

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TESIS MONOGRÁFICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**



TITULO:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA ELABORACIÓN
DE BARNIZ POR MEDIO DE SIMULACIÓN DE PROTOTIPO UTILIZANDO
PLC SIEMENS S7-1200 PROGRAMADO CON SIMATIC STEP-7”**

Elaborado por:

Br. Moisés Alejandro Fernando Pavón Castillo 2016-0444U

Br. Jonathan Emmanuel Obando Plata 2016-0380U

Tutor: Ing. Marlovio José Sevilla Hernández

Managua – Nicaragua

Octubre 2021

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	6
4.1 Objetivo General	6
4.2 Objetivos específicos	6
5. Marco Teórico	7
5.1 Barniz	7
5.2 Producción de barnices de base alquídica.	7
5.2.1 Materias primas para la producción de barniz	8
5.2.1.1 Ligante o resina	8
5.2.1.2 Solvente	8
5.2.1.3 Aditivos	8
5.2.2 Etapas del proceso	9
5.2.2.1 Dosificación	9
5.2.2.2 Mezcla	9
5.2.2.3 Dispersión	10
5.2.2.4 Mezcla final	10
5.3 Automatización	11
5.3.1 Objetivos de la automatización, para el proceso de creación de barniz	11
5.4 Sistema de control	12
5.4.1 Tipos de sistemas de control	12
5.4.1.1 Sistema de control de lazo abierto	12

5.4.1.2 Sistema de control de lazo cerrado	13
5.4.2 Relés	13
5.4.2.1 Funcionamiento de los relés y contactores.....	13
5.4.3 Sensor por capacitancia	14
5.4.3.1 Aplicaciones	16
5.4.3.2 Funcionamiento	16
5.4.4 Sensores Inductivos	17
5.4.4.1 Los diferentes tipos de sensores inductivos	19
5.4.4.2 Ventajas y Desventajas	20
5.4.5 Sensores Magnéticos.	20
5.4.6 Tipos de Sensores magnéticos.	21
5.4.7 Accionadores eléctricos.....	22
5.4.7.1 Motores de corriente alterna.....	22
5.4.7.2 Motores síncronos.	23
5.4.7.3 Motores de Inducción	23
5.4.8 Electroválvulas.	25
5.4.8.1 Tipos de electroválvulas y modo de funcionamiento	25
5.4.8.2 Electroválvula de 3/2 vías controladas directamente.....	26
5.4.8.3 Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas.....	27
5.4.8.4 Aplicaciones y símbolos de electroválvulas hidráulicas.....	28
5.4.9 Bombas de diafragma.....	29
5.4.10 Bomba eléctrica de doble diafragma	30
5.5 Metodología GRAFCET	31
5.5.1 Etapas	31
5.5.1.1 Acciones asociadas a las etapas.....	32

5.5.2	Transición	33
5.5.2.1	Receptividad asociada a la transición.....	33
5.5.3	Reglas de estructura de uso frecuente	35
5.6	Control Lógico Programable (PLC)	37
5.6.1	Definición.....	37
5.6.2	Funciones de un PLC	37
5.6.3	Características sobresalientes de los PLCs.	38
5.6.4	Clasificación de los PLC	39
5.6.4.1	PLC nano.....	39
5.6.4.2	PLC compacto	40
5.6.4.3	PLC modular.....	40
5.6.5	Ventajas de los PLCs sobre la lógica a relés.....	41
5.6.6	Unidades funcionales de un PLC	42
5.6.6.1	Unidad de entradas	42
5.6.6.2	Unidad de salidas	43
5.6.6.3	Memoria.....	44
5.6.7	Administración de entradas y salidas de un PLC	44
5.6.8	Puntos de entrada y salida	45
5.6.9	Diagrama de conexiones de un PLC	46
5.6.10	Lenguajes de programación para PLC	46
5.6.10.1	Lenguaje de Bloque de Funciones (FUP).....	47
5.6.10.2	Diagrama de Tipo Escalera o Ladder (KOP)	48
6.	Metodología de Trabajo	50
6.1	Métodos utilizados para cumplir los objetivos específicos de la investigación	50

7. Descripción del proyecto de automatización.....	52
7.1.1 Componentes	53
7.1.2 Funcionamiento	54
7.1.2.1 Acondicionamiento de las sustancias A, B, C y D	54
7.1.3 Mezcla y almacenamiento de las sustancias.....	54
7.1.4 Paro de emergencia	55
7.1.5 Circuito Electromecánico	55
7.1.6 Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones (GRAFCET)	
60	
7.1.7 Diagrama de conexiones del PLC S7-1200.....	64
7.1.7.1 Simbología para el diagrama de conexiones con el PLC S7 -1200	
.....	65
7.1.8 Programación en Simatic Step-7	68
8. Conclusiones	78
9. Recomendaciones	79
10. Cronograma de ejecución	80
11. Bibliografía	81
12. Anexos	83

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de bloques para la producción de barnices.....	7
Figura 2. Diagrama de flujo para la producción de barniz.....	10
Figura 3. Componentes básicos de un sistema de control	12
Figura 4. Diagrama de sistema de lazo abierto	12
Figura 5. Diagrama de sistema de lazo cerrado	13
Figura 6. Estructura del sensor capacitivo.....	14
Figura 7. Estructura del sensor inductivo.....	18
Figura 8. Principio de funcionamiento de los sensores magnéticos	21
Figura 9. Rotor Jaula de Ardilla.....	24
Figura 10. Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual (normalmente cerrada).....	27
Figura 11. Bomba eléctrica de doble diafragma	30
Figura 12. Símbolo de la Etapa	32
Figura 13. Acción asociada a la etapa 1 – Representación literal	32
Figura 14. Acción asociada a la etapa 1- Representación simbólica.....	32
Figura 15. Acción asociada temporizada.....	33
Figura 16. Acción asociada condicionada.....	33
Figura 17. Transición que une la etapa 1 con la etapa 2	33
Figura 18. Representación literal de la receptividad	34
Figura 19. Representación simbólica de la receptividad.....	34
Figura 20. Divergencia en O	35
Figura 21. Convergencia en O.....	35
Figura 22. Divergencia en Y	36
Figura 23. Convergencia en Y	36
Figura 24. PLC nano, marca SIEMENS.....	39
Figura 25. PLC compacto, marca PIXSYS	40
Figura 26. PLC modular, marca SIEMENS.....	41
Figura 27. Diagrama interno del PLC.....	42
Figura 28. Esquema de entradas del PLC	43

Figura 29. Esquema de salidas del PLC.....	43
Figura 30. Configuración básica de un PLC de 16 entradas y 16 salidas.	45
Figura 31. Diagrama de conexiones de un PLC.	46
Figura 32. Ejemplo del lenguaje FUP del STEP 7	48
Figura 33. Ejemplo del lenguaje KOP del STEP 7	49
Figura 34. CPU 1214 C AC/DC/RLY.....	64
Figura 35. SM 1223 DC/DC	64
Figura 36. Interfaz de simulación del programa SIMATIC STEP 7.....	77

Lista de tablas

Tabla 1. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas.....	28
Tabla 2. Aplicaciones y símbolos de válvulas hidráulicas.....	29
Tabla 3. Comparación entre PLCs y Relés.	42
Tabla 4. Simbología de CADESIMU.	58
Tabla 5. Simbología de CADESIMU para el diagrama de conexiones con el PLC.	66
Tabla 6. Tabla de símbolos del programa.....	68

Lista de diagramas

Diagrama 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de barniz.....	52
Diagrama 2. Circuito electromecánico del proceso de producción de barniz	59
Diagrama 3. Diagrama GRAFCET	63
Diagrama 4. Diagrama de conexiones con el PLC CPU 1214 C AC/DC/RLY y el módulo DI/DO SM 1223 DC	67

Dedicatoria

Dedicado en primer lugar a Dios por haberme brindado la sabiduría y la fortaleza para llegar a la culminación de esta etapa de mi vida y también por darme la voluntad día a día de seguir adelante y cumplir cada de una de las metas que me he propuesto.

A mi madre Claudia Auxiliadora López Castillo y a mi mita Maritza López González por ofrecerme su apoyo y amor incondicional en todo momento.

A mis familiares y amigos por estar presentes en los momentos más difíciles de mi vida.

Moisés Pavón

Dedicado a mi familia, amigos y personas especiales en mi vida por ser los forjadores de mi camino y ser los principales autores de la persona que soy en la actualidad y en especial a Dios por nunca abandonarme y levantarme en los momentos más difíciles de mi vida.

Jonathan Plata

Agradecimientos

Agradezco a Dios por acompañarme y siempre estar a mi lado en los mejores y los peores momentos de vida, brindándome la fuerza suficiente para superar todos los obstáculos a los cuales me he enfrentado.

A mi madre por creer en mí y por el constante apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mi mita por darme consejos que han sido esenciales en mi formación como persona.

A mi familia por acompañarme y ayudarme durante la carrera, por su buen humor, cariño y apoyo.

A mi tutor de tesis, Ing. Marlovio Sevilla Hernández, por haber representado un papel importante en esta tesis, debido a que brindó su experiencia, criterios y conocimientos.

A mis amigos y todas aquellas personas que siempre estuvieron interviniendo de diferentes formas en todo este tiempo para poder llegar a esta meta.

Moisés Pavón

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, y dándome ejemplos de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar cada momento de la vida, a todos ellos les dedico el presente trabajo porque han fomentado en mí el deseo de superación y del éxito en la vida, y los que han contribuido a la consecución de este logro.

Jonathan Plata

1. Introducción

En Nicaragua existe una demanda considerable de este producto llamado barniz, una disolución de aceites o sustancias resinosas en un disolvente, que es utilizado comúnmente por las familias y microempresas nicaragüenses, como parte de materia prima para la preparación de bienes inmuebles, así como, para embellecer los muebles y aportarles resistencia química. En superficies exteriores, los protege frente a las agresiones del clima y el paso del tiempo.

Lamentablemente en Nicaragua, esta mezcla no se produce debido a que no existe una fábrica que se encargue de la elaboración del mismo, no por falta de materia prima, sino por la desinformación que existe, ya que este material se extrae de diversos árboles resinosos y muy específicamente de pinares que existen en gran parte del país, pero son desaprovechados y tratados como madera de bajo valor económico, pero con grandes propiedades.

El hecho no de producir ciertos productos; en este caso el barniz, trae consigo algunas desventajas tales como:

- Dependencia desmesurada del mercado extranjero.
- Mayores gastos en logística, aduanas, aranceles y asesoramiento.
- Disminución de los ingresos del país.
- Debilitamiento del valor de los productos nacionales.
- Menor competitividad en el mercado internacional.

Cabe destacar que es lamentable que no se aprovechen los recursos que tiene el país para manufacturar barniz, y que cuando un ciudadano necesita cualquier cantidad de volumen de dicho producto, no tenga otra opción que comprarlo a las distribuidoras que lo importan y que por consiguiente lo presentan en su catálogo

de ventas, a un precio mucho mayor del que seguro tendría si se elaborara por alguna fábrica nacional.

Este proyecto se basa en la simulación de un prototipo de un sistema de control que permita la elaboración del barniz, mediante el uso de diversos programas de computadora.

En términos tecnológicos y lo que concierne a la simulación y al manejo de programación lógica según las necesidades y capacidades de este proceso, se realizará a través de los PLC (Controlador Lógico Programable), ya que se utiliza un lenguaje más iterativo, permitiendo ajustes en el diseño y simulación de programas, estos, además, poseen actualmente una gran rentabilidad en prácticamente cualquier sector y aplicación.

Es necesario añadir que se decidió trabajar con este software de programación, ya que este proceso que se optimizará requiere de subsistemas tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos, lo cual representó un reto capaz de enriquecer las competencias de cualquier individuo, entonces que un ingeniero eléctrico conozca como programar un PLC para simular o resolver problemas en su entorno, será esencial en su trayectoria como profesional.

2. Antecedentes

Cuando se enfrenta a una situación o problemática como la que se plantea en este proyecto que despierta curiosidad e interés cognoscitivo, lo primero que se hace, lógica y cronológicamente, es concentrar la atención sobre la temática.

Actualmente no existe ningún indicio de tesis realizado en lo que respecta al campo laboral del barniz en Nicaragua, lo más cercano a este tipo de trabajo, lo realizaron estudiantes de la Universidad Nacional Agraria como tema delimitado “Análisis del proceso de transformación de la madera comercializada en el municipio de Camoapa, Boaco durante el periodo Junio 2015 a Septiembre 2015”, dicha tesis aborda un poco sobre las diversas ocupaciones o diversos tratamientos que se le puede dar a la madera y que pueden ser aprovechados por el ser humano, sin embargo, contemporáneamente estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería de la carrera industrial, están llevando a cabo un “Estudio de pre factibilidad para la elaboración y comercio de barniz a base de pino en el departamento de León, periodo 2021-2025”, que pretende dar a conocer el impacto socioeconómico que puede llegar a brindar una planta industrial del procesamiento de barniz, diseñar canales de distribución, enfocando los números de ventas en los departamento del País.

El desarrollo de tecnologías, en la última década, ha dado impulso notable a nuevas herramientas que permiten el desarrollo de proyectos mediante plataformas de programadores controlables (PLC), los cuales hasta hace pocas décadas no pasaban de ser pequeños experimentos que permitían lograr la visión de algo más amplio con el transcurso del tiempo. En este sentido se ha dado el desarrollo a gran escala de dispositivos electrónicos dedicados a la automatización de las funciones.

Para el desarrollo del producto terminado, si bien existen numerosos libros excelentes sobre la tecnología y procesos de pinturas como el barniz en este caso,

la mayoría de ellos no proporcionan una comprensión básica de los componentes de revestimientos. Además, dado el avance vertiginoso de la ciencia de los materiales que ocupe ese espacio con un enfoque científico-tecnológico se propone la realización y automatización de este sistema.

El diseño original que se pretende realizar conlleva la utilización de programas para la automatización de sistemas, esto para hacer las funciones más precisas de manera que garantice la calidad del producto.

3. Justificación

El desarrollo de las investigaciones y estudios en los diferentes campos de la ciencia a lo largo del tiempo, ha sido el motor de cambio del mundo, ya que los conocimientos adquiridos y actualizados a través de las investigaciones permite el desarrollo de tecnologías que sean de mayor utilidad al ser humano, y que cada vez sean más fáciles de usar y más baratas de comprar.

