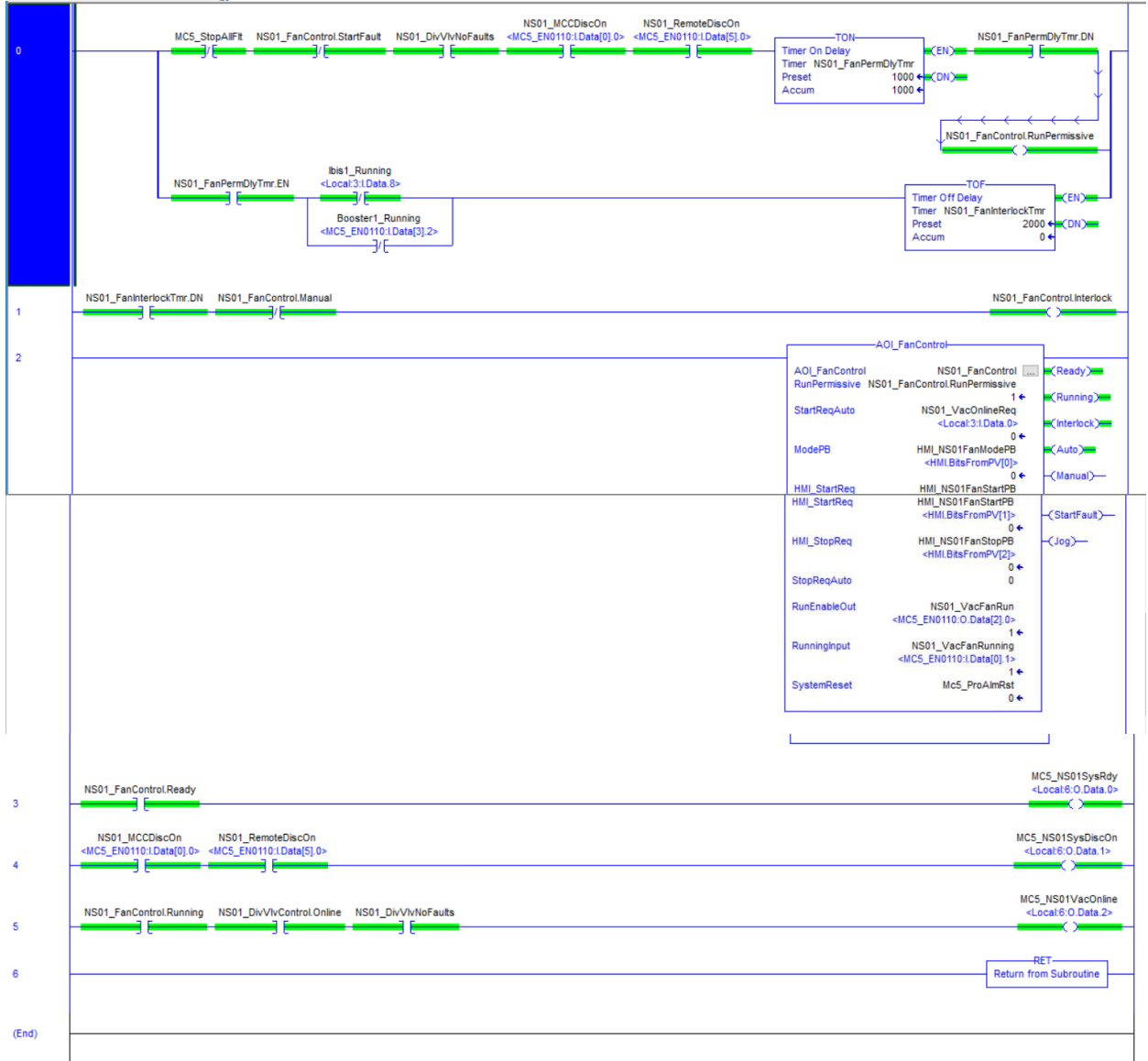


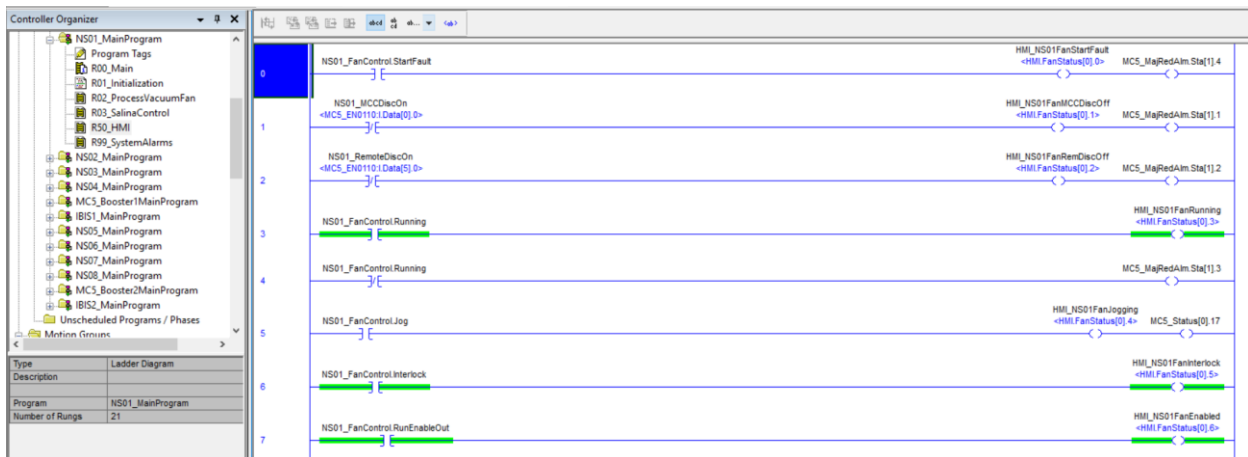












V. COMPETENCIAS DESARROLLADAS.

Durante este proyecto pude evaluar factibilidad técnica de diseños de sistemas mecatrónicos mediante prototipos y pruebas considerando la normatividad aplicable para su aprobación y desarrollo. Reconocer las herramientas de administración e Ingeniería de proyectos. Identificar los recursos requeridos del proyecto. Describir el proceso de planeación de recursos de proyectos: humanos, materiales, equipos, servicios e instalaciones especiales. Identificar los criterios a considerar en la adquisición de componentes. Identificar los criterios a considerar en la elaboración de presupuestos. Describir el proceso de elaboración de presupuestos de proyectos considerando: compra, fabricación, renta y transportación.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES REFERENCIAS.

Mediante el proyecto que se desarrolló anteriormente se pudieron poner en práctica evaluaciones ingenieriles enfocadas principalmente al desarrollo de estructuras y conocimientos referentes a sistemas neumáticos, algo muy importante fue el poder organizarse con diverso personal que a su vez realizaba distintas actividades, todas encaminadas a lograr terminar en tiempo y de la mejor manera el proyecto.

La recomendación es continuar con este proyecto, para dar seguimiento es necesario desarrollar un sistema para dar mantenimiento periódico a los pallets y diseñar una herramienta para realizar el cambio de partes que se dañen. El sistema de vacío se está dando mantenimiento cada 6 meses y esta es otra actividad que habría que revalorar para bajar el tiempo y recomendar que se haga cada 3 meses. Aun así, desde la instalación del proyecto se aumentará claramente la productividad y reducirá los desechos. Además, y no menos importante se reducirán las oportunidades de riesgo de accidentes.

6.1. Recomendación y diseño de implementación de hardware.

En este capítulo se realiza un estudio y análisis de los principales sensores destinados a medir los rangos de presión y temperatura a los que opera el compresor. Además de una breve descripción técnica de los elementos a usarse. Se seleccionan los diferentes equipos de instrumentación, control y visualización, se detallan las medidas del diseño del tablero de control, mismo que servirá para el montaje e instalación de los equipos de control y monitoreo de las variables analógicas más relevantes manejadas por el compresor.

6.2. Arquitectura del sistema.

En la Figura 2.1 se muestra el diagrama general de los elementos principales para realizar la automatización del compresor Wittemann.

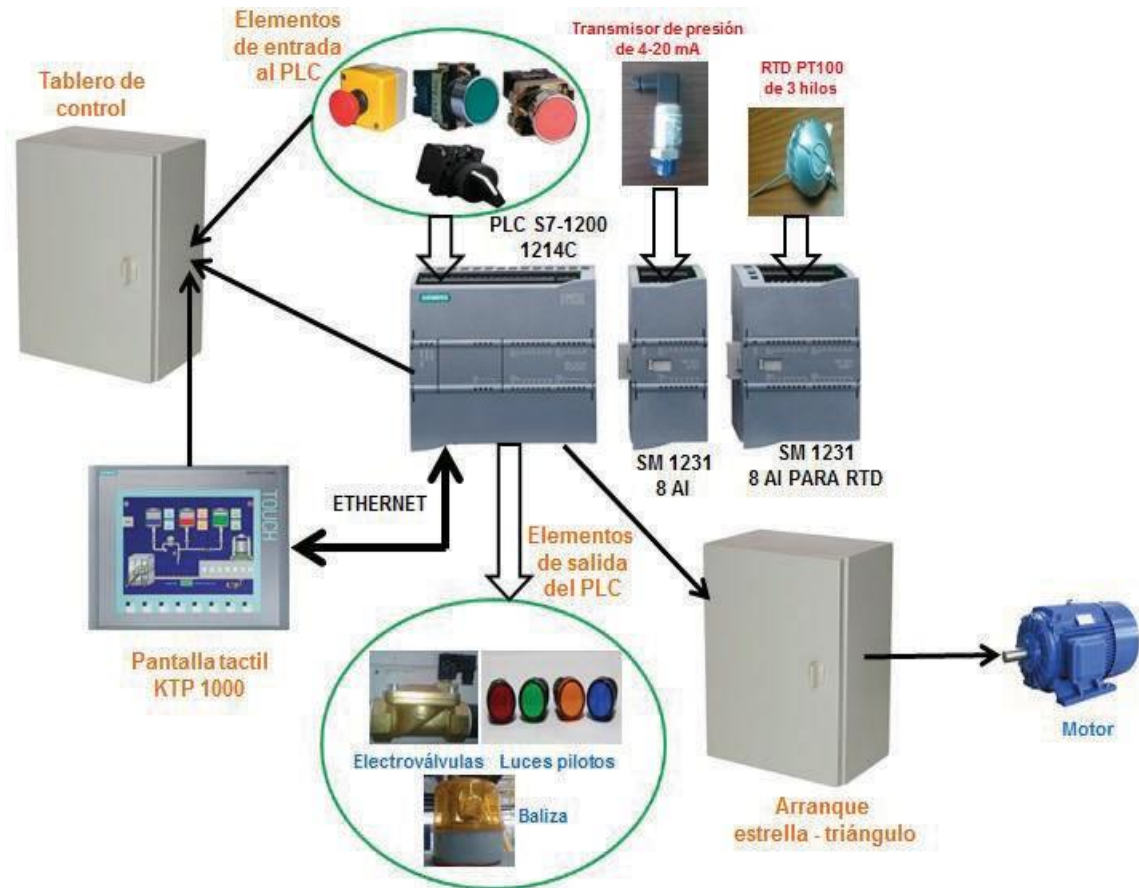


Figura 2.1 Arquitectura del sistema

En el esquema anterior se muestra la disposición de todos los equipos del sistema, los elementos de maniobra son conectados a las entradas digitales del PLC, mientras que los transmisores de presión al ser entradas analógicas son conectados al módulo análogo de expansión SM 1231 de 8 entradas analógicas, las RTD's también al ser entradas analógicas se conecta con el módulo análogo SM 1231 para RTD's de 8 entradas analógicas.

Los elementos a controlar con las salidas digitales del PLC son las electroválvulas, luces pilotos y el arranque estrella – triángulo con lo cual se controla el encendido y apagado del motor del compresor. Con finalidad de visualizar las variables controladas por el PLC se instala una pantalla táctil cuya comunicación con el PLC es Ethernet industrial. Los elementos de control, visualización, maniobra y protección están ubicados en el tablero de control implementado.

6.3. Circuito de fuerza del arranque estrella-triángulo del motor.

El arranque estrella-triángulo del compresor ya existía en un tablero de control en la Planta de CO₂, por lo cual no fue necesario cambiar el arranque, solo se realizó un nuevo cableado del circuito control del arranque estrella-triángulo.

En la Figura 2.3 se observa el circuito de fuerza el cual tiene un contactor de línea, un contactor de estrella, un contactor de triángulo y un temporizador ON- DELAY, los mismos que se encargan del encendido y apagado del motor.

En todo circuito se debe utilizar elementos de protección para los equipos, el circuito de fuerza tiene instalado fusibles de rápida reacción en caso de existir cortocircuitos y el relé térmico para proteger al motor en caso de que exista sobrecarga en el sistema.