De tal manera se diseñará un sistema controlado con dispositivos tecnológicos que sirven para la automatización del mismo con la apropiación de varios utensilios que garantizaran la confiabilidad del proceso de fabricación.

A pesar de que existe competencia en la distribución del producto que se obtendrá como fin del proceso de producción se percibe la esencia de altos precios y que, a pesar de cumplir con los estándares de calidad, muchas veces las necesidades de los consumidores no se ven satisfechas por completo. Por tanto, se busca la optimización de los recursos brutos en el proceso, con ayuda adecuada de controles y dispositivos programables como lo es PLC.

Un enfoque que presenta también medidas alternativas de innovación dentro del desarrollo de procesos productivos y en el marco ambiental, la promoción de proyectos amigables con el medio ambiente que se suma con la satisfacción colectiva del equipo en explorar ideas en torno a la creación de propuestas de valor y del desarrollo sostenible.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de control para la elaboración de barniz por medio de simulación de prototipo utilizando PLC SIEMENS S7-1200 programado con SIMATIC STEP-7.”

4.2 Objetivos específicos

- Elaborar diagramas de control a través del programa CADESIMU con el fin de establecer y describir cada una de las etapas del proceso.
- Encontrar la operación en conjunto óptima de los subsistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos involucrados en el proceso con el fin de obtener una correcta producción del barniz.
- Realizar un programa utilizando SIMATIC STEP 7 para simular el funcionamiento del prototipo a diseñar.

5. Marco Teórico

5.1 Barniz

El barniz es una disolución de resinas y aceites en una sustancia volátil. Se aplica en superficies y al contacto con el aire se endurece, de esta forma crea una película que suele tener brillo e incluso un tono. Además, se encarga de proteger el mueble u objeto del paso del tiempo o de la acción de algunos factores como el aire o la luz. (Fontenla, 2019)

5.2 Producción de barnices de base alquídica.

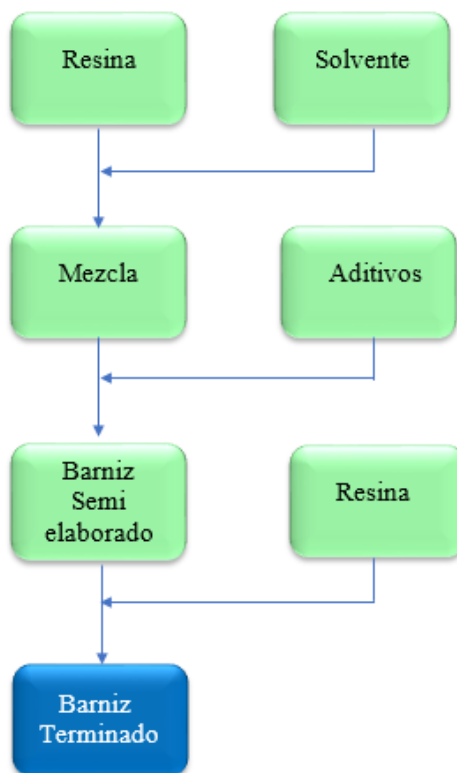


Figura 1. Diagrama de bloques para la producción de barnices.
Fuente: (Fontenla, 2019)

5.2.1 Materias primas para la producción de barniz

5.2.1.1 Ligante o resina

Los polímeros que forman una película cohesiva sobre una superficie son denominados ligantes, que además tienen la función de aglutinar adecuadamente los pigmentos luego del secado (en caso de que se formule una pintura que lleve pigmentos). Estos se seleccionan desde un punto de vista técnico- económico, considerando diversos factores, tales como estado de la superficie, resistencias, rugosidad, exposición a los rayos UV, costos, etc.

5.2.1.2 Solvente

Generalmente se trata de un líquido volátil, que desaparece casi en su totalidad por evaporación. Las principales funciones de este son las de solubilizar el ligante, brindarle al conjunto la viscosidad adecuada para la aplicación en superficie y contribuir a su nivelación y secado, pero no interviene en la película una vez ya seca, ya que un buen solvente no debería quedar retenido en la misma.

Los solventes influyen en distintas propiedades de las pinturas, tales como el tiempo de secado, favorecen un secado parejo desde el interior hacia la superficie del recubrimiento, evitan la formación de fisuras en pinturas e influyen en el brillo de las pinturas satinadas.

5.2.1.3 Aditivos

Se encuentran gran variedad de sustancias que actúan como importantes auxiliares mejorando las propiedades generales de una pintura.

- **Antinata**

Este producto evita la polimerización de las tareas en la superficie que tiene contacto con el aire dentro de los envases. El más usado es MetilEtilCetoxima.

- **Agentes Secantes**

Uno de los mayores inconvenientes que presentan las pinturas es el tiempo de secado, para ello se añaden los agentes secantes, los cuales son productos químicos que abrevian considerablemente la duración del secado de los aceites secantes en las pinturas. Se adicionan para dar el cambio físico de líquido a sólido en un tiempo razonable. Este cambio es realizado por un mecanismo de reticulación oxidativo, el cual es acelerado por la presencia de un ion metálico presente en dichos agentes.

5.2.2 Etapas del proceso

5.2.2.1 Dosificación

Se realiza el proceso de dosificado de las materias primas desde los tanques al dispersor. Las materias primas que se agregan en primer lugar son la resina y el solvente, luego los aditivos y finalmente se añade nuevamente resina. De esta forma se obtiene el producto formulado.

5.2.2.2 Mezcla

Por medio de este proceso se obtiene la mezcla inicial de resina-solvente. Se hace por medio de una agitación a velocidad controlada en el tanque dispersor. Esta actividad se complementa con la dispersión de los aditivos en el mismo equipo.

5.2.2.3 Dispersión

Es un proceso netamente físico, el de mayor importancia puesto que representa los mayores costos de todo el proceso productivo, siendo estos en tiempo y mano de obra. Se basa en la dispersión y homogenización de la mezcla original de resina-solvente con el agregado de los agentes secantes y antinatas.

5.2.2.4 Mezcla final

Esta etapa termina de homogeneizar el producto, puesto que se realiza un último agregado de resina y el dispersor realiza una mezcla nuevamente. Este equipo consta de un dispositivo de descarga que permite ajustar la consistencia del barniz por medio del agregado de resina. Durante el proceso se hacen tomas de muestras que se analizan en el laboratorio, y obtenida la aprobación respectiva se procede a descargar el tanque. (Nahuel & Ponce, 2014)

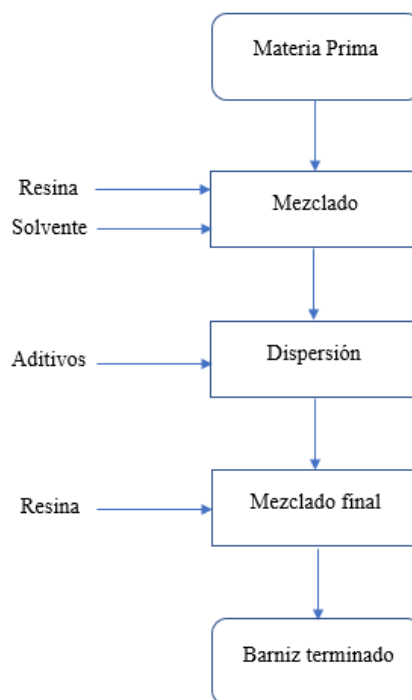


Figura 2. Etapas del proceso para la producción de barniz. **Fuente:** Elaboración propia

5.3 Automatización

La automatización se refiere a una extensa variedad de sistemas y procesos de control que se basa en los autómatas programables, es decir utilizando técnicas y equipos para el gobierno de un proceso industrial, de tal forma que ese sistema funcione de forma autónoma, con poca o ninguna intervención humana. Un sistema automatizado ajusta sus operaciones en respuesta a cambios en las condiciones externas en tres etapas: mediación, evaluación y control.

5.3.1 Objetivos de la automatización, para el proceso de creación de barniz

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

5.4 Sistema de control

Es el conjunto de elementos que funcionan de manera concatenada para proporcionar una salida o respuesta deseada. Los componentes básicos de un sistema de control pueden ser descritos por:

- Objetivos de control
- Componentes del sistema de control
- Resultados o salida

La relación básica entre estos tres componentes se muestra en la Figura 3, en donde los objetivos de control pueden ser identificados como entradas o señales entrantes, los resultados son considerados las salidas o las variables controladas; en general, el objetivo del sistema de control es controlar la salida de manera ordenada actuando los elementos de control sobre la señal de entrada. (Ortega, 2002)

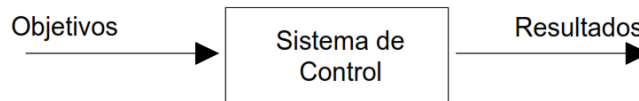


Figura 3. Componentes básicos de un sistema de control.
Fuente: (Ortega, 2002)

5.4.1 Tipos de sistemas de control

5.4.1.1 Sistema de control de lazo abierto

Es aquel sistema de control en el que la salida no es afectada por la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada.

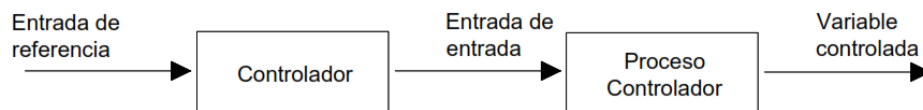


Figura 4. Diagrama de sistema de lazo abierto. **Fuente:** (Ortega, 2002)

5.4.1.2 Sistema de control de lazo cerrado

En este sistema, el controlador se alimenta de la señal de error de desempeño, la cual representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. (Carillo Paz, 2011)

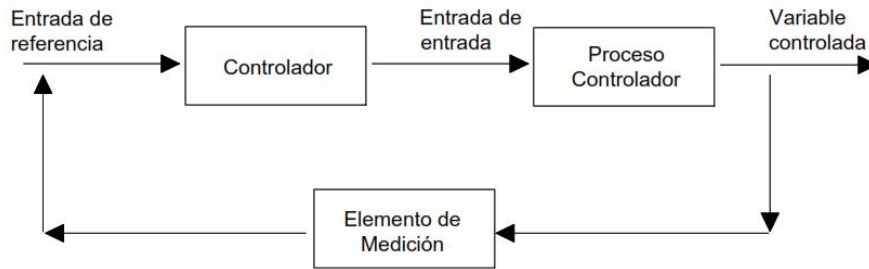


Figura 5. Diagrama de sistema de lazo cerrado. **Fuente:** (Ortega, 2002)

5.4.2 Relés

Los relés son interruptores o dispositivos de conmutación activados por señales, lo cual los hace extremadamente funcionales para que controlen cosas cuando se les manda una señal.

5.4.2.1 Funcionamiento de los relés y contactores.

Cuando la bobina es recorrida por la corriente eléctrica, genera un campo magnético intenso de manera que el núcleo atrae con un movimiento muy rápido.

Al producirse este movimiento, todos los contactos del Contactor (tanto principales como auxiliares) cambian de posición. Para volver los contactos a su posición inicial reposo basta con desenergizar la bobina.

La corriente absorbida por la bobina es relativamente elevada debido a que prácticamente la única resistencia es el conductor con que está hecha la bobina. En estas condiciones, el $\cos \phi$ (factor de potencia) es alto (0,8 a 0,9)

y la reactancia inductiva muy baja por existir mucho entrehierro entre el núcleo y la armadura.

Una vez cerrado el circuito magnético la impedancia¹ de la bobina aumenta, de manera tal que la corriente de llamada se reduce considerablemente. La corriente formada se la denomina de mantenimiento o trabajo. Esta es mucho más baja - de 6 a 10 veces menos a la corriente de llamada (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2008)

5.4.3 Sensor por capacitancia

Los sensores de proximidad capacitivos trabajan generando un campo electrostático y detectando cambios en dicho campo a causa de un objeto que se aproxima a la superficie de detección. Los elementos de trabajo del sensor son una sonda capacitiva de detección, un oscilador, un rectificador de señal, un circuito de filtraje y el correspondiente circuito de salida.

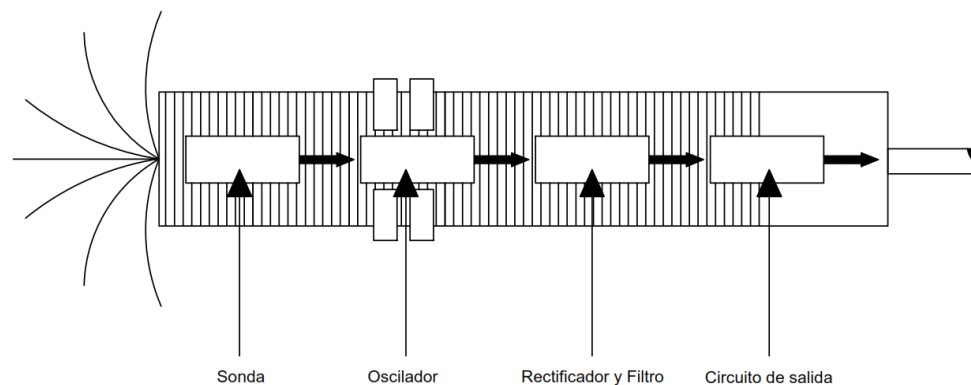


Figura 6. Estructura del sensor capacitivo. Fuente: **Fuente:** (Ortega, 2002)

En ausencia de objetos, el oscilador se encuentra inactivo. Cuando se aproxima un objeto, este aumenta la capacitancia de la sonda de detección. Al

¹ Impedancia: Resistencia al paso de corriente alterna.

superar la capacitancia un umbral predeterminado activa el oscilador, el cual dispara el circuito de salida para que cambie entre “ON” (encendido) y “OFF” (apagado).

La capacitancia de la sonda de detección viene condicionada por el tamaño del objeto a detectar, por la constante dieléctrica y por la distancia que esté con respecto al sensor. A mayor tamaño y mayor constante dieléctrica de un objeto, mayor incremento de capacitancia. A menor distancia entre objeto y sensor, mayor incremento de capacitancia de la sonda por parte del objeto.

Estos sensores electrónicos son accionados cuando cualquier objeto (vidrio, granos y hasta líquidos) invade su área sensible, promoviendo el cambio de su estado lógico. Los sensores por capacitancia pueden manejar medición de nivel puntual o continua. Usan sondas para monitorear los cambios de nivel de líquido en el tanque, acondicionando electrónicamente la salida a valores capacitivos y resistivos, que se convierten en señales analógicas. La sonda y el recipiente equivaldrán a las dos placas de un capacitor, y el líquido equivaldrá al medio dieléctrico. Debido a que la señal emana solo de cambios de nivel, la acumulación de material en la sonda no tiene efecto. Los recipientes de fluido no conductor pueden indicar sondas dobles o una banda conductora externa.

La sonda, que puede ser rígida o flexible, normalmente usa alambre conductor con aislamiento. El uso de acero inoxidable como material de la sonda ofrece la sensibilidad adicional que se necesita para medir líquidos que son no conductores, granulares, o de propiedades dieléctricas bajas (constante dieléctrica menor de 4). Se deben usar sondas flexibles cuando no hay suficiente espacio libre para una sonda rígida, o en aplicaciones que exigen longitudes muy grandes. Las sondas rígidas ofrecen estabilidad más alta, especialmente en sistemas turbulentos, donde la oscilación de la sonda puede causar fluctuaciones en la señal.

5.4.3.1 Aplicaciones

Son ampliamente utilizados para la detección de objetos de naturaleza metálica o no, tales como: madera, cartón, cerámica, vidrio, plástico, aluminio, laminados o granulados, polvos de naturaleza mineral como talco, cemento, arcilla.

Los líquidos, de manera general, son excelentes actuadores para los sensores capacitivos, no importando si son conductivos o no, así como su viscosidad o color. De esta forma, con la instalación de uno o dos sensores, son obtenidos excelentes sistemas para control de niveles máximos y mínimos de líquidos o sólidos, incluso sumergidos totalmente en el producto.

También para otros fines de detección, tales como conteo de botellas, cajas, paquetes o piezas, el sensor capacitivo dotado de ajuste de sensibilidad lo cual lo hace extremadamente versátil, resolviendo problemas de automatización, de difícil solución con sistemas convencionales. Para mayores facilidades de aplicación.

5.4.3.2 Funcionamiento

Los sensores capacitivos tienen su nombre debido a que funciona al hacer la medición del elemento eléctrico cuyo nombre es capacitancia. Este elemento hace la descripción de dos unidades conductoras que guardan un espacio entre ellos y obtienen respuesta al momento de recibir un voltaje, esto genera un campo eléctrico que ocasiona que se generen cargas, ya sean negativas o positivas. Los sensores hacen uso de ese voltaje y esas cargas son las que son detectadas por la unidad.

La capacitancia es la que determina la cantidad de flujo de corriente, a su vez la proximidad de los objetos conductores son los que determinan la cantidad de capacitancia. Por lo tanto, cuando existen objetos que tengan un tamaño grande y estén cerca habrá más corriente, en comparación de lo que causan los objetos pequeños.

Cabe mencionar que, en cada cambio de distancia, existe una implicación en la sensibilidad dada por los cambios de voltaje. Entonces cuando existe un aumento de la sensibilidad sucederá por lo tanto un aumento en la distancia de operación al objetivo. En este sentido, cuando la sensibilidad sufre un incremento puede suceder que el sensor puede deberse por una afectación del sensor ya sea por la suciedad, pero también por la temperatura o la humedad. Estos elementos también están parte de la automatización industrial.

En general se puede concluir que el sensor tiene un papel importante dentro de todo el proceso industrial, por lo que no es posible que cuando se trata de operaciones de fabricación de maquinaria industrial no se implementes estas unidades. Además, se debe mantener altos niveles de estándares de seguridad en donde es necesario dar seguimiento, monitorear y estar en constante comunicación.

Cuando se aborda procesos de operación y fabricación inteligentes, estos operan gracias a datos recogidos que se encuentran en los dispositivos de campo para luego salir de regreso al controlador, sin embargo, el éxito de esto y de la calidad de los datos emitidos corresponderá a la calidad de trabajo del sensor.

5.4.4 Sensores Inductivos

Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

Los sensores específicos de materiales férrico no detectaran hojalatas (zinc + cobre), aluminio o cobre, mientras que los sensores específicos de materiales no férricos no detectaran acero ni aleaciones férricas inoxidable.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor del nivel de disparo de la señal y un circuito de salida. Al introducir un

objeto metálico en el campo, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido a la posición “ON” (encendido) y “OFF” (apagado).

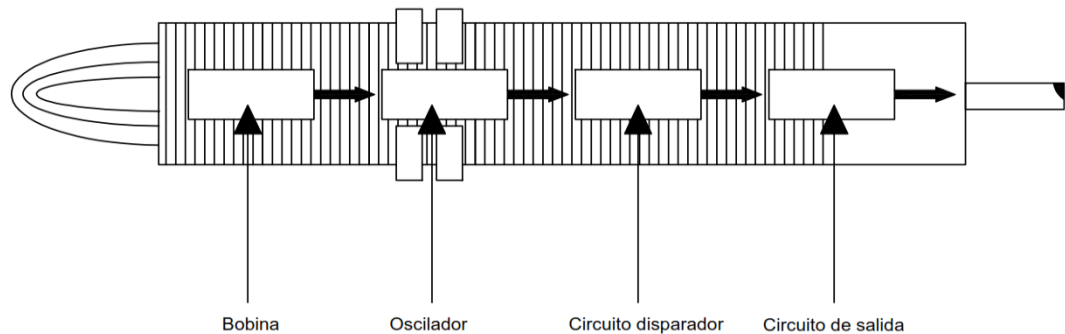


Figura 7. Estructura del sensor inductivo. **Fuente:** (Ortega, 2002)

Los sensores inductivos tienen la tarea de determinar sin contacto la distancia hasta un objeto metálico. Si no se llega a una distancia determinada (la distancia de conmutación “S”) el sensor dispara una acción. Por tanto, es una herramienta indispensable en la automatización. Los sensores inductivos de velocidad y posición tienen variedad de formas, tamaños y diseños. Todos los sensores inductivos funcionan según los principios de transformador y utilizan el fenómeno físico que se basa en alternar las corrientes eléctricas. Michael Faraday fue la primera persona que lo descubrió en 1830, cuando detectó que un conductor de corriente podía inducir el flujo de corriente en otro conductor.

Estos sensores incluyen interruptores de proximidad, sensores de inductancia variable, sensores de resistencia variable, sincronizadores, resolucionadores, transformadores diferenciales de variación rotativa o lineal y codificadores inductivos de nueva generación.

5.4.4.1 Los diferentes tipos de sensores inductivos

En un sensor de proximidad sencillo, el dispositivo cuenta con suministro eléctrico, lo que provoca que fluya una corriente alterna en una bobina. Cuando un objetivo conductivo o permeable magnéticamente, como un disco de acero, se acerca a la bobina, cambia su impedancia. Cuando sobrepasa el umbral, actúa como una señal de que el objetivo está presente. Los sensores de proximidad se suelen utilizar para detectar la presencia o ausencia de objetivos de metal y sus resultados suelen parecerse a los de un interruptor. Estos sensores se utilizan con frecuencia en muchas aplicaciones industriales en las que los contactos eléctricos de un interruptor tradicional darían problemas, especialmente cuando hay mucha suciedad o agua.

Los sensores de inductancia y resistencia variable suelen producir una señal eléctrica proporcional al desplazamiento de un objeto conductivo o permeable magnéticamente con respecto a una bobina. Al igual que con el sensor de proximidad, la impedancia de una bobina varía según el desplazamiento de un objetivo con respecto a una bobina cargada con corriente alterna. Estos dispositivos se suelen utilizar para medir el desplazamiento de los pistones de los cilindros.

Los sincronizadores miden el acoplamiento inductivo entre bobinas, ya que se mueven uno con respecto a otro. Suelen ser rotatorios y necesitan conexiones eléctricas para la parte en movimiento y la parte fija. Ofrecen una elevada precisión y se utilizan en la metrología industrial, las antenas de radar y los telescopios.

Los sensores inductivos se pueden conectar tanto en serie como en paralelo, todo depende de la aplicación en la que se use; es decir de la carga a la que se sometan.

5.4.4.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas:

- Sin contacto y, por tanto, sin apenas desgaste.
- Exactitud de conmutación y frecuencias de conmutación elevadas.
- Insensible a la suciedad.
- Insensible a vibraciones y sacudidas.
- Resistente a cortocircuitos.

Desventajas:

- Solo pueden detectarse metales.
- La distancia de conmutación es tan baja que casi siempre deben conectarse varios sensores en serie.
- Debido a campos magnéticos pueden darse errores en la exactitud de medición, lo que puede ser una desventaja para algunos tipos de motores (híbridos). (Ortega, 2002)

5.4.5 Sensores Magnéticos.

Los sensores magnéticos de efecto Hall² operan por medio de la medición del voltaje cambiante, cuando el dispositivo es colocado en un campo magnético. Es decir, cuando detectan que están insertos en un campo magnético, pueden detectar la posición de los objetivos. Poseen imanes, los cuales se activan por la presencia de un campo magnético externo, asimismo, pueden detectar cuando los objetivos se desplazan de manera cercana o lejana, únicamente mediante las diferentes fuerzas del campo magnético.

Los campos magnéticos presentan dos características de suma importancia: la densidad de flujo, que hace referencia a la cantidad de flujo que pasa por una zona unitaria, y la doble polaridad de los imanes.

² Efecto Hall: Es el efecto que se produce cuando se ejerce un campo magnético transversal sobre un cable por el que circulan cargas.

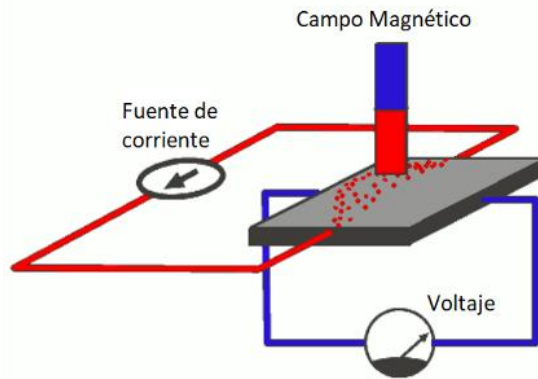


Figura 8. Principio de funcionamiento de los sensores magnéticos. **Fuente:** (SEPIA, 2005)

La señal de salida de los sensores representa la densidad del campo a su alrededor. Los dispositivos poseen un umbral preestablecido, el cual, al ser excedido por la densidad del flujo magnético, hace que detecten el campo mediante la generación de una salida conocida como “Voltaje Hall”. Estos dispositivos poseen en su interior una pieza delgada hecha de material semiconductor, que pasa a través de sí una corriente eléctrica continua para producir un campo magnético.

Si se colocan cerca de un imán externo, el flujo magnético ejerce una fuerza sobre el material semiconductor, lo que provoca un movimiento de electrones, genera un voltaje Hall mensurable y activa los sensores magnéticos de efecto Hall. El voltaje Hall de salida es directamente proporcional a la intensidad del campo magnético que pasa por el material semiconductor. Su tamaño es comúnmente pequeño (micro voltios).

5.4.6 Tipos de Sensores magnéticos.

Analógicos: Consisten en sensores básicos, con una salida encargada de proporcionar una señal proporcional a la intensidad del campo que captan, por lo que son similares a otros como los sensores de tensión o temperatura.

Digitales: Se trata de dispositivos más básicos que los analógicos, debido a que no entregan salidas proporcionales al campo, sino un valor alto de tensión hay un campo o bajo si no existe. No pueden utilizarse para la medición de campos magnéticos, al igual que los analógicos, solo para detectar su presencia. Pueden dividirse en dos subcategorías:

Su activación se da con el acercamiento de un polo y mantienen su valor de salida hasta que el polo contrario es acercado.

Su desactivación se da al retirar el polo y la salida no es mantenida con ello. Para que la salida cambie no se requiere acercar el polo opuesto. (SEPIA, 2005)

5.4.7 Accionadores eléctricos

En general, un sistema eléctrico se puede considerar accionador cuando produce una determinada acción: conmutadores de tipo on – off, solenoides en los que una corriente se usa para producir el desplazamiento de un núcleo de hierro; o motores eléctricos, en los que una corriente es usada para producir un movimiento de rotación continuo.

5.4.7.1 Motores de corriente alterna

El motor de corriente alterna, dependiendo del tipo de corriente que éstos consumen se pueden clasificar en motores de corriente alterna trifásicos y motores de corriente alterna monofásicos.

Existen dos clases principales de motores de corriente alterna trifásica: los motores sincrónicos y los motores de inducción. Los motores sincrónicos son motores cuya corriente de campo magnético es suministrada por una fuente dc separada, mientras que los motores de inducción son motores cuya corriente de campo magnético es suministrada por inducción magnética (acción transformadora) en sus devanados de campo. Los circuitos de campo

de la mayoría de las máquinas sincrónicas y de inducción están localizados en sus rotores.

5.4.7.2 Motores sincrónicos.

Los motores sincrónicos son máquinas utilizadas para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica.

En general los motores sincrónicos son más adaptables a aplicaciones de bajas velocidades y altas potencias que los motores de inducción. Por tanto, son utilizados para cargas de baja velocidad y alta potencia.

En este tipo de motores la corriente de campo del motor produce un campo magnético de estado estacionario. Un conjunto trifásico de voltajes se aplica al estator de la máquina, que produce un flujo de corriente trifásica en los devanados; este conjunto trifásico de corrientes en el devanado produce un campo magnético uniforme rotacional.

5.4.7.3 Motores de Inducción

Los motores de inducción son llamados así porque el voltaje del rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) es inducido en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectado a través de alambres. La característica distintiva de un motor de inducción es que no se requiere corriente de campo dc para operar la máquina.

Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina sincrónica, pero la construcción del rotor es diferente. Hay dos tipos diferentes de rotores que pueden disponerse dentro del estator del motor de inducción. Uno de ellos se llama rotor de jaula de ardilla o simplemente rotor de jaula, mientras que el otro es llamado rotor devanado.

Un rotor de jaula de ardilla consiste en una serie de barras conductoras dispuestas entre ranuras labradas en la cara del rotor y cortocircuitadas en cada extremo por anillos de cortocircuitado.