6.3.1. Circuito de fuerza del arranque estrella-triángulo.

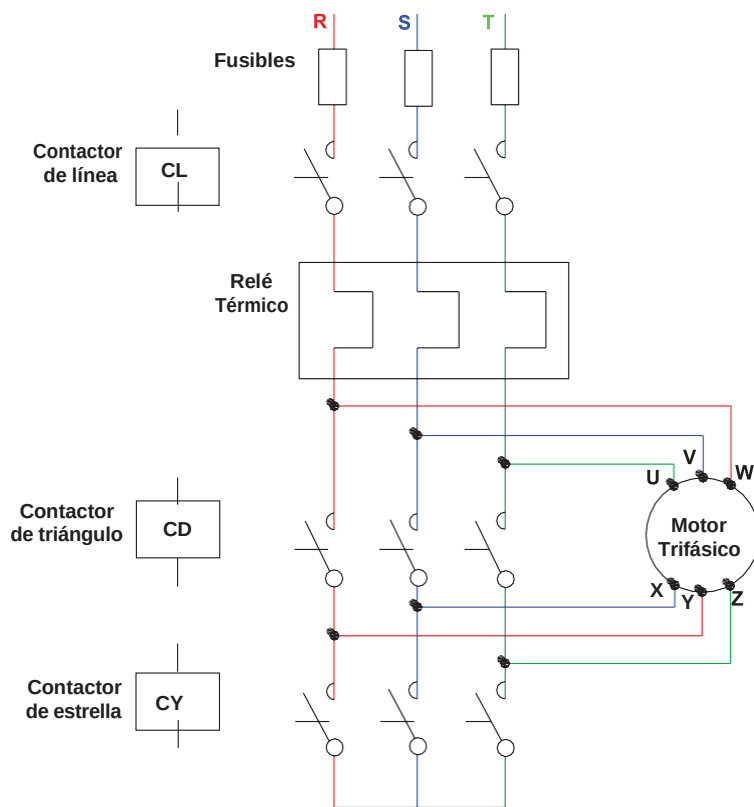


Figura 2.3 Arranque estrella-triángulo

En la Tabla 2.1 se muestra los datos técnicos de los contactores del arranque estrella-triángulo del compresor Wittemann # 1.

Tabla 2.1 Características técnicas de contactores

Contactor	Modelo	Marca	# Polos	Voltaje	Corriente	Temperatura
Línea	LC1F185	Schneider	3 NO	440 VAC	185 A	-5 a 55 °C
Triángulo	LC1F330	Schneider	3 NO	440 VAC	330 A	-5 a 55 °C
Estrella	LC1D150	Schneider	3 NO	460 VAC	150 A	-5 a 55 °C

El valor de los fusibles es de 32 A y 500 VAC, el relé térmico instalado es el LRD-08 con una Ith de 5 A y el Ue de 690 VAC.

6.3.2. Circuito de control del arranque estrella-triángulo del motor.

En la Figura 2.4 se observa el circuito de control del arranque estrella-triángulo del motor, la modificación más importante que se realizó en este circuito es el cambio del pulsador de marcha por un Relé Auxiliar (RA), el mismo que es controlado por una salida digital del PLC y permite enviar una señal de pulso para encender y apagar el compresor.

6.3.3. Circuito de control del arranque estrella-triángulo.

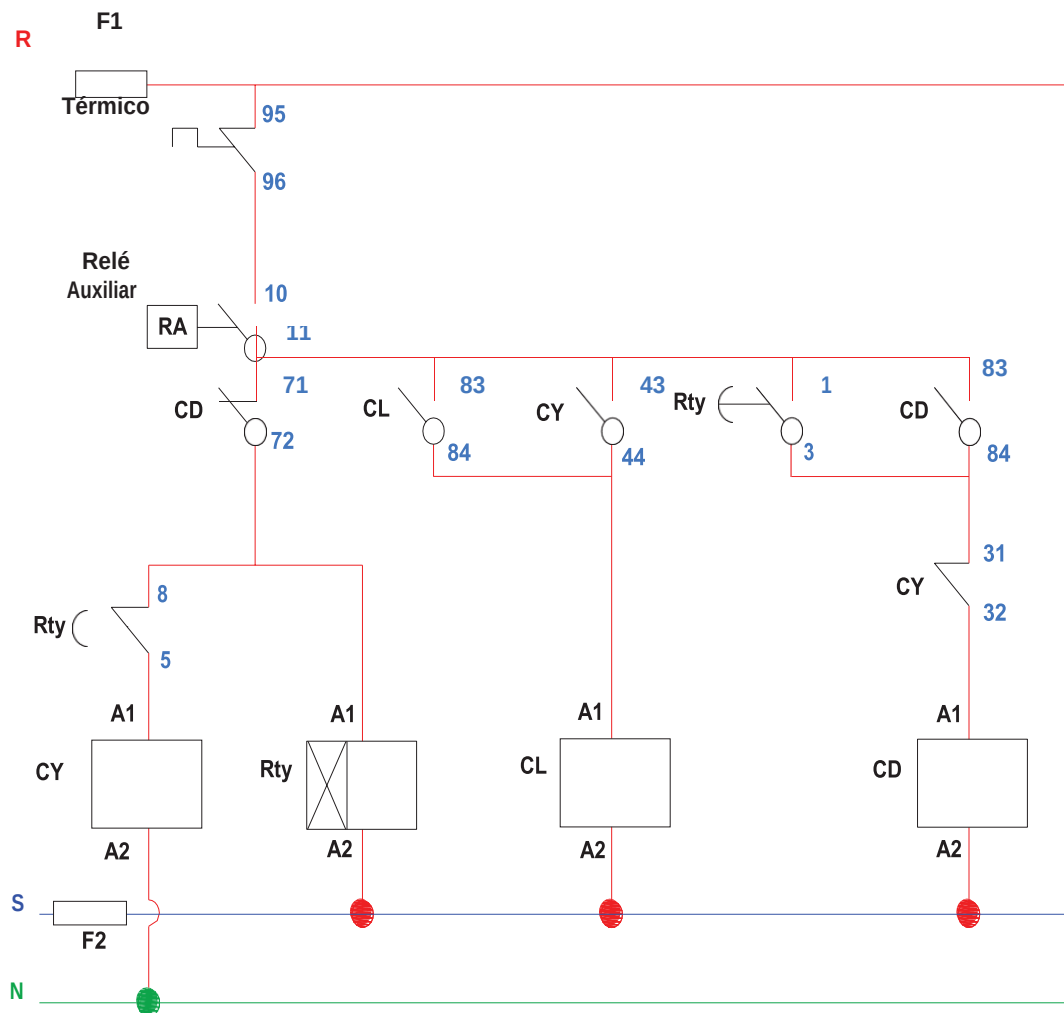


Figura 2.4 Circuito de control de arranque estrella-triángulo

6.4. determinación de entradas y salidas del sistema.

Para determinar el número de entradas y salidas tanto digitales como análogas requeridas por el sistema se realiza un análisis en base a la aplicación y las necesidades de la planta.

6.4.1. Entradas del sistema.

Las entradas requeridas son:

6 entradas analógicas para los transmisores de presión en cada una de las etapas y variables para el correcto funcionamiento del compresor.

Tabla 2.2 Entradas analógicas de presión [4]

Etapas y variables	Rango [PSI]	Tipo de entrada	Número
Presión de succión	2-8	Analógica	1
Presión entre etapas	56-76	Analógica	1
Presión de descarga	250-330	Analógica	1
Presión de agua	16-40	Analógica	1
Presión de aceite	20-36	Analógica	1
Presión de Instrumentación	80-165	Analógica	1
		Total	6

5 entradas analógicas tipo RTD para la medición de temperatura en cada etapa y a la entrada y salida de agua del Wittemann # 1.

Tabla 2.3 Entradas analógicas de temperatura

Etapas y variables	Rango [°C]	Tipo de entrada	Número
Descarga de primera etapa	130-160	Analógica	1
Descarga de segunda etapa	110-160	Analógica	1
Entre etapas	23-32	Analógica	1
Entrada de agua	10-25	Analógica	1
Salida de agua	15-28	Analógica	1
		Total	5

5 entradas digitales para controlar elementos de protección y maniobra.

Tabla 2.4 Entradas digitales del sistema

Variab le	Tipo de entrada	Núme ro
Marcha	Digital	1
Paro	Digital	1
Emergencia	Digital	1
Automático	Digital	1
Manual	Digital	1
	Total	5

6.4.2. Salidas del sistema.

En el sistema existen los siguientes elementos a controlar:

3 salidas digitales para las electroválvulas del compresor.

1 salida digital para baliza.

2 salidas digitales para luces pilotos.

1 salida digital para el encendido y apagado del motor.

En la Tabla 2.5 se muestra las salidas digitales a controlar por el PLC del sistema.

Tabla 2.5 Salidas a controlar del sistema

Variab le	Tipo de control	Núme ro
Arranque Y-D del motor	ON/OFF	1
Electroválvula desfogue	ON/OFF	1
Electroválvula de 50%	ON/OFF	1
Electroválvula de 100%	ON/OFF	1
Baliza	ON/OFF	1
Luz de emergencia	ON/OFF	1
Luz de falla	ON/OFF	1
	Total de salidas	7

6.4.3. Diagrama de entradas y salidas.

A continuación, se presenta el diagrama de entradas y salidas:

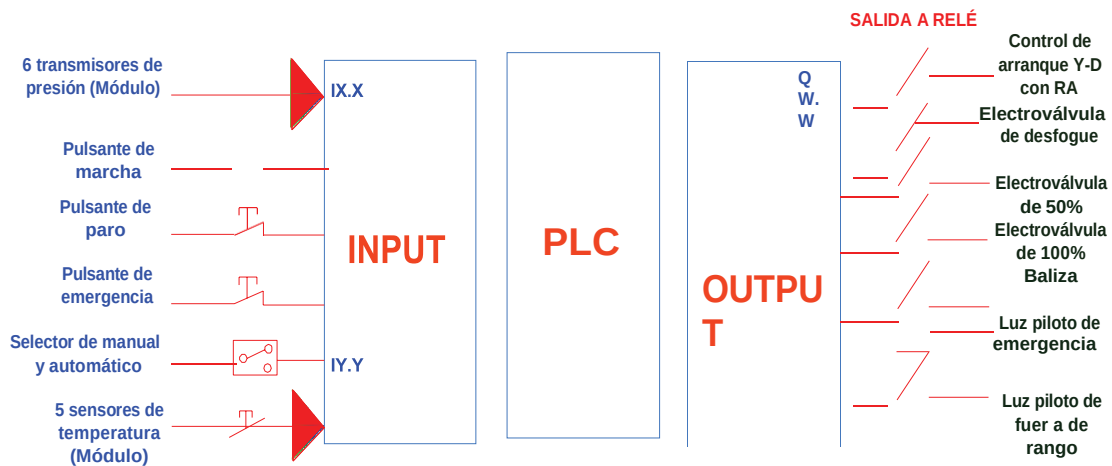


Figura 2.5 Entradas y salidas a controlar

En el diagrama de bloque se muestra que el relé térmico del arranque estrella- triángulo no es una entrada al PLC y es independiente, así también se observa que para controlar el arranque estrella-triángulo del motor se usa un relé auxiliar (RA) controlado por el PLC.

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7-1200, CPU1214C Una vez conocido el número total de entradas y salidas del sistema se procede a seleccionar el PLC, siendo el modelo más adecuado el PLC S7-1200 con su CPU 1214C de la marca SIEMENS.

El controlador escogido tiene 14 entradas digitales, 2 entradas análogas, 10 salidas tipo relé, capacidad de expansión de hasta 8 módulos de señales y capacidad de expansión de hasta 3 módulos de comunicación, tomando en cuenta que la necesidad del sistema es de 2 módulos de expansión de señales analógicas, 5 entradas digitales y 7 salidas digitales por lo cual el modelo seleccionado cumple plenamente con las necesidades del proyecto.

Este elemento se encarga de todo el control de las variables existentes además que cuenta con un puerto de comunicación Ethernet que sirve para la programación del equipo mediante el software TIA PORTAL versión 11.

6.5. Características técnicas del PLC S7-1200, CPU1214C

A continuación, en la Tabla 2.6 se muestra las características técnicas de la CPU:

Tabla 2.6 Datos técnicos de CPU-1214C [14]

Marca:	SIEMENS
Modelo:	6ES7 214-1BG31-0XB0
CPU:	1214C AC/DC/Relé
Alimentación:	110/220 VAC
Entradas digitales:	14 a 24 VDC
Salidas digitales:	10 salidas a relé.
Entradas análogas:	2 de 0-10 VDC
Módulos de señales:	8
Módulos de comunicación:	3
Comunicación:	Profinet /Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps
Signal board	1
Memoria:	75 Kb
Software:	TIA PORTAL versión 11



Figura 2.6 PLC S7-1200, tomado de [14]

6.5.1. Entradas digitales.

En la Tabla 2.7 se muestran las entradas digitales usadas del PLC para la conexión de los diferentes elementos de protección y maniobra.