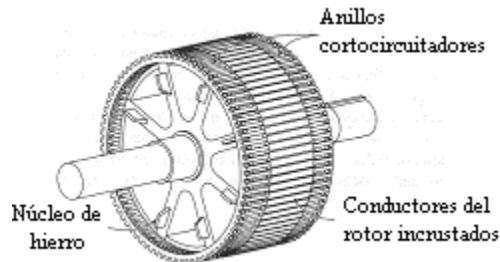


Figura 9. Rotor Jaula de Ardilla. **Fuente:** (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2008)

Un rotor devanado tiene un grupo completo de devanados trifásicos que son las imágenes especulares de los devanados del estator. Las fases de los devanados del rotor están conectadas usualmente en Y, y los extremos de los tres alambres del rotor están unidos a anillos rozantes dispuestos sobre el eje del rotor. Los devanados del rotor están cortocircuitados a través de escobillas montadas en los anillos rozantes. En los motores de inducción de rotor devanado, sus corrientes retóricas son accesibles en las escobillas del estator, donde pueden ser examinadas y donde se puede insertar resistencia extra al circuito del rotor. Es posible obtener ventaja de este hecho para modificar la característica par- velocidad del motor.

Algunas de las aplicaciones de estos motores son en prensas de punzón, guillotinas, frenos para prensas para láminas de metal, grúas, elevadores y bombas de pozos petroleros. (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2008)

5.4.8 Electroválvulas.

Un sistema de control electro neumático o electrohidráulico trabaja con dos formas de energía: energía eléctrica en la sección de control de las señales y energía del fluido de trabajo en la sección de potencia.

Las válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente (electroválvulas) forman el interfaz entre las dos partes de control del sistema.

Las válvulas de vías o distribuidoras son elementos constructivos que modifican, abren o cierran los pasos del flujo del fluido. Estas válvulas permiten controlar la dirección del movimiento y la parada de los elementos de trabajo.

Son activadas por las señales de salida de la sección de control y distribuyen el fluido de trabajo en la sección de potencia. Las tareas más importantes de las electroválvulas son: abrir y cerrar la alimentación del fluido con el que se esté trabajando, y controlar el movimiento, ya sea de cilindros o de motores.

Es de aclarar que las electroválvulas se utilizan ampliamente en otras aplicaciones diferentes a la electro neumática o electrohidráulica, como son en instalaciones de vapor, monitoreo de gases o para controlar la apertura o cierre en instalaciones hidráulicas, instalaciones de bombeo.

5.4.8.1 Tipos de electroválvulas y modo de funcionamiento

Las electroválvulas se activan por medio de solenoides, y se pueden dividir en dos grupos:

1. Válvulas con retorno por muelle (monoestables). Sólo están activadas mientras fluye corriente por el solenoide.
2. Válvulas de doble bobina (biestables), las que mantienen la última posición, aunque deje de fluir corriente por el solenoide, esto es en el caso de las electroválvulas neumáticas 5/2 vías, puesto que en las electroválvulas

hidráulicas existen resortes que la devuelven a su posición de centro, ya que son válvulas 5/3 vías.

En posición inicial, todos los solenoides de una electroválvula distribuidora están sin tensión y por lo tanto inactivos. Una válvula de doble solenoide no tiene una posición estable definida ya que no tiene muelle de retorno.

Las electroválvulas distribuidoras también se distinguen por el número de conexiones y el número de posiciones de conmutación. La denominación de la válvula resulta del número de conexiones y de posiciones:

- Electroválvula de 3/2 vías con muelle de retorno (monoestable).
- Electroválvula de 5/2 vías de doble bobina (biestable).

Las electroválvulas distribuidoras son generalmente de diseño modular. Se componen de los siguientes elementos:

1. La electroválvula distribuidora propiamente dicha.
2. Uno o dos solenoides para su accionamiento
3. Uno o dos conectores para las señales de mando a las bobinas.

5.4.8.2 Electroválvula de 3/2 vías controladas directamente

Este tipo de válvulas en su posición inicial, la conexión de utilización 2 está unida a la conexión de descarga 3 por la ranura en el inducido.

Si se excita el solenoide, las fuerzas del campo magnético fuerzan el inducido hacia arriba contra la fuerza del muelle, la junta de asiento inferior abre y el fluido de la conexión 1 puede fluir hacia la conexión de trabajo 2, la junta de asiento superior cierra, cerrando el paso entre las conexiones 2 y 3. (Carillo Paz, 2011)

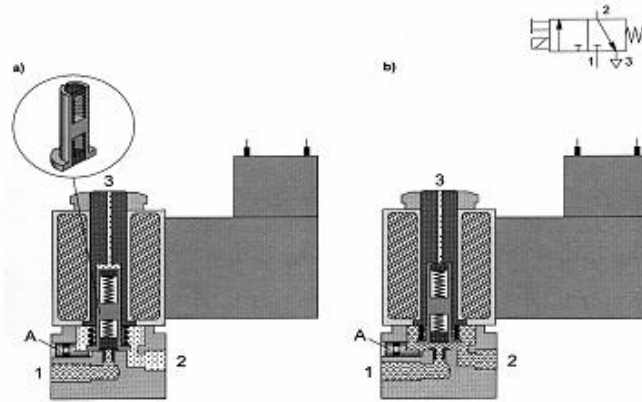


Figura 10. Electroválvula de 3/2 vías con accionamiento manual (normalmente cerrada). **Fuente:** (Carillo Paz, 2011)

5.4.8.3 Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas

<i>Tipo de válvula</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Aplicaciones.</i>
<i>Electroválvulas distribuidoras con muelle de retorno (monoestables).</i>		
Electroválvula de 2/2 vías pilotada, retorno por muelle		Función de cierre
Electroválvula de 3/2 vías pilotada, retorno por muelle, normalmente cerrada Electroválvula de 3/2 vías pilotada, retorno por muelle, normalmente abierta.		Cilindros de simple efecto Cilindros de simple efecto (bajo presión sin tensión)
Electroválvula de 4/2 vías pilotada, retorno por muelle Electroválvula de 5/2 vías pilotada, retorno por muelle.		Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios.

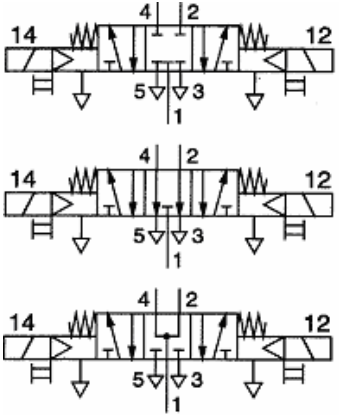
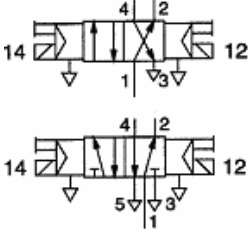
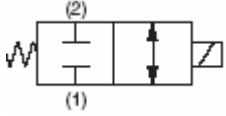
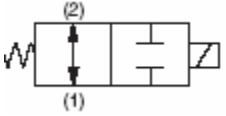
Tipo de válvula	Símbolo	Aplicaciones.
<i>Electroválvulas distribuidoras con muelle de retorno (monoestables), cont.</i>		
<p>Electroválvula de 5/3 vías pilotada, con muelles de retorno (cerrada a descarga o a presión en reposo).</p>		<p>Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios con parada intermedia, con requerimientos especiales en el caso de un gallo de tensión.</p>
<p>Electroválvulas de 4/2 vías pilotada, doble bobina. Electroválvula de 5/2 vías pilotada, doble bobina.</p>		<p>Cilindros de doble efecto o actuadores giratorios.</p>

Tabla 1. Aplicaciones y símbolos de electroválvulas neumáticas. **Fuente:** (Carillo Paz, 2011)

5.4.8.4 Aplicaciones y símbolos de electroválvulas hidráulicas

Tipo de válvula	Símbolo	Aplicaciones
<p>Electroválvula 2/2 vías, retorno por muelle, normalmente cerrada.</p>		<p>Función de cierre.</p>
<p>Electroválvula 2/2 vías, retorno por muelle, normalmente abierta.</p>		

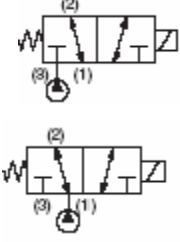
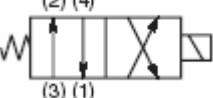
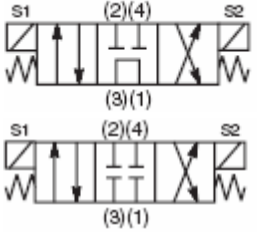
<p>Electroválvula 3/2 vías, retorno por muelle, normalmente cerrada.</p> <p>Electroválvula 3/2 vías, retorno por muelle, normalmente abierta.</p>		<p>Cilindros de simple efecto.</p>
<p>Electroválvula 4/2 vías, retorno por muelle.</p>		<p>Cilindros de doble efecto</p>
<p>Electroválvula 4/3 vías, posición intermedia "bomba a recirculación"</p> <p>Electroválvula 4/3 vías, posición intermedia "cerrada".</p>		<p>Cilindros de doble efecto Control de la carga en posiciones intermedias Protección en caso de fallo por tensión.</p>

Tabla 2. Aplicaciones y símbolos de válvulas hidráulicas. **Fuente:** (Carillo Paz, 2011)

5.4.9 Bombas de diafragma

Las bombas de diafragma son un tipo de bombas de desplazamiento positivo, generalmente alternativo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas que varían el volumen de la cámara, aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente. Este tipo de bombas ofrecen ciertas ventajas frente a otros, ya que no poseen cierres mecánicos ni empaquetaduras que son las principales causas de rotura de los equipos de bombeo en condiciones severas.

5.4.10 Bomba eléctrica de doble diafragma

La diferencia con respecto a una bomba de diafragma neumática consiste en su sección central, ya que emplea un accionamiento eléctrico en lugar de aire comprimido. La sección central de esta bomba se llena de aire comprimido y el motor la desplaza mecánicamente de izquierda a derecha, de manera que empuje y tire del diafragma de izquierda a derecha. Este movimiento adelante-atrás hace que el líquido salga de una de las cámaras y entre en el colector de salida. Al mismo tiempo, la otra cámara de fluido se irá llenando a través del colector de entrada. Al realizar la conmutación, la sección de fluido que estaba llena en el cambio anterior se vaciará a través del colector de salida, y la cámara opuesta se llenará a través del colector de entrada. Esta fluida conmutación reduce el número de pulsaciones en la salida. (Nahuel & Ponce, 2014)



Figura 11. Bomba eléctrica de doble diafragma. Fuente: (PROINDESA, 2007)

5.5 Metodología GRAFCET

El GRAFCET³ es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar, teniendo en cuenta las acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

Este diagrama funcional permite describir los comportamientos del automatismo en relación a las informaciones que recibe, imponiendo un funcionamiento riguroso, evitando de esta forma las incoherencias, bloques o conflictos en el funcionamiento. En cada nivel de descripción, este diagrama puede ser modificado o corregido, sin necesidad de volver a partes ya estudiadas.

El GRAFCET se compone de un conjunto de:

- Etapas o estados a las que van asociadas acciones
- Transiciones a las que van asociadas las receptividades.
- Uniones orientadas que unen las etapas a las transiciones y las transiciones a las etapas.

5.5.1 Etapas

Una etapa se caracteriza por un comportamiento invariable en una parte o en la totalidad de la parte de mando.

En un momento determinado, y según sea la evolución del sistema:

- Una etapa puede estar activa o inactiva
- El conjunto de las etapas activas define la situación de la parte de mando.

Las etapas se representan por un cuadrado con un número en su parte superior como identificación. La entrada y salida de una etapa aparece en la

³ GRAFCET: Gráfico Funcional de Control por Etapas y Transiciones

parte superior e inferior respectivamente, de cada símbolo. El conjunto formado por el cuadrado y la extensión de las entradas y salidas constituye el símbolo completo de la etapa.

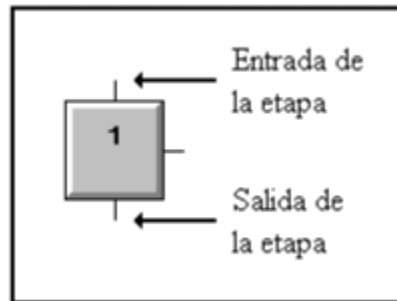


Figura 12. Símbolo de la Etapa.
Fuente: (Universidad de Oviedo, 2011)

5.5.1.1 Acciones asociadas a las etapas

Las acciones están descritas, literal o simbólicamente, en el interior de uno o varios rectángulos unidos al símbolo de la etapa a la que van asociados. Existen casos particulares de acciones asociadas como las acciones temporizadas (Fig.15) y acciones condicionadas (Fig.16).

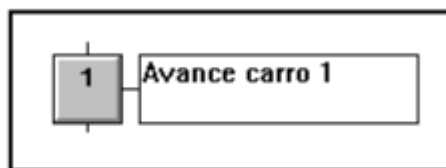


Figura 13. Acción asociada a la etapa 1 – Representación literal. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

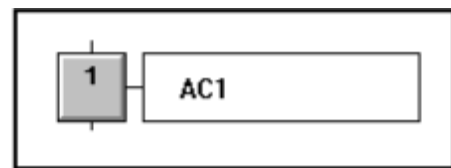


Figura 14. Acción asociada a la etapa 1- Representación simbólica. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

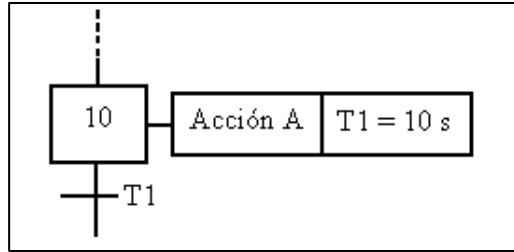


Figura 15. Acción asociada temporizada.
Fuente: (Gálvez, 2005)

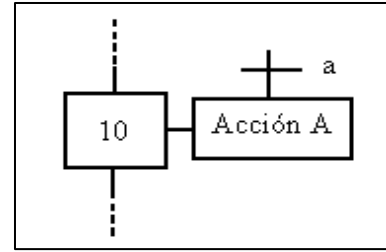


Figura 16. Acción asociada condicionada. Fuente: (Gálvez, 2005)

5.5.2 Transición

Una transición indica la posibilidad de evolución entre etapas. Esta evolución se consume al producirse el franqueo de la transición. El franqueo de una transición provoca el paso en la parte de mando de una situación a otra situación.

Una transición entre dos etapas se representa mediante una línea perpendicular a las uniones orientadas, también puede llevar una línea paralela a las uniones orientadas.

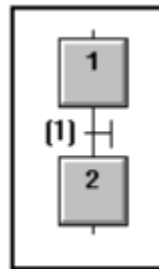


Figura 15. Transición que une la etapa 1 con la etapa 2. Fuente: (Universidad de Oviedo, 2011)

5.5.2.1 Receptividad asociada a la transición

A cada transición va asociada una proposición lógica llamada receptividad que puede ser evaluada a verdadero o falso. Entre todas las informaciones disponibles en un momento determinado, la receptividad agrupa solamente

aquellas que son necesarias para el franqueo de la transición. La receptividad es función de informaciones externas (entradas) o internas (estado de contadores, temporizadores, estados activos o inactivos de otras etapas).

Así como las etapas, la receptividad puede estar escrita literal o simbólicamente, preferentemente a la derecha del símbolo de la transición.

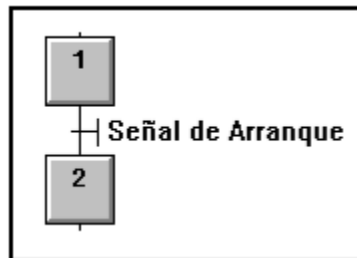


Figura 16. Representación literal de la receptividad. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

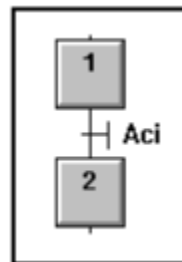


Figura 17. Representación simbólica de la receptividad. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

Cuando la receptividad está escrita en forma simbólica, una tabla debe dar la correspondencia entre cada símbolo utilizado y la información correspondiente.

5.5.3 Reglas de estructura de uso frecuente

- Divergencia en O. Se representa mediante el esquema.

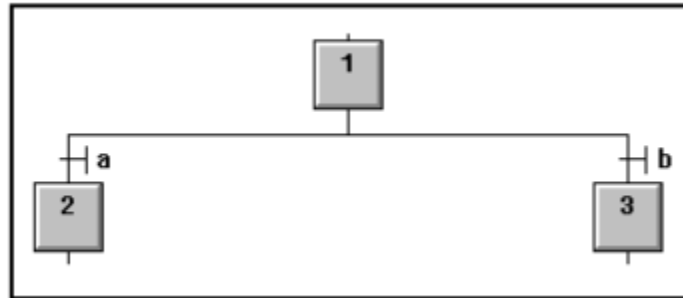


Figura 18. Divergencia en O. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

Cuando la etapa 1 está activa, según se cumpla la receptividad asociada a la transición **a** o la receptividad asociada a la transición **b**, pasará a ser activa la etapa 2 o bien la etapa 3 respectivamente.

- Convergencia en O. Se representa mediante el siguiente esquema

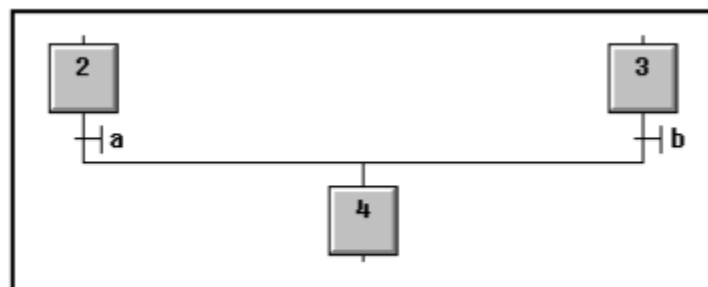


Figura 19. Convergencia en O. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

Si la etapa activa es la 2 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **a** para pasar a la etapa 4 a activa. Si la etapa activa es la 3 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **b**, para que la etapa 4 pase a estar activa.

- Divergencia en Y. Viene dada por el esquema.

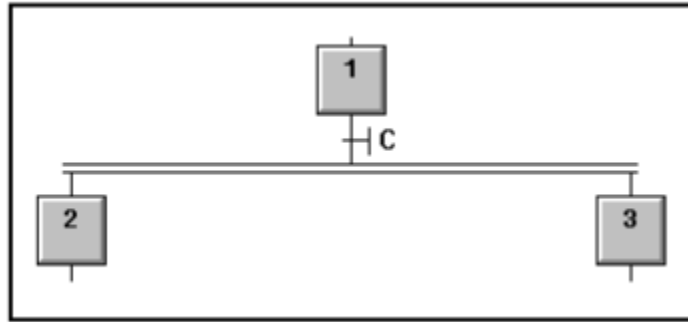


Figura 20. Divergencia en Y. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

Estando activa la etapa 1 y se si cumple la receptividad asociada a la transición **C**, pasan a estar activas las etapas 2 y 3.

- Convergencia en Y. Viene dada por el esquema.

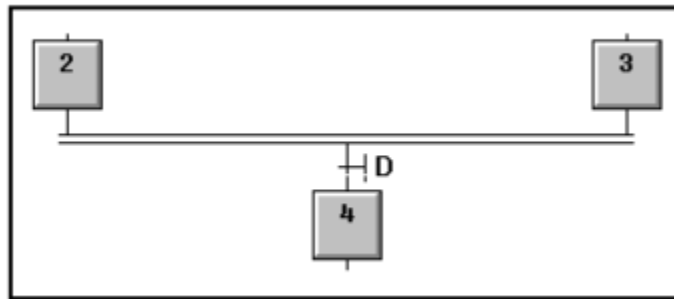


Figura 21. Convergencia en Y. **Fuente:** (Universidad de Oviedo, 2011)

Para que se active la etapa 4 deben estar activas las etapas 2 y 3 y cumplirse la receptividad asociada a la transición **D**.

5.6 Control Lógico Programable (PLC)

5.6.1 Definición

Un PLC⁴ es un dispositivo electrónico de estado sólido que puede controlar un proceso o una máquina y que tiene la capacidad de ser programado o reprogramado rápidamente según la demanda de la aplicación. Fue inventado para reemplazar los circuitos secuenciales basados en relés que eran necesarios para el control de las máquinas. El PLC funciona monitoreando sus entradas, y dependiendo de su estado, activando y desactivando sus salidas. El usuario introduce al PLC un programa, usualmente vía Software, lo que ocasiona que el PLC se comporte de la manera deseada.

5.6.2 Funciones de un PLC

Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios pre programados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

⁴ PLC: Controlador Lógico programable

5.6.3 Características sobresalientes de los PLCs.

- **Programación de la lógica de control**

Esto permite la fácil adaptación a los cambios en la lógica de operación de las máquinas y procesos.

- **Poseen memoria volátil y no volátil**

Tanto el programa de aplicación escrito por el usuario como los datos internos del PLCs, normalmente es guardado en una RAM⁵ (memoria volátil), lo que le permite tener un acceso más veloz a las instrucciones de programa y a los datos internos de registros, contadores, temporizadores, bits internos, etc. También, una vez que se ha depurado el programa de aplicación, los PLCs permiten la opción de salvaguardar el programa en memorias tipo EEPROM⁶ (no volátiles) para así recuperar el mismo en caso de un corte muy prolongado de energía que ocasiona una pérdida de datos de la RAM.

- **Auto diagnóstico de fallas**

El PLC monitorea el funcionamiento de su CPU, Memoria y circuito de interfaces de entrada y de salida, e igualmente monitorea el correcto funcionamiento del programa de aplicación. En ambos casos señala por medio de LEDs en su cara frontal el estado respectivo. Obviamente esta capacidad es de gran utilidad para efectos de mantenimiento y corrección de fallas.

⁵ RAM: Memoria de acceso aleatorio

⁶ EEPROM: Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente

- **Capacidad para generar reportes y comunicarse con otros sistemas**

Con esta facilidad se pueden integrar interfaces de explotación Hombre-Máquina, sacándole al sistema mayor cantidad de información. Igualmente, los PLCs pueden participar en redes de datos comunicándose con otros PLCs para formar sistemas de control distribuidos, o integrándose a las redes administrativas de la producción. (Prieto, 2007)

5.6.4 Clasificación de los PLC

5.6.4.1 PLC nano

Generalmente es un PLC de tipo compacto (es decir, que integra la fuente de alimentación, el CPU y las entradas y salidas) que puede manejar un conjunto reducido de entradas y salidas, generalmente en un número inferior a 100. Este PLC permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.



Figura 22. PLC nano, marca SIEMENS. Fuente: (Indiamart, 2015)

5.6.4.2 PLC compacto

Estos PLC tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos (alrededor de 500 entradas y salidas), y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- Entradas y salidas análogas
- Módulos contadores rápidos
- Módulos de comunicaciones
- Interfaces de operador



Figura 23. PLC compacto, marca PIXSYS. **Fuente:** (Indiamart, 2015)

5.6.4.3 PLC modular

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final. Estos son:

- El Rack
- La fuente de alimentación
- La CPU
- Los módulos de entrada y salida

De estos tipos de PLC existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de entradas y salida, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de entradas y salidas. (INATEC, 2008)



Figura 24. PLC modular, marca SIEMENS. Fuente: (Indiamart, 2015)

5.6.5 Ventajas de los PLCs sobre la lógica a relés

PLCs	Relés
Flexibilidad de configuración y programación.	Costosos cambios de hardware
Rápidos cambios de la lógica de control.	Mayor tiempo de cambios en la lógica de control
Amplia variedad de funciones: Relés, Contadores, Temp., Secuenciadores, Registros, etc.	Pocas funciones: Relés, Contadores, Temporizadores.
Reducción de espacio	Mayor espacio relativo
Montaje fácil y rápido	Montaje lento y tedioso
Localización fácil y rápida de averías y fallas	Búsqueda lenta y más difícil de averías
Alta confiabilidad. Elementos de estado sólido	Poca confiabilidad. Partes mecánicas
Múltiples contactos NO, NC	Máximo de 4 a 6 contactos
Consumo de energía reducido	Mayor consumo de energía

Reducción del costo a medida que aumenta la complejidad del proceso	A partir de 15 o 20 relés, el costo comparativo supera el costo con PLCs
---	--

Tabla 3. Comparación entre PLCs y Relés. **Fuente:** (Boscán Añez, 2010)

5.6.6 Unidades funcionales de un PLC

Un controlador lógico programable se compone de cuatro unidades funcionales:

- La unidad de entradas
- La unidad de salidas
- La unidad lógica
- La unidad de memoria

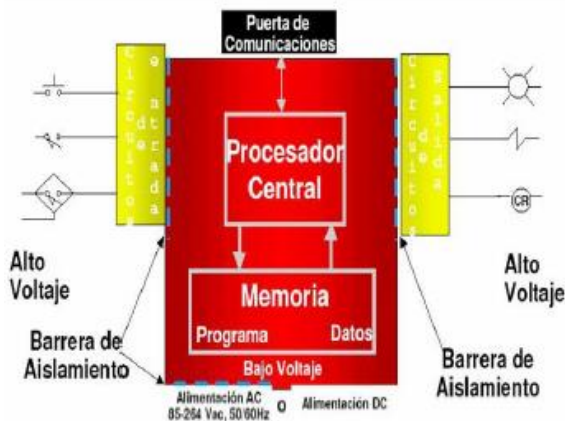


Figura 25. Diagrama interno del PLC. **Fuente:** (Prieto, 2007)

5.6.6.1 Unidad de entradas

La unidad de entradas proporciona el aislamiento eléctrico necesario del entorno y adecua voltaje de las señales eléctricas que recibe el PLC que

proviene de los interruptores de los contactos. Las señales se ajustan a los niveles de voltaje que marca la Unidad Lógica.

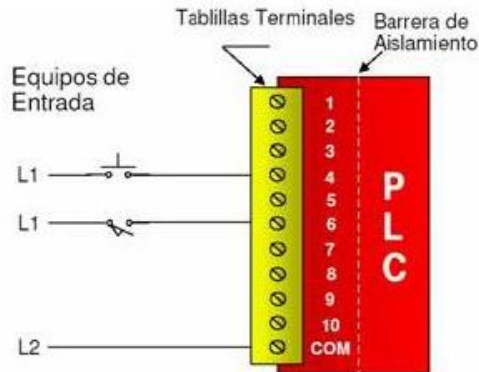


Figura 26. Esquema de entradas del PLC. **Fuente:** (Prieto, 2007)

5.6.6.2 Unidad de salidas

Esta unidad acepta las señales lógicas provenientes de la Unidad Lógica y proporciona el aislamiento eléctrico a los interruptores de contactos que se conectan con el entorno.

Las unidades de entrada / salida del PLC son funcionalmente iguales a los bancos de relés, que se empleaban en los antiguos controladores lógicos de tipo tambor. La diferencia radica en que las unidades de entrada / salida de los PLC son de estado sólido.

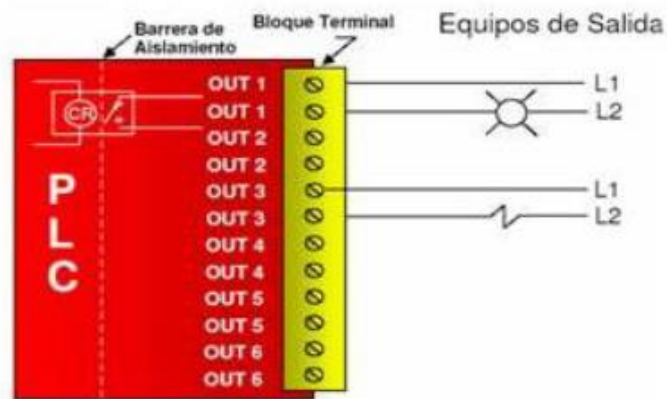


Figura 27. Esquema de salidas del PLC. **Fuente:** (Prieto, 2007)

5.6.6.3 Memoria

La memoria almacena el código de mensajes o instrucciones que tiene que ejecutar la unidad lógica del PLC.

Memoria ROM: Es la memoria de sólo lectura (Read Only Memory). Es un tipo de memoria no volátil, que puede ser leída pero no escrita, es decir, está pregrabada. Se utiliza para almacenar los programas permanentes que coordinan y administran los recursos del equipo y los datos necesarios para ejecutar la operación de un sistema basado en microprocesadores.

Memoria RAM: Esta memoria es volátil y puede ser leída y escrita según se desarrolle la aplicación. Durante la ejecución del proceso se puede acceder en cualquier momento a cualquier posición de la memoria.

5.6.7 Administración de entradas y salidas de un PLC

El montaje de los diversos módulos del PLC se realiza en slots o espacios preparados en racks o armarios. Los módulos básicos del PLC son:

- Fuente de alimentación
- CPU
- Interfaces de entrada y salida

Otros módulos existentes son:

- Módulos de interfaz hombre-máquina (teclado, monitores, etc.)
- Módulos de almacenamiento de información.

5.6.8 Puntos de entrada y salida

Los puntos de entrada y salida del PLC son las entradas y salidas físicas que éste puede manejar. Cada punto tiene su representación interna en la memoria del PLC, en la que se utilizan números para identificarlos.