Tabla 2.7 Entradas digitales usadas del PLC

Dirección del PLC	Denominación	Uso
ID0.0	P1	Pulsador de emergencia.
ID0.1	P2	Pulsador de arranque.
ID0.2	P3	Pulsador de paro.
ID0.3	S1	Manual.
ID0.4	S2	Automático.

6.5.2. Salidas digitales.

En la Tabla 2.8 se detallan las salidas digitales usadas del PLC, mismas que permiten controlar a las electroválvulas, motor y luces pilotos del sistema.

Tabla 2.8 Salidas digitales usadas del PLC

Dirección del PLC	Denominación	Uso
OD0.0	M3 ϕ	Arranque Y-D del Motor.
OD0.1	EVD	Electroválvula de desfogue.
OD0.2	EV1	Electroválvula de 50%.
OD0.3	EV2	Electroválvula de 100%.
OD0.4	LP4	Luz piloto de alarma.
OD0.5	LP5	Luz piloto de paro de emergencia.
OD0.6	LP6	Luz piloto de fuera de rango.

6.5.3. Diagrama de conexión de entradas y salidas al PLC.

En la Figura 2.7 se observa el diagrama de conexión eléctrica de las entradas y salidas digitales al PLC.

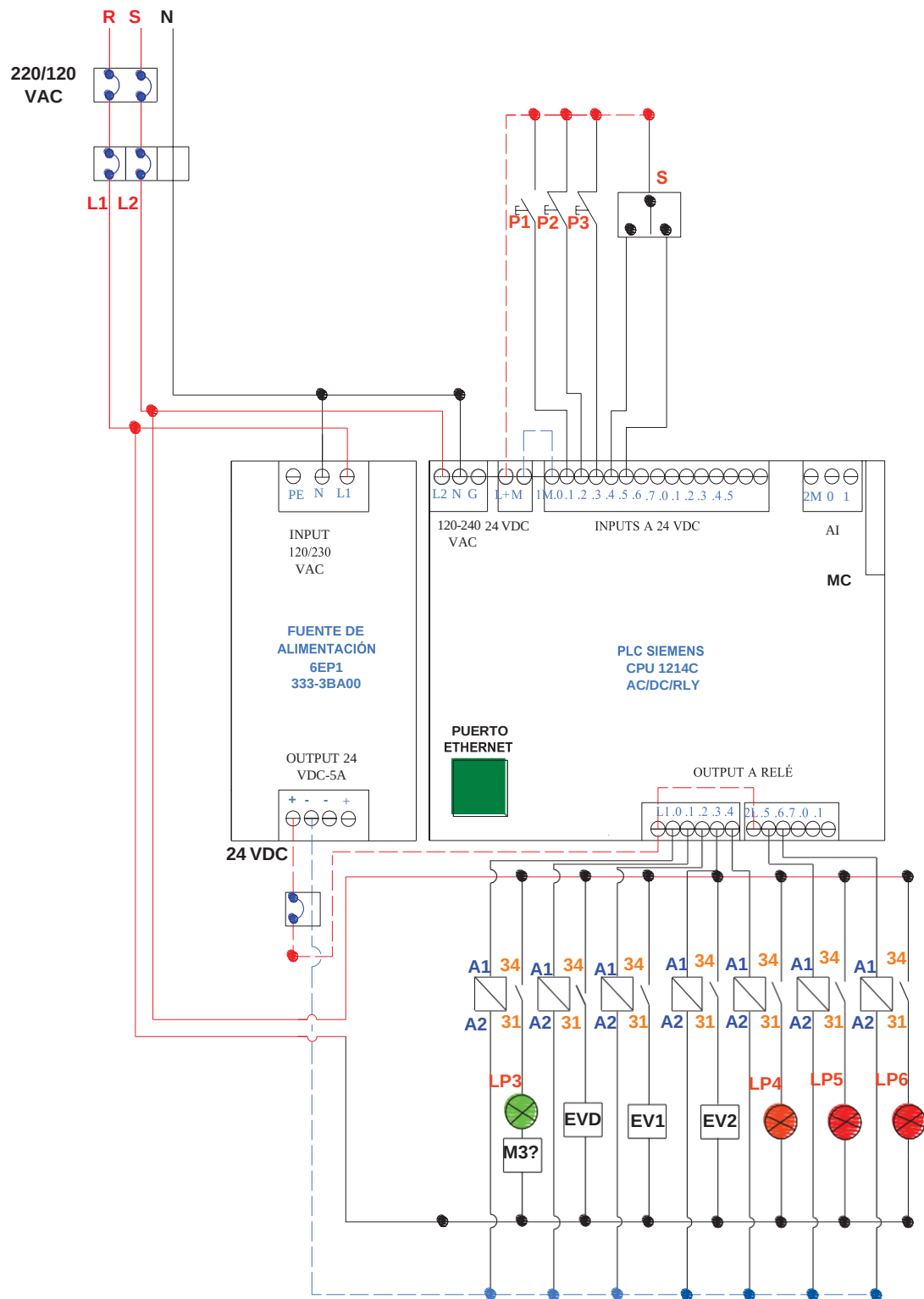


Figura 2.7 Diagrama de conexión de I/O al PLC

6.5.4. Selección de los módulos de expansión.

Los módulos de expansión que pueden utilizarse son:

1 Módulo SM 1231 de entradas analógicas de voltaje/corriente (de 8 AI) de la marca SIEMENS.

1 Módulo SM 1231 de entradas analógicas para RTD (de 8 AI) de la marca SIEMENS.

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS SM 1231

El número de entradas analógicas requeridas para la medición de presión son 6 las mismas que sirve para conexión de transmisores de presión instalados en las diferentes etapas y puntos del compresor. Por este motivo se escoge el módulo análogo SM 1213 el cual acondiciona señales de voltaje o corriente y tiene 8 entradas analógicas cumpliendo con el requerimiento del sistema.

Tabla 2.9 Datos técnicos del módulo SM 1231 [15]

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6ES7 231-4HF32-0XB0
Alimentación:	24 VDC, 45mA
Entradas análogas:	8 x 13 bit
Rango de voltaje de entrada:	+/- 10 VDC
Rango de corriente de entrada:	0-20mA o 4-20 mA



Figura 2.8 Módulo de 8 entradas analógicas, tomado de [15]

Entradas analógicas de presión

En la Tabla 2.10 se muestra las entradas usadas del módulo analógico, el transmisor de presión respectivo y se detalla la etapa del compresor donde se realiza la medición.

Tabla 2.10 Entradas análogas de presión

Dirección del PLC	Parámetro	Uso
IW96	Transmisor de presión(0-100psi)	Medición de la presión de agua.
IW98	Transmisor de presión(0-600psi)	Medición de la presión de descarga.
IW100	Transmisor de presión(0-30psi)	Medición de presión de succión.
IW102	Transmisor de presión(0-100psi)	Medición de presión de aceite.
IW104	Transmisor de presión(0-100psi)	Medición de presión entre etapas.
IW106	Transmisor de presión(0-200psi)	Medición de presión deinstrumentación.

Ubicación de los transmisores de presión

Se instala un transmisor de presión en cada una de las etapas del compresor. La Figura 2.9 muestra el esquema de instalación de los nuevos transmisores de presión en los distintos puntos del equipo.

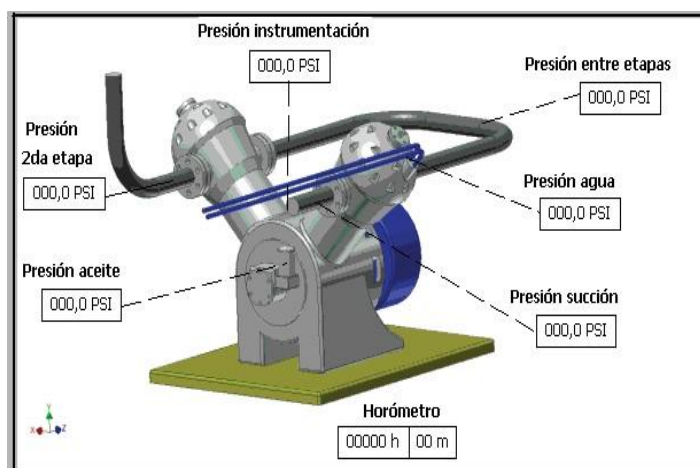


Figura 2.9 Ubicación de transmisores de presión

Diagrama unifilar de conexión del transmisor de presión al módulo SM 1213

En la Figura 2.10 se muestra la forma de conexión de los transmisores de presión de dos hilos con salida de señal de 4 a 20 mA.

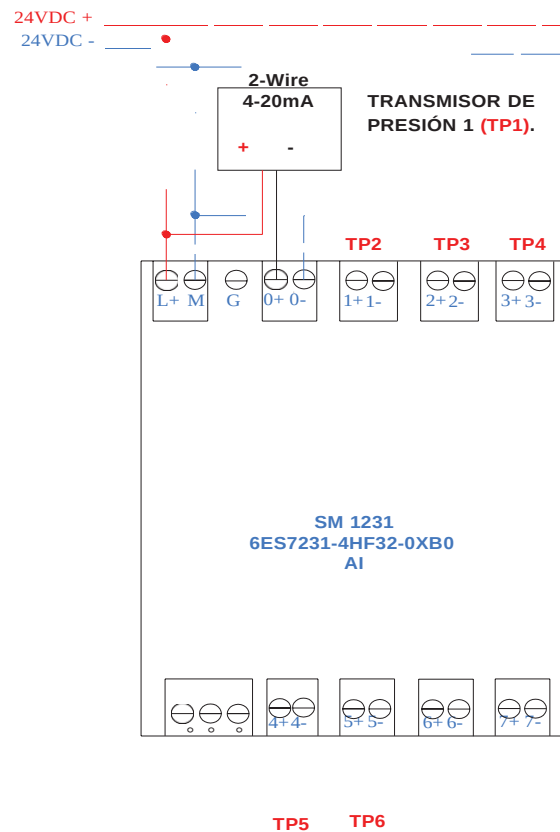


Figura 2.10 Conexión de transmisores de presión de dos hilos

MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS PARA RTD'S

Se determina el número de entradas analógicas necesarias para la medición de temperatura que son 5 las mismas que sirven para la conexión de los transmisores de temperatura instalados en los diferentes puntos del compresor. Se escoge usar el módulo SM 1231 RTD el cual acondiciona las señales exclusivamente provenientes de las RTD's y cuenta con 8 entradas analógicas para RTD's con lo cual satisface la necesidad del sistema.

Tabla 2.11 Datos técnicos del módulo SM 1231RTD [16]

Marca:	SIEMENS
Modelo:	6ES7 231-5PF30-0XB0
Alimentación:	24 VDC, 40mA
Entradas análogas:	8 x 13 RTD 16 bit

Para más información sobre este módulo se recomienda revisar el datasheet del módulo.



Figura 2.11 Módulo de 8 entradas analógicas para RTD's, tomado [16]

Entradas analógicas para RTD's

En la Tabla 2.12 se indica las entradas usadas del módulo analógico tipo RTD's, las PT100 del proceso y la ubicación del sensor en el sistema.

Tabla 2.12 Entradas de sensores de temperatura RTD'S

Dirección del PLC	Instrumento	Medición de parámetro.
IW112	Sensor de temperatura(RTD)(-50 a 260°C)	Temperatura de descarga primera etapa.
IW114	Sensor de temperatura(RTD)(-50 a 260°C)	Temperatura de descarga segunda etapa.
IW116	Sensor de temperatura(RTD)(-50 a 260°C)	Temperatura entre etapas.
IW118	Sensor de temperatura(RTD)(-50 a 260°C)	Temperatura de entrada de agua.
IW120	Sensor de temperatura(RTD)(-50 a 260°C)	Temperatura de salida de agua.

Ubicación de los transmisores de temperatura

La Figura 2.12 muestra la posición de instalación de los nuevos RTD's en los distintos puntos del Wittemann # 1.

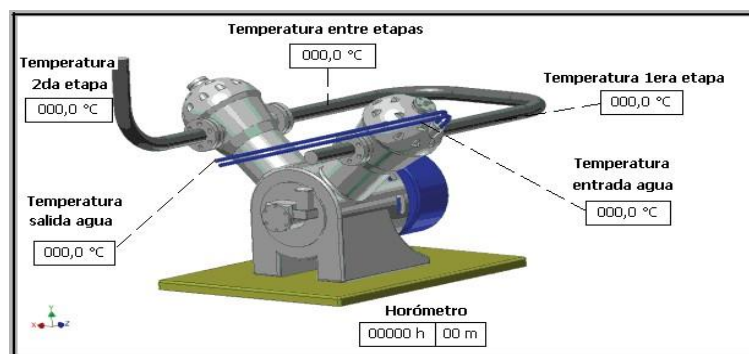
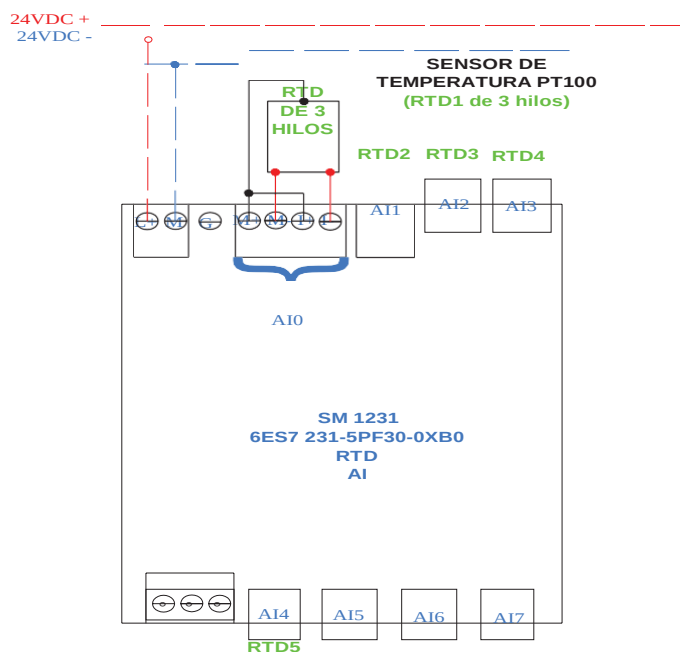


Figura 2.12 Ubicación de RTD's en el compresor

Diagrama unifilar de conexión del transmisor de temperatura al módulo SM

1213 RTD'S

Se debe tener presente que las RTD's vienen con la configuración de conexión de dos, tres y cuatro hilos por lo cual se debe determinar la conexión al momento de realizar la instalación del sensor. En la Figura 2.13 se muestra la forma de conexión de los transmisores de temperatura como son las RTD's de tres hilos en este caso se trata de una PT100 conectada al módulo análogo SM 1213 RTD.



6.5.5. HMI local (Interfaz hombre-máquina)

Con el fin de supervisar el correcto funcionamiento del compresor dentro de la producción de CO2 surge la necesidad de implementar un HMI local. Se procede a escoger una pantalla táctil básica de 10.4 pulgadas, a color y con 8 botones físicos, al igual que el PLC, marca Siemens este equipo al tener un puerto de comunicación Ethernet permite que la comunicación entre el PLC y HMI local sea posible y compatible. La programación del PLC y el HMI local se lo realiza con el programa TIA PORTAL V11, mismo que tiene la plataforma para programar y diseñar la pantalla táctil al mismo tiempo.

Tabla 2.13 Datos técnicos de pantalla táctil KTP1000 [17]

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6AV6647-0AF11-3AX0.
Tipo:	KTP 1000 PN, táctil.
Alimentación:	24 VDC.
Tamaño:	10.4 pulgadas.
Teclas de función:	8.
Color:	256.
Comunicación:	Interfaz PROFINET / Industrial Ethernet.
Software:	TIA PORTAL WinCC V11 Basic.

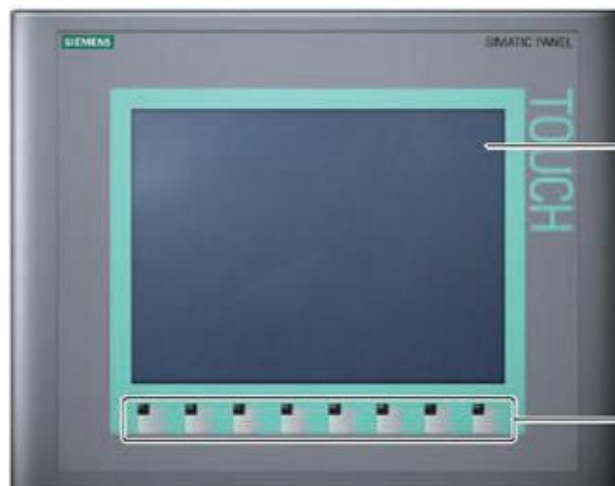


Figura 2.14 Pantalla táctil KTP 1000 de Siemens, tomado de [17]

6.6. Medicion de presión en las etapas del compresor.

Debido a la importancia la medición y monitoreo de presión del compresor Wittemann # 1 de la planta industrial, se procede a seleccionar los transmisores de presión serie 628 de la marca DWYER, el rango de medida de estos instrumentos es para bajas y altas presiones ideal para cumplir con el requerimiento del sistema.

Para la medición de presión se usa 6 transmisores de dos hilos con salida de 4 a 20 mA distribuidos e instalados en los distintos puntos del compresor, donde su monitoreo es importante dentro del proceso de producción de CO₂.

TRANSMISORES DE PRESIÓN - DWYER

Estos sensores son de 2 hilos con salida de corriente de 4 a 20 mA, su rango de medida es amplio y mide valores positivos de presión.

A continuación, en la Figura 2.15 se muestra el transmisor de presión:



Figura 2.15 Transmisor de presión - DWYER

El compresor trabaja con presiones altas y bajas en sus diferentes etapas, por esto se escoge el rango de medición de cada trasmisor acorde a los valores a medir en cada fase.

La Tabla 2.14 muestra las características del transmisor de alta presión que se encarga de la medición de presión de descarga de la segunda etapa.

Tabla 2.14 Datos técnicos del transmisor de presión de 0-600 PSI [18]

Marca:	DWYER
Modelo:	628-22-GH-P1-E4-S1
Rango:	0-600 PSI
Temperatura de operación:	0 a 200 °F (-17.8 a 93.3) °C
Alimentación:	13-30 VDC
Salida:	4-20 mA

En la Tabla 2.15 se detalla las características del sensor de alta presión que se usa en la medición de presión de instrumentación.

Tabla 2.15 Datos técnicos del transmisor de presión de 0-200 PSI [18]

Marca:	DWYER
Modelo:	628-04-GH-P1-E4-S1
Rango:	0-200 PSI
Máxima presión:	400 PSI
Alimentación:	10-30 VDC
Salida:	4-20 mA

En la Tabla 2.16 se indica las características del transmisor de alta presión que se utiliza en la medición de presión de agua, de aceite y de entre etapas.

Tabla 2.16 Datos técnicos del transmisor de presión de 0-100 PSI [18]

Marca:	DWYER
Modelo:	628-03-GH-P1-E4-S1
Rango:	0-100 PSI
Máxima presión:	200 PSI
Alimentación:	10-30 VDC
Salida:	4-20 mA

La Tabla 2.17 muestra las características del transmisor de baja presión que se usa en la medición de presión de succión.

Tabla 2.17 Datos técnicos del transmisor de presión de 0-30 psi [18]

Marca:	DWYER
Modelo:	628-03-GH-P1-E4-S1
Rango:	0-30 PSI
Máxima presión:	60 PSI
Máxima presión de sobrecarga:	100 PSI
Alimentación:	10-30 VDC
Salida:	4-20 mA

6.7. Medición de temperatura en las etapas del compresor.

En el proceso es indispensable el monitoreo y la medición de temperatura, debido a que esta variable va a determinar el normal funcionamiento del compresor. Se procede a escoger las RTD's de la marca WATLOW estos instrumentos son aptos para trabajar dentro del campo industrial. Para la medición de temperatura se utiliza una PT100 de tres hilos, misma que puede medir valores positivos o negativos (-50°C a 260°C) de la variable. Su fácil instalación y conexión al controlador ayuda a obtener los valores reales de temperatura del equipo.

RTD (PT100 – WATLOW)

Es un sensor de temperatura con conexión a tres hilos, a medida que varía la resistencia del sensor varía el valor de temperatura. A continuación, la Tabla 2.18 detalla las características técnicas del sensor de temperatura.

Tabla 2.18 Características técnicas del transmisor de temperatura [19]

Material:	PT100.
Fabricante:	WATLOW.
Modelo:	RRJE00A060BB000
Diámetro:	0.25 pulgada.
Longitud:	6 pulgadas.

Rango:	-50 a 260 °C.
Clase:	B.
α:	0.00385.
Conexión:	3 hilos.

En la Figura 2.16 se observa la PT100 WATLOW utilizada:



Figura 2.16 Sensor de temperatura PT100

6.8. Fuente de poder.

Es un dispositivo indispensable puesto que alimenta a todos los módulos de expansión acoplados al PLC y a las entradas del controlador. El voltaje entregado por la fuente es de 24 VDC.

La Tabla 2.19 muestra las características técnicas de la fuente de alimentación de continua.

Tabla 2.19 Datos técnicos de la fuente de poder [20]

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6EP1 333-3BA00.
Frecuencia:	50/60 Hz.
Voltaje de entrada:	120/230VAC-2.2A 230/500VAC-1.2A.
Voltaje de salida:	24 VDC-5A.
Temperatura.	60°C.



Figura 2.17 Fuente de voltaje de 24VDC

6.9. Electroválvula de desfogue.

Por seguridad se hace necesario la instalación de una electroválvula de desfogue en el sistema por lo cual se escoge la electroválvula del modelo SBSV-B9V1 de la marca DWYER, su operación es normalmente cerrada, la alimentación de la bobina es de 110 VAC, la presión de trabajo es de 180 [PSI] y es para gas. La instalación de esta electroválvula permite desfogar la presión al ambiente cuando el compresor se apaga para evitar daños al compresor, a válvulas de seguridad y a tuberías.

Tabla 2.20 Datos técnicos de la electroválvula [21]

Marca:	DWYER.
Modelo:	SBSV-B9V1.
Operación:	Normalmente cerrada.
Frecuencia:	60 Hz.
Rango de presión:	7.25 - 188.5 PSI
Alimentación:	110 Vac.
Apertura:	0 ó 100%.



Figura 2.18 Electroválvula de desfogue

6.10. Tablero de control.

El tablero principal se instaló en el mismo lugar que el tablero anterior por lo que no se afectó la ocupación de la planta.

El tablero de control está distribuido de la siguiente manera.

- Identificación del cableado de cada uno de los elementos para facilidad de montaje y desmontaje de los equipos a futuro.
- Diseño del plano de construcción del panel de control.
- Diseño del plano eléctrico del circuito de control del sistema.

DISEÑO DEL PLANO DE CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

A continuación, se presenta los valores de altura, ancho y profundidad para la construcción del panel de control para el compresor Wittemann # 1 de 1000 Kg CO₂/Hora de la planta industrial de la empresa Kimberly Clark. La Figura 2.19 y Figura 2.20 muestran los planos del tablero y puerta para su posterior elaboración. A continuación, se detallan las dimensiones del nuevo tablero de control:

Profundidad: 250 mm.

Ancho: 810 mm.

Altura total: 1550 mm.

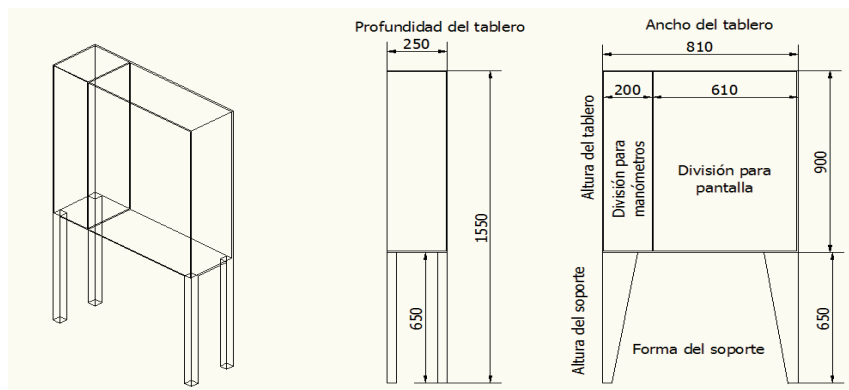


Figura 2.19 Medidas del tablero de control

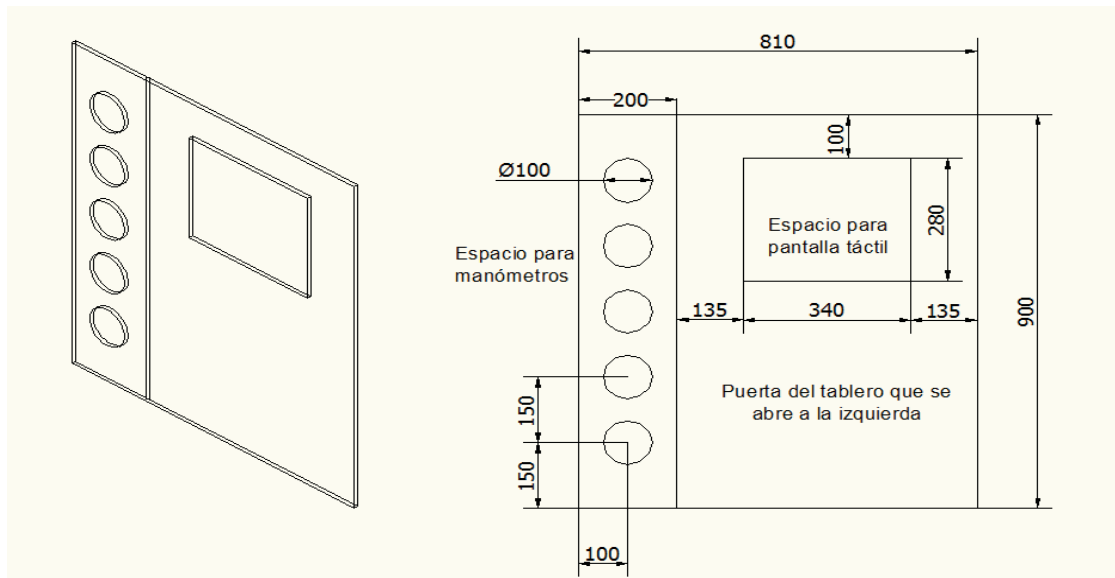


Figura 2.20 Medidas de puerta del panel de control

ELEMENTOS DE MANIOBRA

El tablero de control tiene instalado elementos de maniobra como selectores y pulsadores, mismos que permiten la operación del compresor.