Por lo general los módulos de entrada y salida vienen configurados en grupos de 8 puntos y pueden llegar hasta 1024, ampliables a más. Los puntos de entrada son designados como X0, X1, X2, X3..., mientras que los puntos de salida se identifican como Y0, Y1, Y2, Y3... (Prieto, 2007)

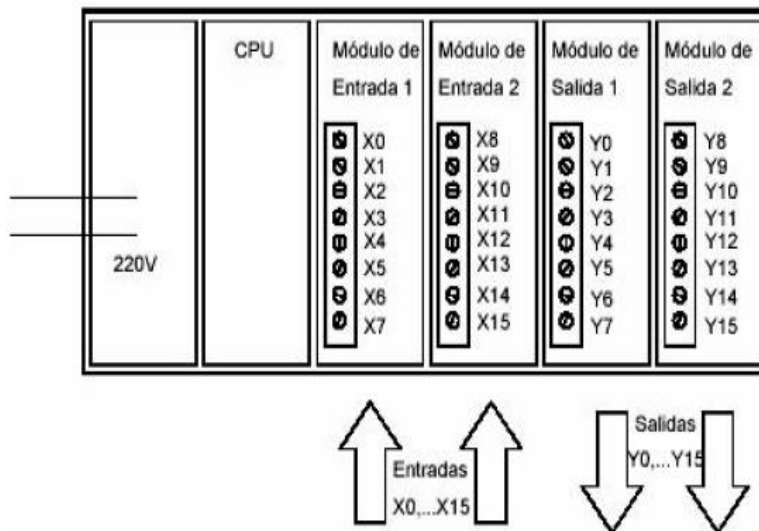


Figura 28. Configuración básica de un PLC de 16 entradas y 16 salidas.
Fuente: (Prieto, 2007)

5.6.9 Diagrama de conexiones de un PLC

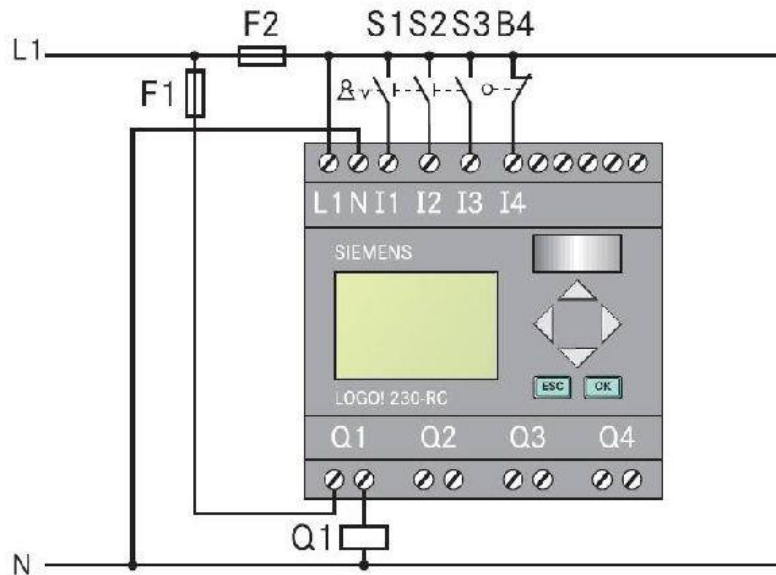


Figura 29. Diagrama de conexiones de un PLC. **Fuente:** (Areatecnologia, 2013)

5.6.10 Lenguajes de programación para PLC

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como puede ser un ordenador. En el caso de los PLCs, los lenguajes de programación sirven como canal de comunicación entre el sistema operativo que interpreta el lenguaje, y el usuario que tiene acceso a la configuración del programa. La finalidad es crear instrucciones secuenciales (comandos) que el CPU del PLC traduce en salidas digitales que energizan y controlan máquinas específicas o procesos complejos.

Estos lenguajes surgieron junto al mismo tiempo que la aparición del primer PLC, en 1968. Así se explica porque no se utilizaron para este fin lenguajes de programación de alto nivel como Pascal y C y, en su lugar, se emplearon otros lenguajes más simples y fáciles de entender.

Fue la tercera parte del estándar IEC 61131, el que consideró estos lenguajes para la programación de los PLCs. Este estándar se ha designado como IEC 61131-3 aunque solía ser designado como IEC 1131, antes de que el sistema de numeración cambiase por la comisión internacional electrotécnica. De este modo se definieron los siguientes cinco lenguajes:

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC) – un lenguaje de bloques de funciones secuenciales.
- Texto Estructurado (ST) – un lenguaje del tipo de texto estructurado (similar a C y, sobre todo a Pascal).
- Lista de instrucciones (IL o STL) – lenguaje de tipo ensamblador con uso de acumuladores.
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) – un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales.
- Diagramas de Tipo Escalera (LAD) – un lenguaje de diagramas de relés (denominado de tipo escalera).

Pero los que más utilizan a nivel industrial son: El diagrama de bloques de funciones y el diagrama de tipo escalera, a estos se le conocen como “Lenguajes de alto nivel”, ya que son muy aptos para el control de procesos grandes.

5.6.10.1 Lenguaje de Bloque de Funciones (FUP)

Este lenguaje de programación es de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente, tanto expresiones como en lógica booleana. FUP proviene del campo del procesamiento de la señal y su utilización es conveniente cuando no hay ciclos, pero existen, sin embargo, varias ramas en el programa a crear. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite resumir funciones básicas en bloques de modo que el usuario solo se preocupa por

una programación funcional de su rutina. De este modo, es ideal para usuarios que no tengan habilidades avanzadas en programación.

Actualmente es un lenguaje muy popular y muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa.

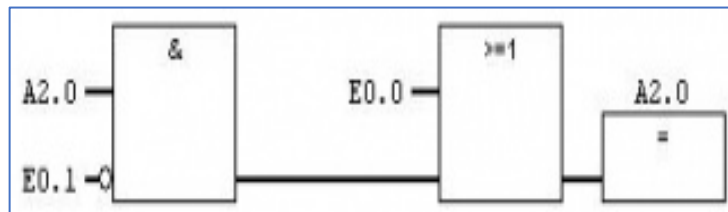


Figura 30. Ejemplo del lenguaje FUP del STEP 7. **Fuente:** (DIEEC, 2011)

5.6.10.2 Diagrama de Tipo Escalera o Ladder (KOP)

Este lenguaje de programación es también de tipo gráfico, que pueden soportar casi todos los PLCs. Se trata de una conexión gráfica entre variables de tipo Booleano, comparable a los antiguos controladores de tipo relé, donde se representa el flujo de energía en diagramas de circuitos eléctricos. Así, este lenguaje de programación se utiliza para la mayoría de las señales Booleanas y prácticamente no se utiliza para trabajar con variables analógicas.

Dentro de sus características principales se encuentra el uso de barras de alimentación y elementos de enlace y estados (ej. flujo de energía); la posibilidad de utilizar contactos, bobinas y bloques funcionales; así como de evaluar las redes en orden, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en la industria debido a su simplicidad, soportado, disponibilidad y legado.

La estructura es simple, los denominados buses o relés rodean una red LD por la izquierda y por la derecha. Para el bus de la izquierda, suministrado con la señal lógica "1", "la energía" llega a todos los elementos conectados. Dependiendo de su condición, los elementos dejan ir la energía hasta los siguientes elementos o interrumpen el flujo. (DIEEC, 2011)

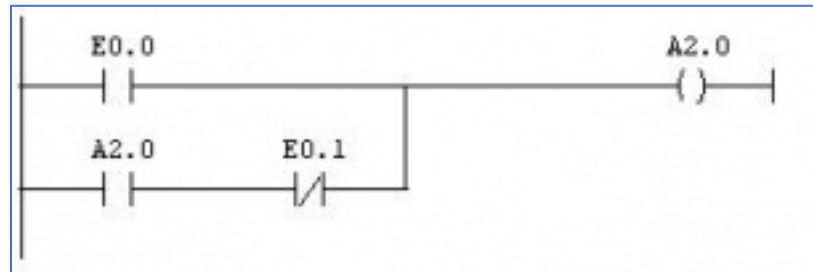


Figura 31. Ejemplo del lenguaje KOP del STEP 7. Fuente: (DIEEC, 2011)

6. Metodología de Trabajo

La creación del programa se realiza en el software Simatic STEP-7 del fabricante SIEMENS. Para dicha programación, se tiene en cuenta la asignación de entradas, marcas y salidas en PLC para el control del proceso, y las condiciones de entrada y salida del proceso, pues estos son elementos importantes para el control de cualquier sistema, en este caso “La elaboración de barniz”.

Pero diseñar un sistema automatizado en el software mencionado no es tan simple como parece, sino todo lo contrario, se necesita la ayuda de investigaciones complejas, fuentes primarias y secundarias de información, las cuales se presentan más detalles en la siguiente sección 6.1.

6.1 Métodos utilizados para cumplir los objetivos específicos de la investigación

En esta sección se describirá para cada objetivo específico los métodos a emplear para recopilar datos y obtener información suficiente para presentar resultados que demuestren el cumplimiento de cada objetivo.

- Elaborar diagramas de control a través del programa CADESIMU con el fin de establecer y describir cada una de las etapas del proceso.

Se hará el uso de un diagrama GRAFCET y de un circuito electromecánico basado en relés, ambos mediante el software CADESIMU para describir los sucesivos comportamientos del sistema automatizado. Además, se realizará un diagrama de conexiones con el modelo de PLC seleccionado. Es importante destacar que con el propósito de pulir el conocimiento que se posee acerca de este tipo de gráficos, se utilizarán manuales y video tutoriales que se encuentran en el internet.

- Encontrar la operación en conjunto óptima de los subsistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos involucrados en el proceso con el fin de obtener una correcta producción de la mezcla.

Para poder encontrar esta **operación óptima** mencionada en este objetivo se utilizarán libros, monografías y documentos para estudiar y comprender los sistemas productivos y el comportamiento de los subsistemas y elementos que los conforman.

- Realizar un programa utilizando Simatic STEP-7 para simular el funcionamiento del sistema a diseñar.

Para cumplir este objetivo se utilizará un documento (fuente secundaria de información) escrito por miembros del Instituto Nacional Tecnológico (INATEC), dicho documento con nombre "Manual para el participante del curso Sistema de control lógico programable-LOGO "contiene información para el uso adecuado de este software. Además, se hará el uso de video tutoriales.

7. Descripción del proyecto de automatización

Se pretende realizar un automatismo que permita la elaboración de barniz de manera en la que el hombre se involucre lo menos posible. Para ello se recomienda utilizar el siguiente diagrama de flujo:

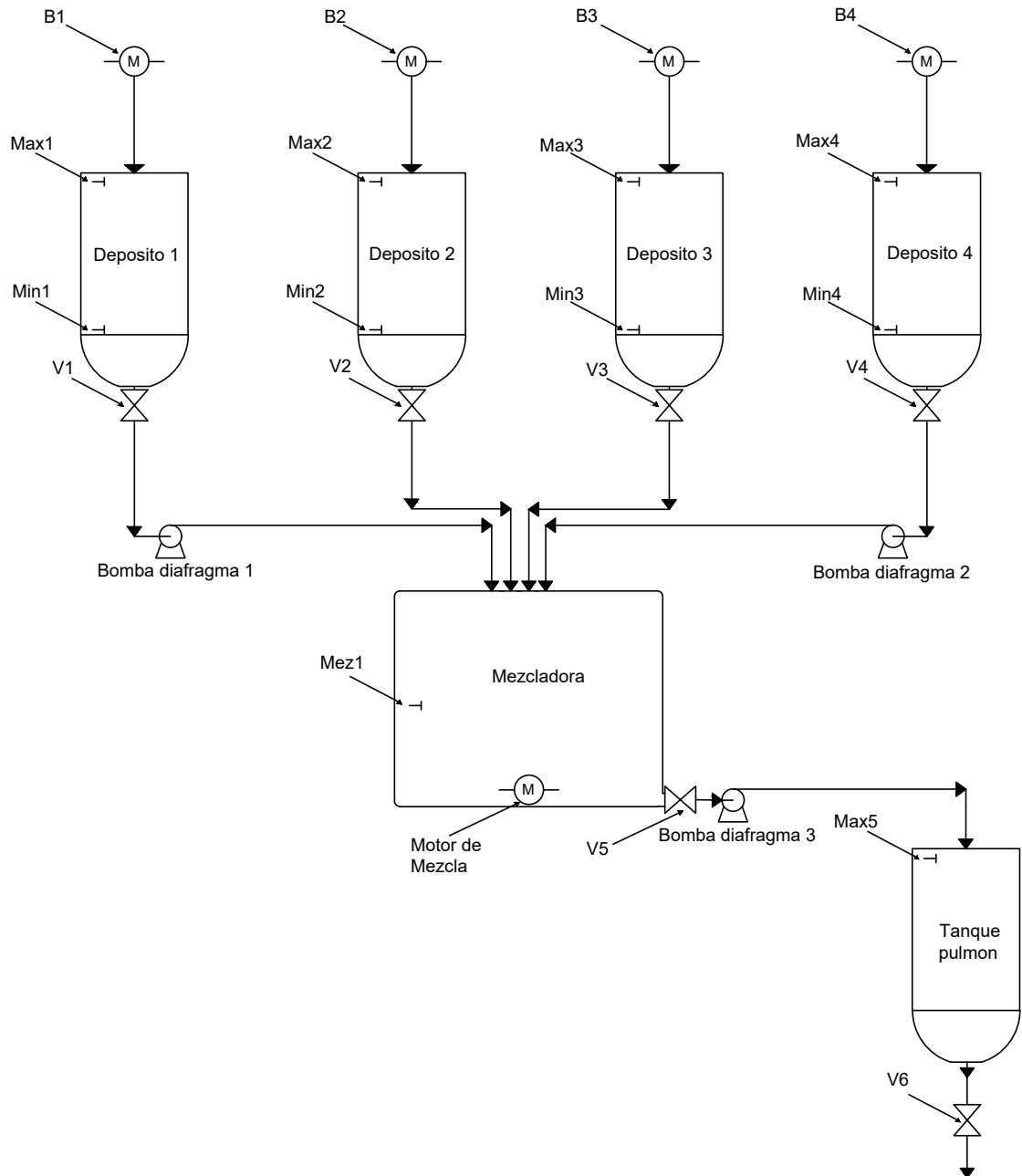


Diagrama 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de barniz. **Fuente:** Elaboración propia

7.1.1 Componentes

Se dispone de los siguientes componentes:

- Los primeros 4 depósitos que contienen los insumos del barniz (Resina – A, Solvente – B, Antinata – C y Resina – D) llevan asociados cada uno, 1 sensor capacitivo de nivel máximo MAX 1, MAX2, MAX3 y MAX4 y de nivel mínimo MIN 1, MIN 2, MIN3, y MIN4. Asimismo, constan de 4 bombas accionadas por motores eléctricos que permiten realizar el llenado y las electroválvulas monoestables V1, V2, V3, V4 se encargan del vaciado.
- El quinto depósito llamado “Tanque dispersor” dispone de un agitador motorizado trifásico, además de un sensor capacitivo normalmente abierto MEZ1. La aportación de las sustancias A, B, C, D se realiza a través de las válvulas V1, V2, V3, V4 y a través de la válvula V5 se efectúa el vaciado al tanque pulmón. Se debe mencionar que las válvulas V1, V4 y V5 trabajan simultáneamente con bombas de diafragma eléctrica que otorgan un impulso al desplazamiento a las sustancias en los tramos horizontales. No se considera necesario utilizar estas bombas para el transporte del solvente y las antinata (V2 y V3) porque no son sustancias viscosas como la resina y el barniz, además estas últimas tienen los tramos más largos.
- El sexto depósito se trata del tanque pulmón, el cual es una estructura generalmente de forma cilíndrica que se usará para almacenar el barniz a una presión determinada. Este consta de un sensor capacitivo de nivel máximo MAX5, un interruptor S2 y una válvula V6.