Selector de tres posiciones

Se escoge los selectores en base al voltaje de alimentación el cual es de 24 VDC y el consumo de corriente que es de 4 mA (ANEXO C), se selecciona al selector de tres posiciones de la marca SCHNEIDER ELECTRIC como se observa en la Tabla 2.21 las características técnicas cumplen con lo requerido para su funcionamiento.

Este selector sirve para escoger el modo de funcionamiento del compresor. El lado izquierdo se lo utiliza para el mando manual, mientras que el lado derecho se lo utiliza para el mando automático del Wittemann # 1.



Figura 2.21 Selector de tres posiciones

Tabla 2.21 Datos técnicos del selector de tres posiciones

Selector de tres posiciones	
Marca.	SCHNEIDER ELECTRIC
Corriente.	10 A
Voltaje AC.	600 V
Voltaje DC.	1. V

Selector de dos posiciones

Se escoge este elemento en base al voltaje de alimentación el cual es de 120 VAC y corriente de 0.55 A, se selecciona al selector de dos posiciones de la marca SCHNEIDER ELECTRIC como se observa en la Tabla 2.22 las características técnicas satisfacen con el requerimiento del sistema.

Este dispositivo se usa para encender y apagar el Precooler, al lado izquierdo se apaga, mientras que al lado derecho se enciende.

Tabla 2.22 Datos técnicos del selector de dos posiciones

Selector de dos posiciones	
Marca.	SCHNEIDER ELECTRIC
Corriente.	10 A
Voltaje AC.	600 V
Voltaje DC.	600 V



Figura 2.22 Selector de dos posiciones

Pulsante de emergencia

Este elemento al ser una entrada digital del PLC requiere un voltaje de alimentación de 24 VDC y una corriente de 4 mA (ANEXO C), por lo cual se escoge el pulsante de la marca SCHNEIDER ELECTRIC como se observa en la Tabla 2.23 cumple con las características técnicas.

Este botón permite apagar todo el sistema en caso de suceder un evento fuera de lo normal, se debe pulsar para accionarlo. Una vez pasado el suceso basta con girar el pulsante para reiniciar el proceso.

Tabla 2.23 Datos técnicos del botón de emergencia

Pulsante de emergencia	
Marca.	SCHNEIDER ELECTRIC
Corriente.	10 A
Voltaje AC.	600 V
Voltaje DC.	600 V



Figura 2.23 Pulsador de emergencia

Pulsante de marcha

El pulsador al ser una entrada digital del PLC requiere un voltaje de alimentación de 24 VDC y una corriente de 4 mA (ANEXO C), por lo cual se escoge el pulsante de la marca SCHNEIDER ELECTRIC como se observa en la Tabla 2.24 cumple con las características técnicas.

Este elemento permite encender el compresor de forma manual solo se debe pulsar para accionarlo.

Tabla 2.24 Datos técnicos del pulsante de marcha

Pulsante de marcha	
Marca.	SCHNEIDER ELECTRIC
Corriente.	10 A
Voltaje AC.	600 V
Voltaje DC.	600 V



Figura 2.24 Pulsador de marcha

Pulsante de Paro

El pulsador al ser una entrada digital del PLC requiere un voltaje de alimentación de 24 VDC y una corriente de 4 mA (ANEXO C), por lo cual se escoge el pulsante de la marca SCHNEIDER ELECTRIC como se observa en la Tabla 2.25 cumple con las características técnicas. Este dispositivo permite apagar el Wittemann # 1 de forma manual al momento de ser pulsado.

Tabla 2.25 Datos técnicos del pulsante de paro

Pulsante de paro	
Marca.	SCHNEIDER ELECTRIC
Corriente.	10 A
Voltaje AC.	600 V
Voltaje DC.	600 V



Figura 2.25 Pulsador de paro

RELÉS DE CONTROL LÓGICO

Estos elementos son indispensables al momento de controlar las salidas digitales del sistema. Tienen la capacidad de encender y apagar los elementos finales de control (motor, luminarias, electroválvulas, etc.). Para dimensionar al relé se consideró lo siguiente:

- Voltaje activación sea AC o DC.
- Número de contactos.
- Corriente que soporta los contactos.
- Voltaje que soporta los contactos en circuito abierto.

Al contar con elementos de control de diferentes voltajes de alimentación alterna se procede a realizar los cálculos de corriente que circula por los contactos del relé.

Cálculo de corriente que circula por los contactos con voltaje de 220 VAC:

Para realizar los cálculos el valor de **potencia aparente S** se toma la Tabla 2.26

$$I_{RMS} = \frac{S}{V_{RMS}} \quad (2.1)$$

$$I_{RMS} = \frac{1.5 VA}{220V}$$

$$I_{RMS} = 6.82 mA$$

Cálculo de corriente que circula por los contactos con voltaje de 120 VAC:

$$I_{RMS} = \frac{S}{V_{RMS}}$$

$$I_{RMS} = \frac{1.5 VA}{120}$$

$$I_{RMS} = 12.50 mA$$

Para seleccionar los relés del sistema, se debe cumplir con las siguientes condiciones técnicas, voltaje de alimentación de bobina es 24 VDC, voltaje de alimentación de contactos de 220 VAC y la corriente que circula por los contactos debe ser mayor a 12.50 mA tal como se observa en los cálculos realizados.

Se selecciona el relé marca FINDER pues cumple con las características técnicas requeridas en la aplicación tal como se en la Tabla 2.26.

Tabla 2.26 Datos técnicos del relé [22]

Relé	
Marca	FINDER 55.33.9.024.0010
Corriente en AC	10 A
Voltaje AC	250 V
Voltaje DC	30 V
Corriente en DC	10 A
Potencia inductor	1.5 VA
Corriente inductor	6 mA

INDICADORES LUMÍNICOS

Para visualizar el funcionamiento del tablero de control se instaló luces pilotos de 110 y 220 VAC a 60 Hz de color rojo, verde y amarillo.

Luz verde

Se tienen 3 indicadores luminosos que sirven para indicar el encendido de un elemento o funcionamiento normal del sistema, muestra las siguientes funciones:

- Presencia de voltaje de alimentación en el tablero.
- Compresor encendido.
- Precooler encendido.



Figura 2.26 Luces pilotos verdes

Luz roja

Esta luminaria indica sistema detenido debido a:

- Pulsador de emergencia accionado.
- Compresor en falla por valores fuera de rango de presión y temperatura.



Figura 2.27 Luces pilotos de falla

Luz amarilla

Indica la existencia de una alarma en el compresor cuando uno o más valores están fuera de rango de presión o de temperatura.

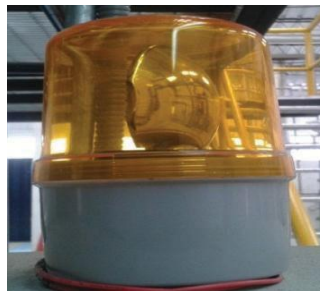


Figura 2.28 Luz de alarma

DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TABLERO DE CONTROL El diseño del diagrama de conexión del panel de control se encuentra en el ANEXO A.

ELEMENTOS EXTRAS DE CONEXIÓN EN EL TABLERO DE CONTROL Es necesaria la instalación de un selector de dos posiciones para el Sistema de Precooler. La visualización del funcionamiento de este es mediante una luz piloto, estas conexiones son independientes del control realizado por el PLC.

CONSTRUCCIÓN DEL PANEL DE CONTROL

La construcción y el armado interno del panel de control se lo realiza usando los siguientes elementos secundarios:

- Riel DIN.
- Canaletas.
- Tornillos.
- Amarras plásticas.

Los elementos antes mencionados sirven para facilitar la instalación de la fuente de poder, PLC y módulos de expansión, disyuntores termomagnéticos, relés, borneras y cables.

En la Figura 2.29 se observa la distribución de los elementos en el interior del tablero de control. El objetivo es cuidar la estética, presentación y orden del panel de control.

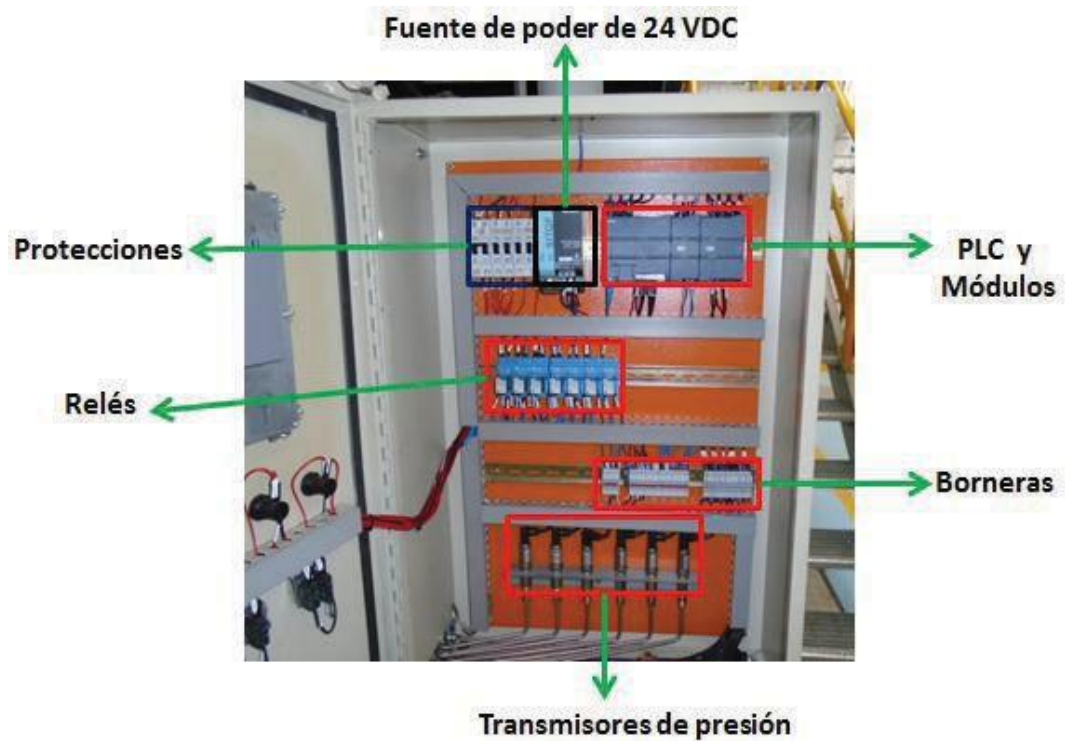


Figura 2.29 Distribución de elementos al interior del panel (tablero en construcción)

La Figura 2.30 muestra la distribución de luminarias, pulsadores y selectores en la parte exterior del tablero de control.



Figura 2.30 Distribución de elementos al exterior del tablero

DISEÑO DE INSTALACIONES

Para realizar la instalación eléctrica del tablero de control se tomaron en cuenta varias consideraciones detalladas a continuación.

DIMENSIONAMIENTO DEL CABLE

El cableado de todos los elementos del panel de control se lo realiza en referencia a la Tabla 2.27 para seleccionar el conductor más adecuado según la corriente a manejar.

Tabla 2.27 Características del cable de cobre, tomado de [23]

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACION No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.
20	0,519	1 x 0,813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15
14	2,08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25
12	3,31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30
10	5,26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40

En base a la Tabla 2.27 se observa el valor de corriente de los conductores por lo cual se elige utilizar el conductor N° 16 AWG pues la corriente requerida por el sistema no es de un valor mayor a los 15 A. Se instala todos los elementos con este conductor a excepción de los sensores de presión y temperatura cuya corriente manejada es mucho menor por lo cual se escoge el conductor N° 18 AWG para su instalación.

Fórmula de caída de voltaje en los conductores:

$$\Delta V = 2 * R * I \quad (2.2)$$

$$\Delta V = 2 * \frac{\sigma * l}{s} * I \quad (2.3)$$

Donde:

σ : Es la resistividad del conductor (cobre es de $0.0171 \frac{n*mm^2}{m}$)

l: longitud del cable en metros.s:

sección del cable en mm^2 .

I: corriente que circula por el conductor.