- Los elementos de mando y señalización son:
 - Pulsadores: Marcha, Paro.
 - Interruptor: Vaciado de Tanque Pulmón.
 - Lámparas: Luz Piloto de sobrecalentamiento.

7.1.2 Funcionamiento

7.1.2.1 Acondicionamiento de las sustancias A, B, C y D

El ciclo comienza con el llenado de los depósitos de los insumos a través de las bombas. Las secuencias son:

- Al presionar el push button de arranque S1, las bombas comienzan a introducir la resina al depósito 1 y 4, el solvente al depósito 2 y las antinatas al depósito 3, cuando se alcance el nivel máximo MAX1, MAX2, MAX3, MAX4 las bombas B1, B2, B3, B4 deben cerrarse. Con la señal de los sensores MAX1 y MAX2, comienza la etapa de vaciado de la resina y el solvente al tanque dispersor a través de la válvula V1 junto con la Bomba de diafragma BD1 y la válvula V2.

7.1.3 Mezcla y almacenamiento de las sustancias

La mezcla entre las sustancias se produce de la siguiente manera:

- El vaciado de los 2 primeros depósitos termina cuando los sensores MIN1 y MIN2 manden una señal que cierre sus respectivas válvulas V1 y V2. Una vez vaciadas estas sustancias, se activa el sensor capacitivo MEZ1 que manda una señal para accionar M1, iniciado así la mezcla.
- Esta misma señal del sensor MEZ1 activará simultáneamente 3 temporizadores: t1-el cual es tiempo que se mantendrá activado el motor, t2- es el tiempo después del cual se debe encender la válvula

V3 y finalmente t3- que se refiere al tiempo después del cual se debe activar la válvula V4 y la bomba de diafragma BD2

- La válvula V3 que se encarga del vaciado de la antinata a la mezcla, se desactiva con la señal del sensor MIN3.
- La válvula V4 del depósito 4 que permite el vaciado de resina a la mezcla se cierra con la señal del sensor MIN4.
- Una vez que finalice t1, el motor se apaga y se activa la válvula V5 junto con la bomba diafragma BD3 para trasladar la mezcla al tanque pulmón y la válvula se cierra al activarse el sensor MAX5.
- El vaciado del tanque pulmón se realizará manualmente a través de una válvula V6 al presionar un interruptor S2.








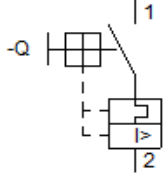
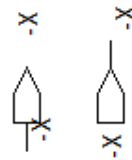
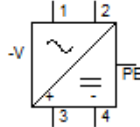
7.1.4 Paro de emergencia

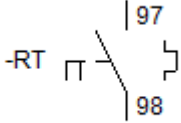
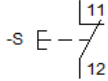
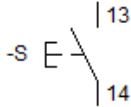
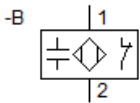
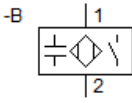

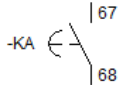
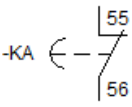
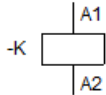
El paro de emergencia sucede si se presiona el botón de paro o si se dispara el relé térmico por algún sobrecalentamiento.

7.1.5 Circuito Electromecánico

A pesar que esta tesis no tiene como objetivo elaborar un sistema de control basado en relés, se optó por elaborar un diagrama electromecánico ya que es importante siempre tener en cuenta este tipo de circuitos cuando se utiliza un agente autómatas, ya que permite una mayor comprensión del comportamiento eléctrico y mecánico de cada uno de los elementos que conforman el proceso.

Antes de presentar el circuito, se debe tener en cuenta la siguiente simbología:

Símbolo	Descripción
	Alimentación AC
	Alimentación DC
	Cable fase
	Cable Neutro
	Cable de tierra
	Cable positivo
	Cable Negativo
	Disyuntor termomagnético
	Conexión de entrada y de salida
	Fuente de Poder

	<p>Contactor normalmente abierto del relé térmico</p>
	<p>Pulsador normalmente cerrado</p>
	<p>Pulsador normalmente abierto</p>
	<p>Sensor capacitivo normalmente cerrado</p>
	<p>Sensor capacitivo normalmente abierto</p>
	<p>Contacto normalmente abierto del Contactor o del pulsador normalmente abierto</p>
	<p>Contacto normalmente abierto del temporizador con retardo a la conexión</p>
	<p>Contacto normalmente cerrado del temporizador con retardo a la conexión</p>
	<p>Bobina del Contactor</p>

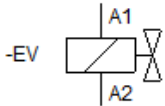
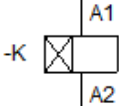
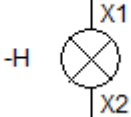
	<p>Bobina de la electroválvula</p>
	<p>Temporizador con retardo a la conexión</p>
	<p>Luz piloto de señalización del relé térmico</p>

Tabla 4. Simbología de CADESIMU. **Fuente:** Elaboración propia

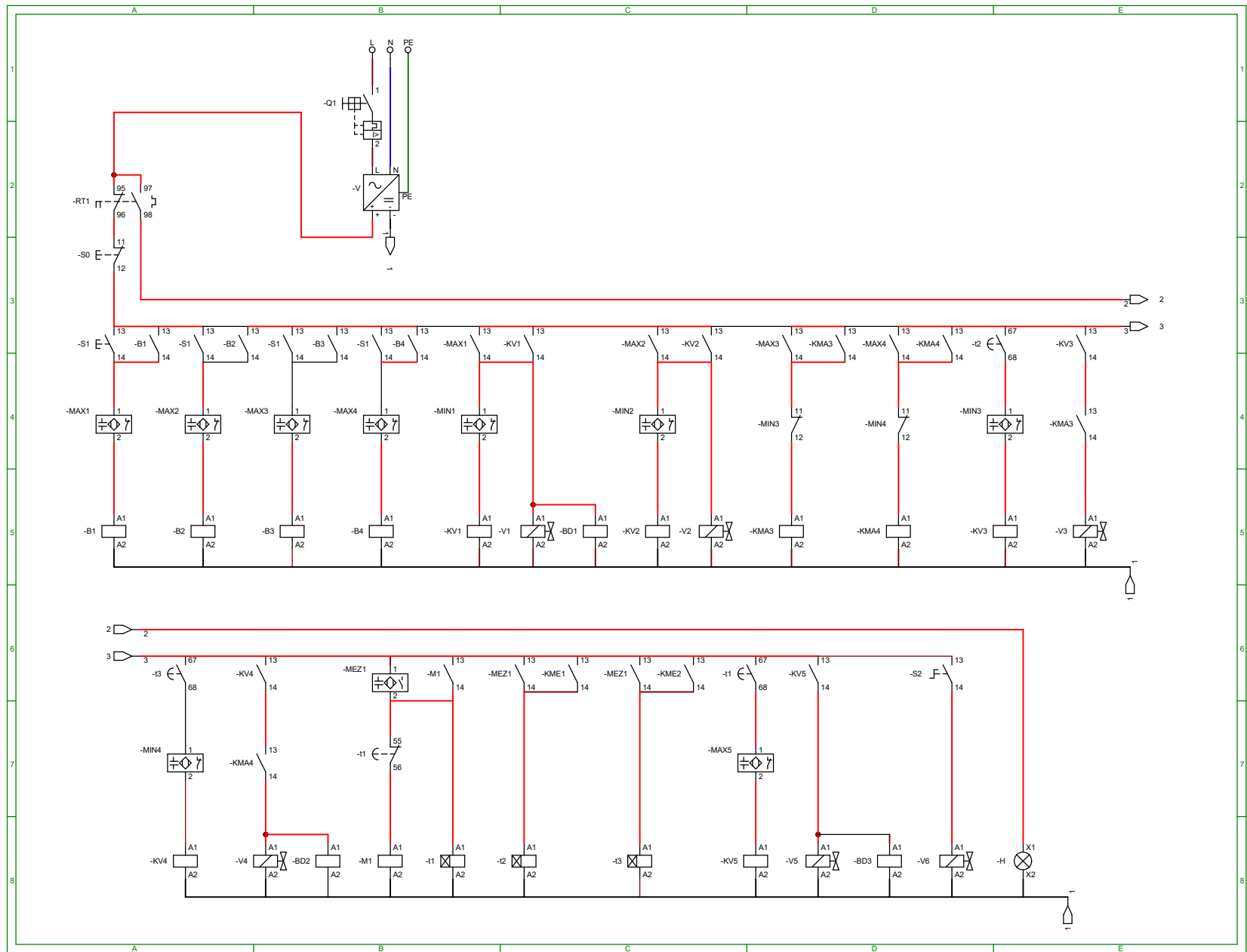


Diagrama 2. Circuito electromecánico del proceso de producción de barniz. Fuente: Elaboración propia

7.1.6 Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones (GRAFCET)

Antes de comenzar con la automatización del proceso en el programa SIMATIC STEP 7, se decidió realizar un gráfico GRAFCET a través de la herramienta digital CADESIMU para seccionar cada una de las etapas y transiciones del proceso, a partir de este diagrama se pueden determinar las entradas, salidas y condiciones de activación de las etapas que dan pauta a la programación en el lenguaje FUP o KOP.

A continuación, se determinan las receptividades asociadas a las transiciones y las acciones asociadas a las etapas.

Las receptividades asociadas las transiciones son:

- S1 – Pulsador de arranque
- S0 – Pulsador de paro
- RT – Contacto del relé térmico
- S2 – Interruptor de la válvula del tanque pulmón
- MAX1 – Sensor capacitivo de nivel máximo del depósito 1
- MAX2 – Sensor capacitivo de nivel máximo del depósito 2
- MAX3 – Sensor capacitivo de nivel máximo del depósito 3
- MAX4 – Sensor capacitivo de nivel máximo del depósito 4
- MIN1 – Sensor capacitivo de nivel mínimo del depósito 1
- MIN2 – Sensor capacitivo de nivel mínimo del depósito 2
- MIN3 – Sensor capacitivo de nivel mínimo del depósito 3
- MIN 4 – Sensor capacitivo de nivel mínimo del depósito 4
- MAX5 – Sensor capacitivo de nivel máximo del tanque pulmón
- MEZ1 – Sensor capacitivo del tanque dispersor
- t2 – Tiempo después del cual se debe activar la acción V3
- t3 – Tiempo después del cual se debe activar la acción V4 y BD2.

Las acciones asociadas a las etapas son:

- Etapa inicial o de paro del proceso
- B1 – Bomba del depósito 1 (Resina)
- B2 – Bomba del depósito 2 (Solvente)
- B3 – Bomba del depósito 3 (Antinata)
- B4 – Bomba del depósito 4 (Resina)
- V1 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado de la resina al tanque dispersor
- BD1 – Bomba de diafragma eléctrica para el traslado de la resina desde el depósito 1 al tanque dispersor
- V2 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado del solvente al tanque dispersor
- V3 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado de la antinata al tanque dispersor
- V4 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado de más resina al tanque dispersor
- BD2 – Bomba de diafragma eléctrica para el traslado de la resina desde el depósito 4 al tanque dispersor
- V5 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado del tanque dispersor
- BD3 – Bomba de diafragma eléctrica para el traslado del barniz al tanque pulmón
- V6 – Válvula eléctrica monoestable para el vaciado del tanque pulmón
- M1 – Motor del tanque dispersor
- H – Luz piloto de señalización del relé térmico

Una vez determinadas las etapas y transiciones, se pasa a elaborar el diagrama. En la página 63 se muestra el GRAFCET para este proceso, en el cual se deben destacar ciertos puntos importantes:

- Para la etapa del llenado de los depósitos de los insumos, se utilizó una divergencia tipo Y, ya que las bombas se deben accionar simultáneamente.
- Se utilizó una convergencia tipo O para avanzar al primer mezclado del proceso, debido que dicha etapa solo dependerá de dos transiciones: MIN 1 negado y MIN2 negado.
- En la sección del proceso que pertenece a la mezcla de las sustancias, se utilizó una divergencia Y para el inicio y una convergencia tipo Y para el final debido a no será posible avanzar a la etapa 16 sin que las etapas 9, 11 y 14 hayan finalizado.
- En este sistema existen 3 acciones temporizadas, una de ellas se trata de una temporización a la desconexión correspondiente a la etapa 9, y las otras 2 son temporizaciones a la conexión que corresponden a las transiciones t2 y t3.
- Se añadieron 3 etapas (8, 12 y 15) que no tiene acciones asociadas con el fin de trazarle un camino deseado al proceso.
- La etapa 1 posee 2 acciones asociadas, la denominada "H" es la luz piloto que se activará si se cumple la transición RT. Igualmente sucede con la etapa 17, ya que, aunque se cumpla la transición negada MAX5, la etapa únicamente se activará si se ejecuta S2. Este tipo de comportamiento se conoce como "Acciones condicionadas"
- Por último, se puede observar que se colocó una divergencia tipo O en todas las etapas del diagrama, esta se trata del paro de emergencia que se activará en cualquier momento del proceso si se llegase a presionar el pulsador de paro o si se dispara el relé térmico.