En la Tabla 2.28 se describe los elementos más distantes del panel de control:

Tabla 2.28 Distancias de elementos fuera del panel de control

Equipo	Distancia en [m]
Electroválvula de desfogue.	5
Electroválvula de 50 y 100%.	10
Precooler	13

A continuación, se muestran los cálculos de las caídas de voltajes del cable **N° 16 AWG**:

Electroválvula de desfogue:

$$\Delta V = 2 * \frac{\sigma * l}{s} * I ; I = \frac{22 VA}{110 V} = 0.2 A$$

$$\Delta V = 2 * \frac{0.0171 * 5}{1.3} * 0.2$$

$$\Delta V = 26.31 mV$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{fase}} * 100$$

$$\% \Delta V = \frac{26.31 mV}{110 V} * 100$$

$$\% \Delta V = 0.024\%$$

Electroválvula de 50 y 100%:

$$\Delta V = 2 * \frac{\sigma * l}{s} * ; I = \frac{22 VA}{110 V} = 0.2 A$$

$$\Delta V = 2 * \frac{0.0171 * 10}{1.3} * 0.2$$

$$\Delta V = 52.62 mV$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{fase}} * 100$$

Los valores de caída de voltaje no son significativos por lo cual el cable N° 16 AWG es el adecuado para un funcionamiento óptimo del sistema.

DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA

Con el fin de proteger las instalaciones eléctricas realizadas, especialmente a los elementos que están fuera del tablero de control se utilizan los siguientes tipos de tuberías:

Tubería conduit.

Funda sellada (Bx).

La tubería conduit se utiliza para la instalación de los sensores de temperatura y electroválvula de desfogue, mientras que la funda sellada se usa en el tramo de ingreso al tablero y el cableado del Precooler por facilidad de instalación.

La tubería conduit y funda sellada de $\frac{3}{4}$ " fueron proporcionadas por la fábrica. Además de la tubería se utilizó accesorios como: uniones, codos, cajas conduit y amarras plásticas para asegurar las instalaciones.

Tabla 2.29 Número de cables a instalar

N° calibre de conductor	Utilización	N° conductores
18 AWG	RTD's	5RTD's x 3 hilos = 15
16 AWG	3 Electroválvulas	5 hilos = 5
16 AWG	Precooler	3 hilos = 3
	Total	23 hilos

DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIÓN

Para encontrar el valor del fusible para proteger al sistema se realiza un estudio de carga de los nuevos equipos instalados en el tablero como se observa en la Tabla 2.30.

Tabla 2.30 Lista de elementos instalados

Equipo	Factor de uso	Cantidad x VA	Carga en VA
Pantalla táctil	1	1 x 15	15
PLC	1	1 x 12	12
Módulo de RTD	1	1 x 2,2	2,2
Módulo de AI	1	1 x 1,1	1,1
Electroválvulas	1	3 x 22	66
Luces pilotos	0.8	5 x 3	12
Relés	0.8	7 x 1,5	9
Baliza	1	1 x 3	3
		Total	120,3

Una vez determinado el valor de la potencia instalada se procede a calcular la corriente nominal mediante la siguiente expresión:

$$I_{RMS\ NOMINAL} = \frac{S}{V^{RMS}} \quad (2.4)$$

$$I_{RMS\ NOMINAL} = \frac{120,3\ VA}{220V}$$

$$I_{RMS\ NOMINAL} = 0.55\ A$$

Para determinar el valor de la corriente del fusible se debe multiplicar la corriente nominal por un factor de seguridad tal como se indica:

$$I_{fusible} = I_{RMS\ NOMINÆL} * 1.25 \quad (2.5)$$

$$I_{fusible} = 0.55\ A * 1.25$$

$$I_{fusible} = 0.68\ A$$

Se selecciona disyuntores electromagnéticos de 1 A de un polo y la alimentación eléctrica la proporciona el tablero de arranque del compresor.

6.11. Desarrollo del programa de control.

Para la automatización del compresor Wittemann # 1, es necesario realizar la programación del controlador (PLC) y del HMI local (Pantalla táctil).

Para esto, se usa el programa TIA PORTAL V11 de la compañía SIEMENS, mismo que posee una licencia libre. Mediante este software se procede a programar los equipos de control y monitoreo. A continuación, se describe la instalación del TIA PORTAL y una breve explicación de su manejo.

Rango de valores de alarmas del compresor.

Debido a la importancia del equipo dentro del proceso de producción de CO₂, es necesario proteger al sistema mediante una lógica de programación y enclavamiento de seguridad que se describe a continuación.

Valores de alarma por presión.

En la Tabla 3.1 se observa los diferentes valores críticos de presión y la acción que toma el compresor, misma que puede ser de alarma o de apagado.

Tabla 3.1 Valores críticos de presiones [4]

Presión	Intervalo	Valor [PSI]	Valor crítico[PSI]	Acción de compresor	Mensaje enHMI
Succión de primera etapa	Rango mínimo	1-2	1	Se apaga	Baja presión de succión
	Rango máximo	8-15	15	Se apaga	Alta presión de succión
Entre etapas de primera etapa	Rango mínimo	45-56	45	Se apaga	Baja presión entre etapas
	Rango máximo	74-80	80	Se apaga	Alta presión entre etapas
Descarga de segunda etapa	Rango mínimo	250	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Rango máximo	320-335	335	Se apaga	Alta presión de descarga
Agua	Rango mínimo	16-20	16	Se apaga	Baja presión

					de agua
	Rango máximo	40-50	50	Sigue en funcionamiento	Alta presión de agua
Aceite	Rango mínimo	16-20	16	Se apaga	Baja presión de aceite
	Rango máximo	28-40	40	Sigue en funcionamiento	Alta presión de aceite
Instrumentación	Rango mínimo	95-120	95	No arranca	Baja presión de instrumentación
	Rango máximo	155-165	165	Se apaga	Alta presión de instrumentación

Valores de alarma por temperatura.

En la Tabla 3.2 se detallan los valores críticos de temperatura para alarma y apagado del compresor. En el HMI local se visualiza un mensaje del evento ocurrido en el equipo.

Tabla 3.2 Valores críticos de temperaturas [4]

Temperatura	Intervalo	Valor [°C]	Valor crítico [°C]	Acción de compresor	Mensaje en HMI
Descarga de primera etapa	Rango mínimo	130	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Rango máximo	160-165	165	Se apaga	Alta temperatura en descarga 1era etapa
Descarga de	Rango mínimo	120	Ninguno	Ninguno	Ninguno

segunda etapa	Rango máximo	150-160	160	Se apaga	Alta temperatura en descarga 2da etapa
Entre etapas	Rango mínimo	23	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Rango máximo	30-35	35	Se apaga	Alta temperatura entre etapas
Entrada de agua	Rango mínimo	10	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Rango máximo	25-30	30	Sigue en funcionamiento	Alta temperatura de entrada de agua
Salida de agua	Rango mínimo	15	Ninguno	Ninguno	Ninguno
	Rango máximo	28-32	32	Sigue en funcionamiento	Alta temperatura de salida de agua

6.12. Programación del PLC.

PROGRAMA TIA PORTAL (Totally Integrated Automation)

El TIA PORTAL es el software que permite programar al PLC y al HMI local, para lo cual se utiliza el lenguaje de programación Ladder (escalera). El lenguaje escalera utiliza elementos como contactores normalmente abiertos y cerrados, bobinas (salidas), contadores, temporizadores, etc. Este programa tiene distintos bloques de función, como son: de organización, de función y de datos los cuales ayudan a tener un programa ordenado y estructurado. En la Figura 3.1 se observa la ventana donde se encuentra las diferentes funciones de programación.

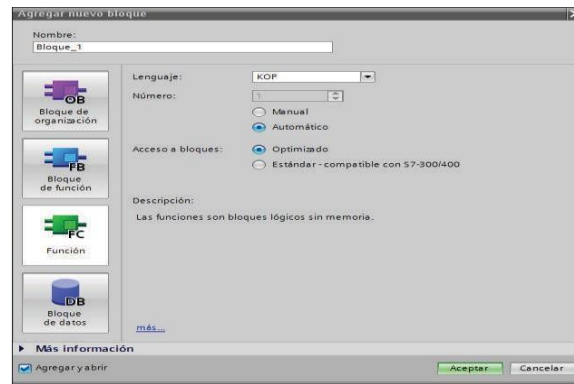


Figura 3.1 Bloques de funciones del TIA PORTAL

COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC-HMI LOCAL-PC

Para realizar la programación del sistema es importante la comunicación del PLC y HMI local el cual es vía Ethernet, el proyecto actual al tener tres elementos como PLC, pantalla táctil y PC es necesario utilizar un switch de comunicación de 8 puertos ethernet y una velocidad de 10/100 Mbps como se observa en la Figura 3.2, además de cables patch cords mismos que sirven para establecer comunicación y cargar el programa de forma simultánea al controlador y al HMI local.



Figura 3.2 Switch Ethernet de 8 puertos, tomado de [24]

Para que exista comunicación entre los equipos antes mencionados se debe verificar las direcciones IP (Internet Protocol), tanto del PLC, pantalla táctil y computador. En la Figura 3.3 se observa la dirección IP del PLC.

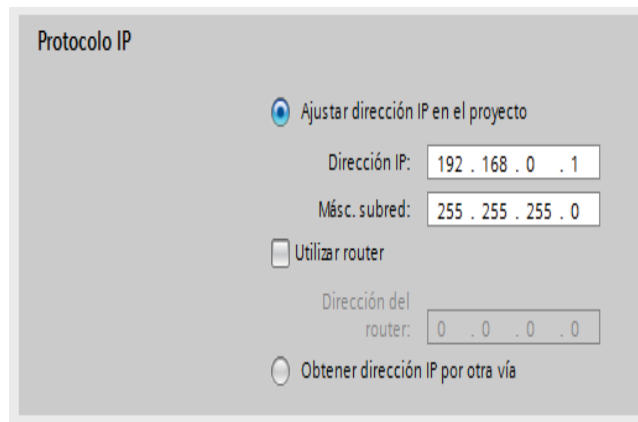


Figura 3.3 Dirección IP del PLC

La dirección IP de la pantalla táctil se la designó con un valor de 192.168.0.2 para realizar la comunicación y programación del sistema.

Una vez determinado las direcciones IP del controlador y del HMI local, se procede a configurar la dirección IP de la PC usada para realizar la programación del proyecto el cual es 192.168.0.20 con esto se logra que todos los elementos estén en la misma red y se puede iniciar el desarrollo del programa.

Si por cualquier motivo no existiera comunicación entre el PLC y el HMI, el compresor seguirá en funcionamiento y el control del equipo se lo realiza de forma manual mediante los elementos de maniobra ubicados en el tablero de control.

6.13 Lógica de programación del PLC

Una vez determinadas todas las direcciones de entradas y salidas del PLC, como también la lógica de protección del compresor (alarmas ver Tabla 3.1 y Tabla 3.2), se procede a realizar un diagrama general de bloques de programación necesarios para cumplir con la automatización del Wittemann# 1.

A continuación en la Figura 3.4 se muestra el diagrama de bloques del programa de cada una de las funciones del HMI ya sean de control o monitoreo.

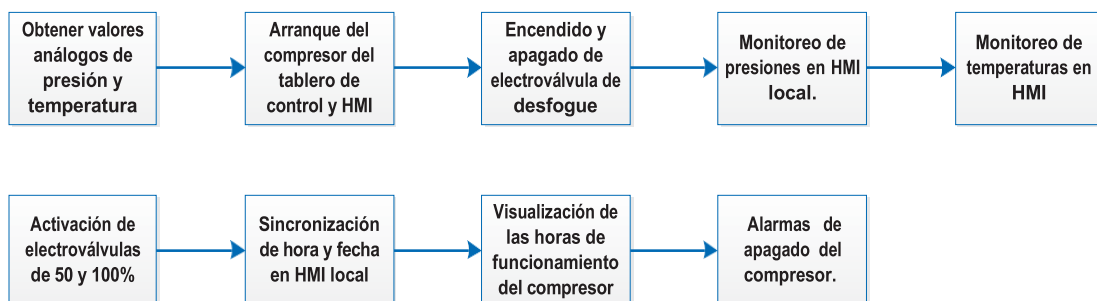


Figura 3.4 Diagrama de bloques de programación del PLC

6.13.1 Diagrama de flujo del programa del PLC S7-1200

Para iniciar con el control y monitoreo del sistema se debe obtener los valores reales de las variables físicas (presiones y temperaturas) del Wittemann # 1. Una vez en funcionamiento se procede a verificar las diferentes condiciones y protecciones de trabajo del equipo. A continuación, en la Figura 3.5 se muestra la lógica de la programación.

6.2.1.1. Diagrama de flujo.

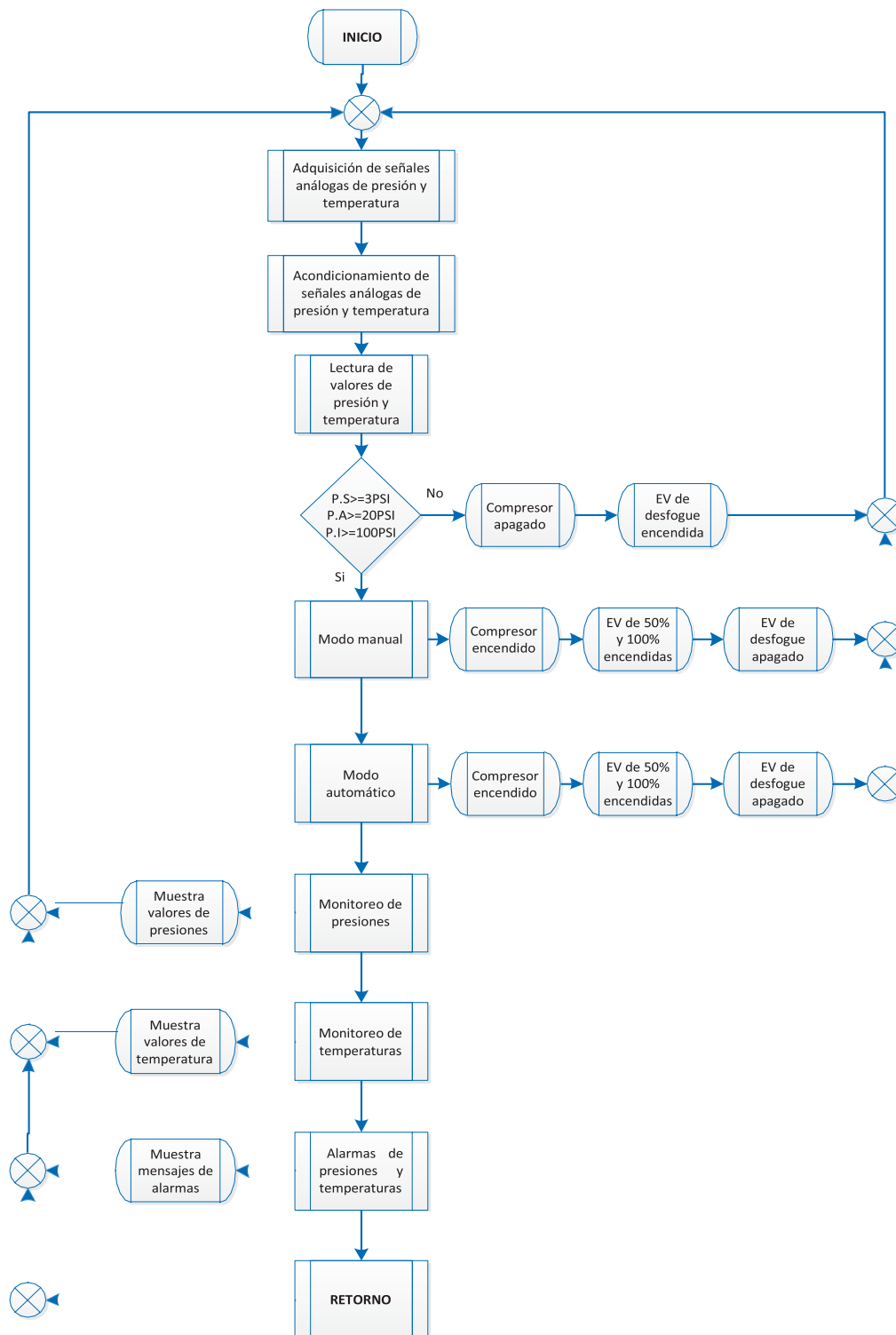


Figura 3.5 Diagrama de flujo de programación

6.2.1.2. Alarmas de presión.

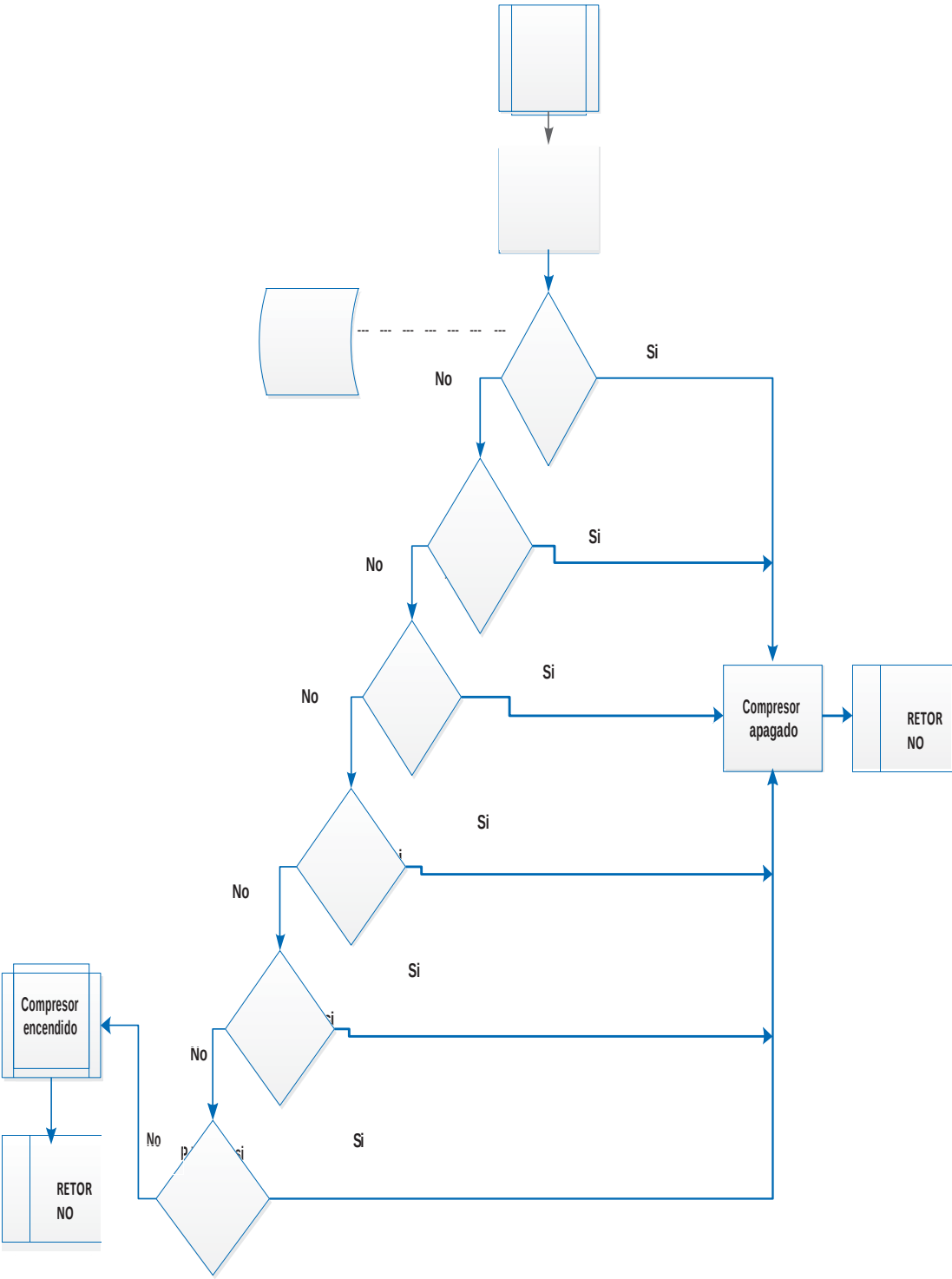


Figura 3.6 Diagrama de flujo de programación de alarmas de presión

6.2.1.3. Alarmas de temperatura.

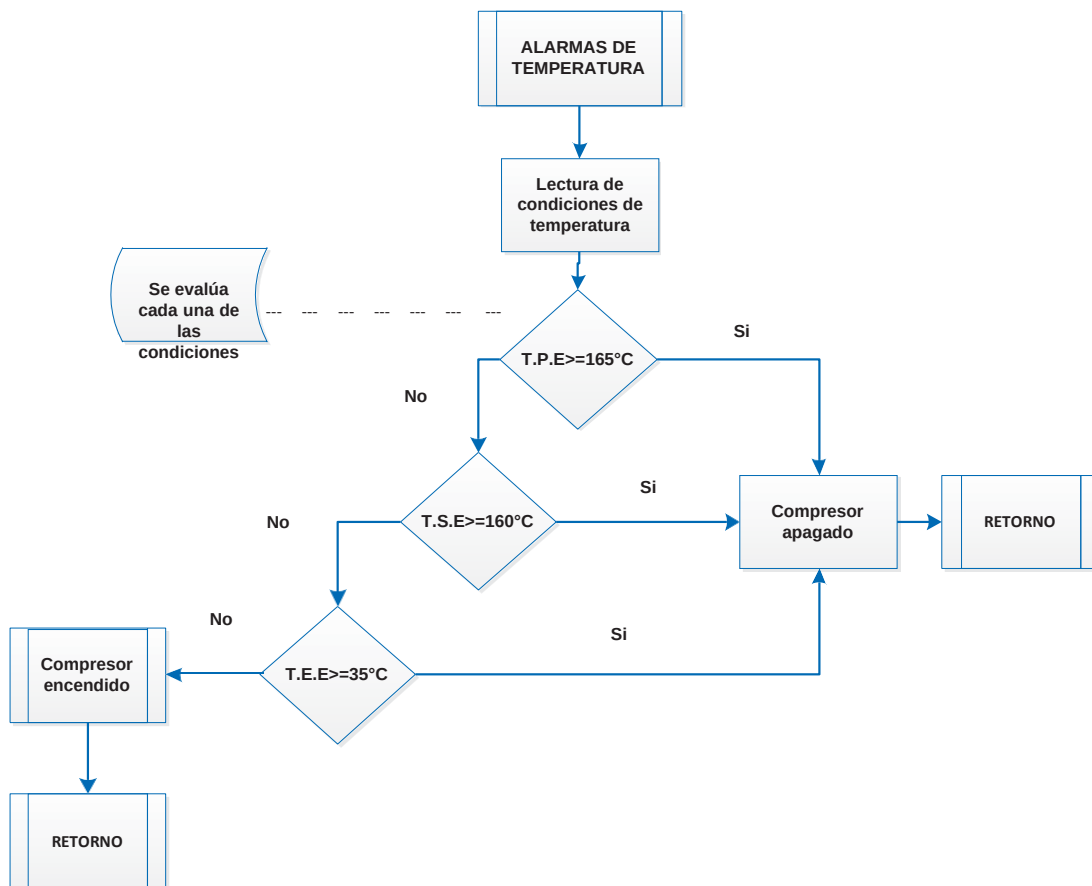


Figura 3.7 Diagrama de flujo de programación de alarmas de temperatura

6.14 Programa del PLC S7-1200

6.14.1 Acondicionamiento de señales análogas.

En esta parte del programa se procede a acondicionar las señales análogas provenientes de los sensores de presión y temperatura, posteriormente los datos obtenidos serán procesados por el PLC. El software TIA PORTAL cuenta con dos funciones como son el NORM_X y SCALE_X estas dos instrucciones se encargan de escalar las señales físicas en valores numéricos para que el PLC pueda interpretarlos dentro del proceso.

En la Figura 3.8 se observa las funciones NORM_X y SCALE_X usadas para el escalonamiento de las señales físicas.

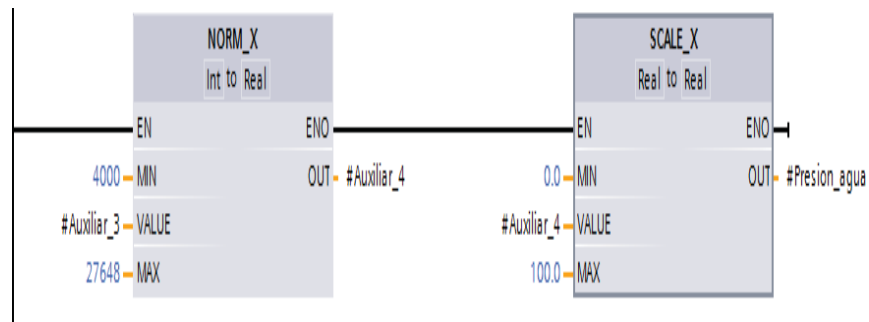


Figura 3.8 Instrucciones de escalonamiento de señales análogas

6.14.2 Arranque del compresor.

En este bloque del programa se desarrolla el encendido y apagado del compresor desde el panel de control y desde el HMI local. La Figura 3.9 muestra el bloque de programación del arranque del compresor.

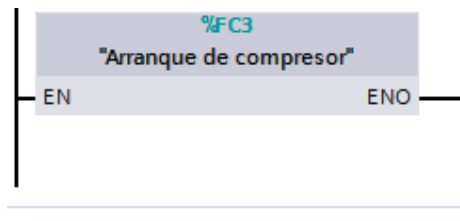


Figura 3.9 Bloque de programa de arranque de compresor

6.14.3. Control de capacidad.

En esta etapa del programa se realiza la programación del encendido y apagado de la electroválvula de desfogue y de las electroválvulas denominadas de 50% y 100%. En la Figura 3.10 se observa el bloque de programación de control de capacidad.

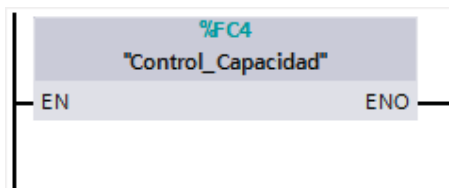


Figura 3.10 Bloque de programa del control de capacidad

6.14.4. Alarmas.

Se programa las alarmas de presión y temperatura para los valores que están fuera de rango los mismos que se visualizan en el HMI local. En la Figura 3.11 se muestra el bloque de programación de alarmas.

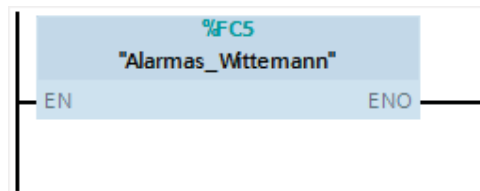


Figura 3.11 Bloque de programa de alarmas

6.14.5. Valores de apagado del compresor.

Se programa los valores de apagado del compresor debido a sobre presión y sobre temperaturas existentes en el proceso. En la Figura 3.12 se observa el bloque de programación de los valores de apagado.

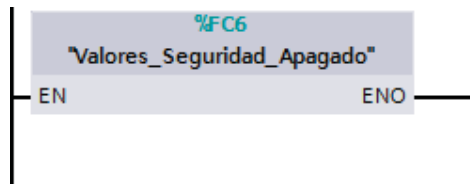


Figura 3.12 Bloque de programa de valores de apagado del compresor

6.14.6. Horometro.

Se realiza la programación de las horas de funcionamiento del compresor. En la Figura 3.13 se observa el bloque de programa del Horómetro.

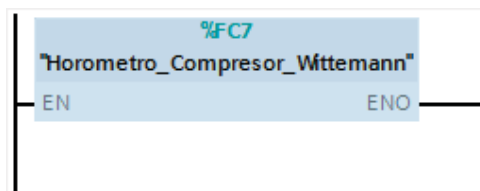


Figura 3.13 Bloque de programa del Horómetro

6.14.7. Reloj del sistema.

Se procede a programar el reloj del sistema que muestra la hora y fecha misma que se visualiza en el HMI local implementado. En la Figura 3.14 se muestra el bloque de programación del reloj.

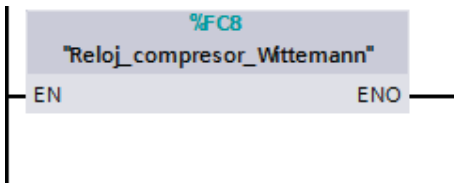


Figura 3.14 Bloque de programa del reloj del sistema

6.14.8. Diagrama general del sistema de programado.

Una vez terminada la programación del sistema la Figura 3.15 se observa la configuración del hardware dentro del programa TIA PORTAL en donde se muestra todas las entradas y salidas usadas y disponibles en el PLC, módulo análogo SM 1231 y módulo análogo SM 1231 RTD's.

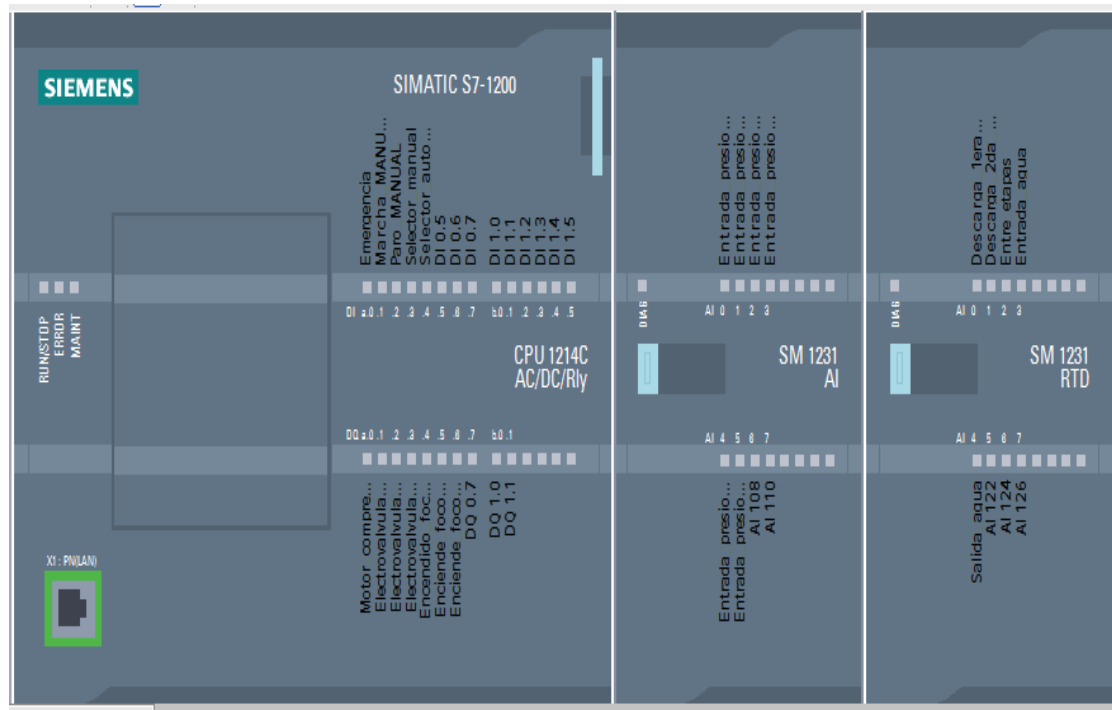


Figura 3.15 Configuración del hardware de I/O mediante el TIA PORTAL

6.15 Programación del HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Con el fin visualizar y monitorear las variables más relevantes del Wittemann # 1, se diseña un HMI local mediante una pantalla táctil (KTP 1000 de Siemens), la cual sirve como nexo entre el usuario y el compresor.

6.15.1 Funciones del HMI local.

La principal función del HMI local es facilitar y ayudar al usuario a supervisar el funcionamiento del compresor, para lo cual cuenta con las siguientes funciones:

- Visualiza los valores de presión y temperatura.
- Control de encendido y apagado del compresor.
- Control de capacidad (encendido y apagado de electroválvulas de 50 y 100%).
- Visualización de alarmas.
- Administrador de usuarios.
- Históricos de curvas de presión y temperatura en tiempo real.

6.15.2 HMI local implementado.

6.17.3. Ventana de principal

Esta pantalla permite visualizar las siguientes funciones del HMI local.

- Arranque del compresor.
- Valores de presiones.
- Valores de temperatura.
- Control de capacidad.
- Visualización de alarmas
- Usuario.

En esta pantalla el usuario navegar dentro del HMI local y supervisar el correcto funcionamiento del compresor, cabe indicar que todos los botones diseñados y programados del HMI son táctiles y no se usa ningún botón físico que tiene la pantalla táctil. En la Figura 3.16 se observa el diseño de la pantalla principal y los botones táctiles implementados.



Figura 3.16 Pantalla de ingreso

6.17.3.1. Pantalla de arranque del compresor

Para poner en marcha el compresor, se selecciona el modo de trabajo automático y se presiona los botones de marcha y paro ubicados en el HMI local. En la Figura

3.17 se puede visualizar las condiciones de encendido como son: presión de succión, presión de agua y presión de instrumentación.

Si las condiciones son las correctas se encienden las tres luces pilotos de color verde, caso contrario si no cumple una o más condiciones la luz piloto será de color rojo. Una vez que cumpla las tres condiciones se podrá arrancar el compresor, en caso que falle una condición no se podrá encender el equipo.



Figura 3.17 Pantalla de arranque de compresor

6.17.3.2. Pantalla de valores de presión

En la Figura 3.18 se muestra el diseño de la pantalla del HMI local para visualizar todos los valores de presión de las distintas etapas del compresor tales como:

- Presión de succión.
- Presión de descarga de segunda etapa.
- Presión de entre etapas.
- Presión de aceite.
- Presión de agua.
- Presión de instrumentación.

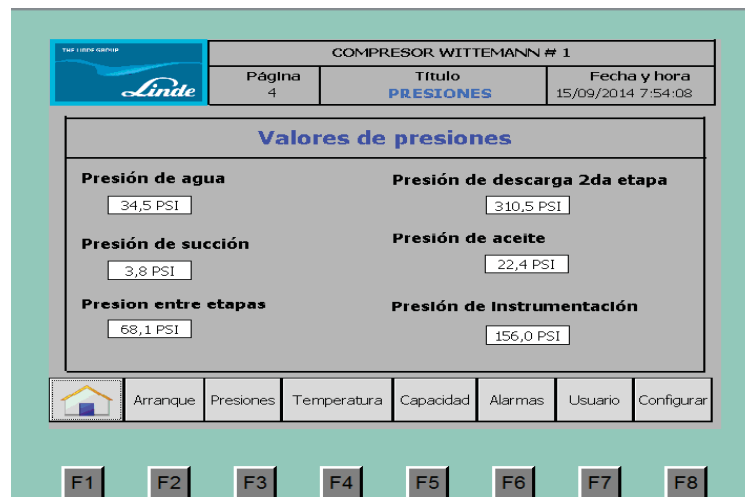


Figura 3.18 Pantalla de valores de presión

6.17.3.3. Pantalla de valores de temperatura

Se procede a programar esta pantalla del HMI local para visualizar los valores de temperatura de las distintas etapas del compresor tales como:

- Temperatura de descarga de primera etapa.
- Temperatura de descarga de segunda etapa.
- Temperatura de entre etapas.
- Temperatura de entrada de agua.
- Temperatura de salida de agua.

En la Figura 3.19 se muestra los valores reales de temperatura obtenidos del funcionamiento del compresor.



Figura 3.19 Pantalla de valores de temperatura

6.17.3.4. Pantalla de control de capacidad

Se diseña esta pantalla para mostrar el encendido y apagado de los siguientes elementos:

- Electroválvula de desfogue.
- Electroválvula de 50%.
- Electroválvula de 100%.

En la Figura 3.20 se observa el modo de funcionamiento del compresor es automático, las electroválvulas de carga (50 y 100%) encendidas y la electroválvula de desfogue se encuentra apagada.



Figura 3.20 Pantalla de control de capacidad

6.17.3.5. Pantalla de alarmas

Se programa esta pantalla como se observa en la Figura 3.21 para visualizar las diferentes alarmas producidas por valores fuera de rango ya sean de presiones y de temperaturas, con lo cual se ayuda al usuario a conocer el motivo del apagado del compresor.

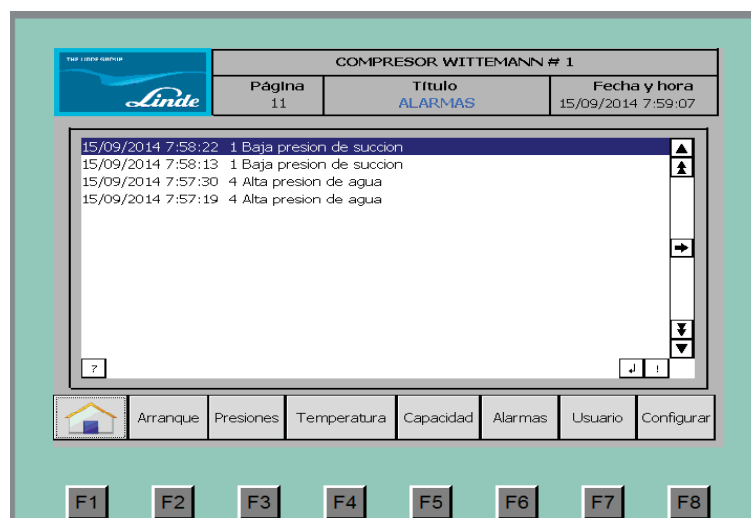


Figura 3.21 Pantalla de alarmas

6.17.3.6. Pantalla de usuario

Se diseña esta pantalla exclusivamente para el administrador el cual tiene a su disposición funciones específicas como cambiar los set-point de presión y temperatura, igualar el reloj del sistema, etc. En la Figura 3.22 se observa la pantalla de usuario.



Figura 3.22 Pantalla de usuario

VII. ANEXOS.

Página Web para calcular diámetros de tubería de vacío:

<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/air-pipe-sizing-velocity.html>

Información para cálculo de vacío en tuberías:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17145/ANEXO?sequence=7>

Página oficial de los productos Dawyer Instrument:

https://www.dwyer-inst.com/index_sp.cfm

Definición de manómetro:

<http://www.areatecnologia.com/herramientas/manometro.html>

Neumática:

<https://www.areatecnologia.com/que-es-la-neumatica.htm>

Controlador lógico programable:

http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf

Software de CAD:

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>