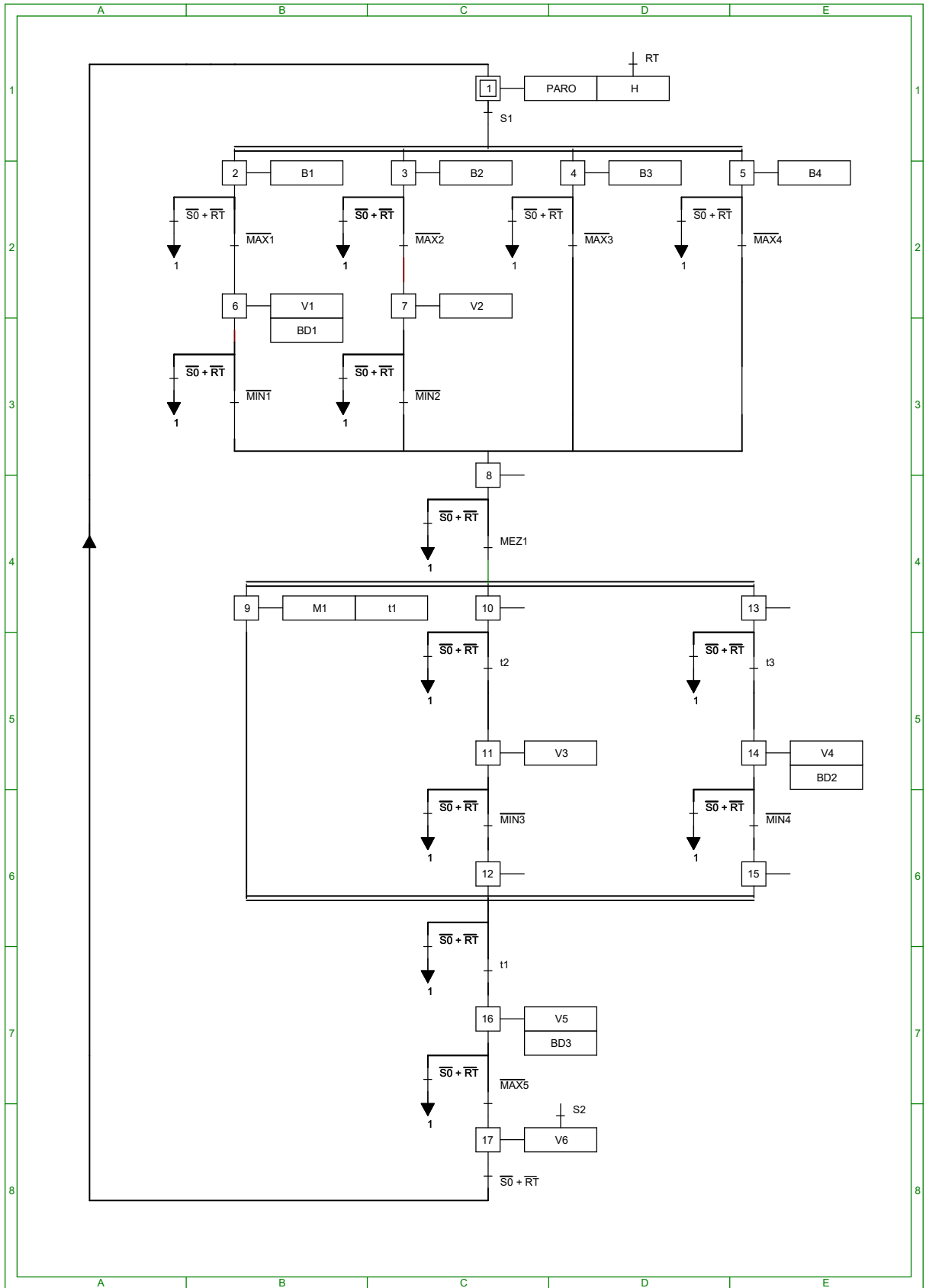


Diagrama 3. Diagrama GRAFCET. Fuente: Elaboración propia

7.1.7 Diagrama de conexiones del PLC S7-1200

Para el siguiente diagrama de conexiones encontrado en la página 67, se tomó como referencia el modelo CPU 1214 C AC/DC/RLY y para el módulo de expansión se utilizó el modelo SM 1223 DC/DC con 8 DI/DO.

A continuación, se presentan imágenes de los modelos:






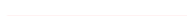

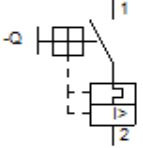
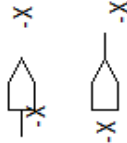
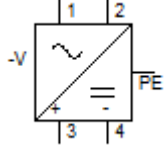


Figura 34. CPU 1214 C AC/DC/RLY. Fuente: (SIEMENS, 2010)



Figura 35. SM 1223 DC/DC. Fuente: (SIEMENS, 2010)

7.1.7.1 Simbología para el diagrama de conexiones con el PLC S7 -1200

Símbolo	Descripción
	Alimentación AC
	Alimentación DC
	Cable fase
	Cable Neutro
	Cable de tierra
	Cable positivo
	Cable Negativo
	Disyuntor termomagnético
	Conexión de entrada y de salida
	Fuente de Poder

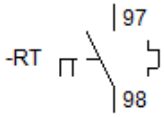
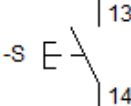
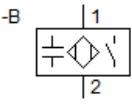
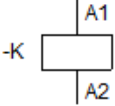
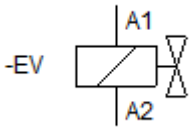
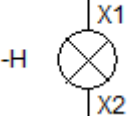
	<p>Contactor normalmente abierto del relé térmico</p>
	<p>Pulsador normalmente abierto</p>
	<p>Sensor capacitivo normalmente abierto</p>
	<p>Bobina del Contactor</p>
	<p>Bobina de la electroválvula</p>
	<p>Luz piloto de señalización del relé térmico</p>

Tabla 5. Simbología de CADESIMU para el diagrama de conexiones con el PLC.

Fuente: Elaboración propia

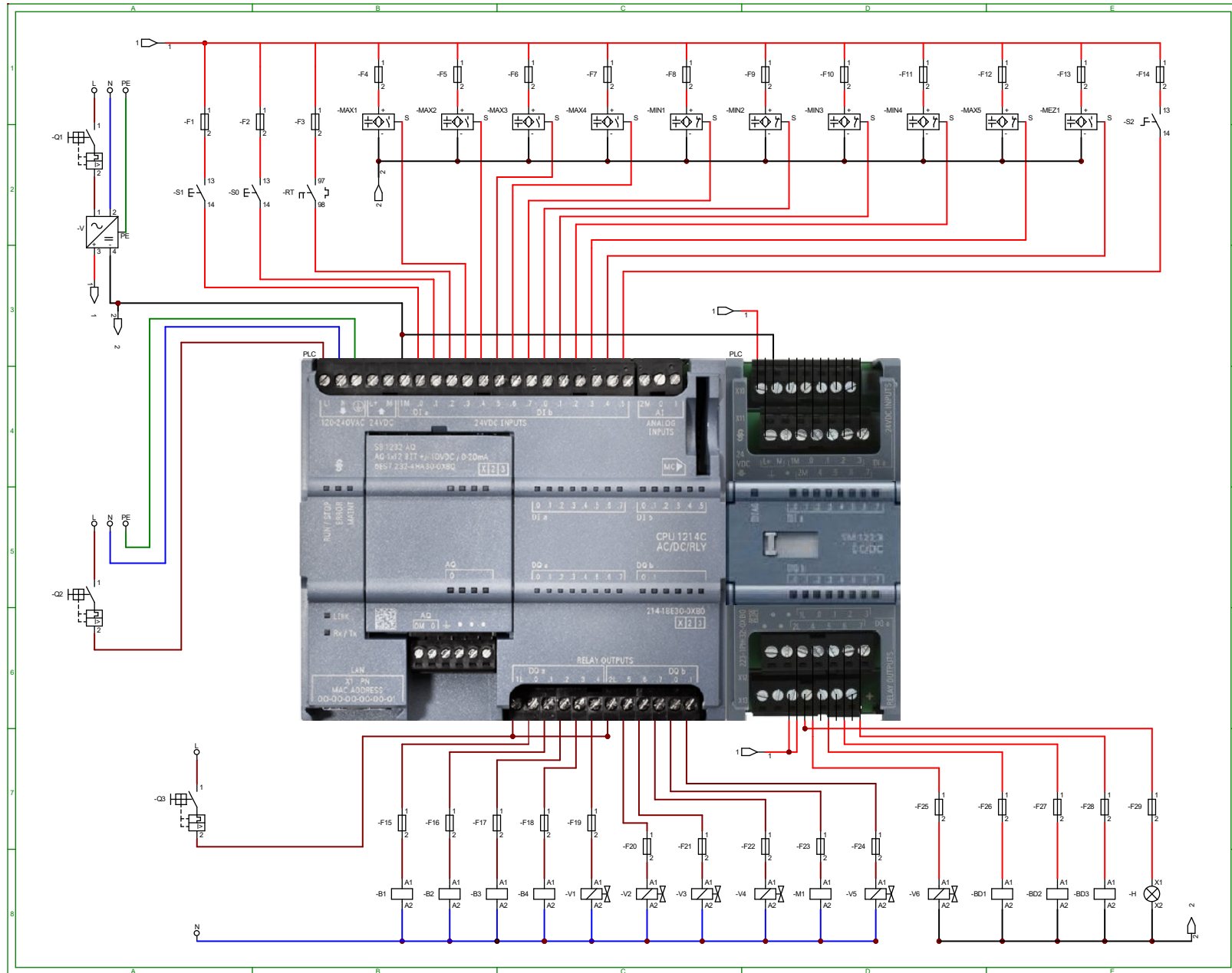


Diagrama 4. Diagrama de conexiones con el PLC CPU 1214 C AC/DC/RLY y el módulo DI/DO SM 1223 DC. Fuente: Elaboración propia

7.1.8 Programación en Simatic Step-7

La programación para este proceso se hará en el lenguaje KOP ya que este posee una mayor relación con los esquemas eléctricos de automatización basados en relés, ergo produce una mejor comprensión para un ingeniero eléctrico.

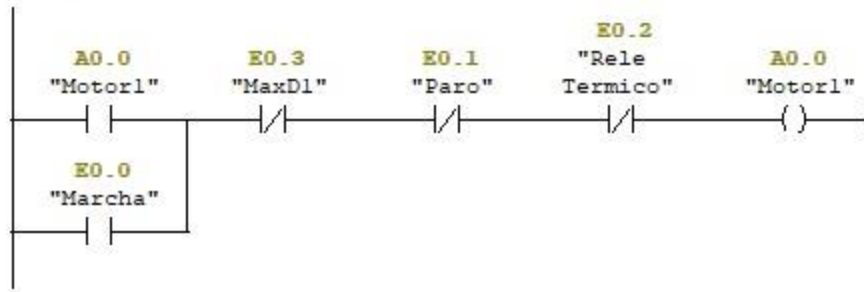
Para iniciar a escribir el código en la interfaz del programa se debe declarar las variables que van a intervenir en el proceso a través de una tabla de símbolos como la siguiente:

	Estado	Símbolo /	Dirección	Tipo de dato	Comentario
1		Autoenclavador1	E 1.6	BOOL	
2		Autoenclavador2	E 1.7	BOOL	
3		Autoenclavador3	E 2.0	BOOL	
4		Bomba diafragma1	A 0.4	BOOL	
5		Bomba diafragma2	A 1.1	BOOL	
6		Bomba diafragma3	A 1.4	BOOL	
7		Electrovalvula de Mezc	A 1.3	BOOL	
8		ElectrovalvulaD1	A 0.5	BOOL	
9		ElectrovalvulaD2	A 0.6	BOOL	
10		ElectrovalvulaD3	A 0.7	BOOL	
11		ElectrovalvulaD4	A 1.0	BOOL	
12		Marcha	E 0.0	BOOL	
13		Max Tanque Pulmon	E 1.4	BOOL	
14		MaxD1	E 0.3	BOOL	
15		MaxD2	E 0.4	BOOL	
16		MaxD3	E 0.5	BOOL	
17		MaxD4	E 0.6	BOOL	
18		MinD1	E 0.7	BOOL	
19		MinD2	E 1.0	BOOL	
20		MinD3	E 1.1	BOOL	
21		MinD4	E 1.2	BOOL	
22		Motor de Mezcladora	A 1.2	BOOL	
23		Motor1	A 0.0	BOOL	
24		Motor2	A 0.1	BOOL	
25		Motor3	A 0.2	BOOL	
26		Motor4	A 0.3	BOOL	
27		Paro	E 0.1	BOOL	
28		Pulsador Abrir tanqueP	E 1.5	BOOL	
29		Rele Termico	E 0.2	BOOL	
30		Sensor Medio	E 1.3	BOOL	
31		Valvula de tanque pu...	A 1.5	BOOL	
32					

Tabla 6. Tabla de símbolos del programa. **Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se detalla paso a paso la programación:

☐ Segm. 1 : Título:



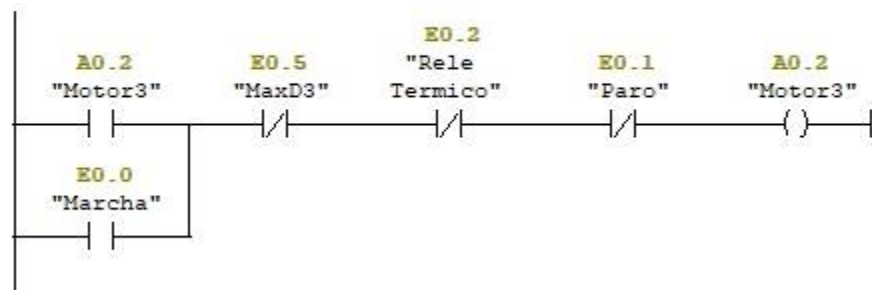
Segmento 1. La bomba (Motor1) del depósito 1 entra en funcionamiento cuando se acciona el pulsador N/A “Marcha”, el funcionamiento de la bomba se interrumpe cuando se active “MaxD1”, “Paro” o “Relé Térmico”.

☐ Segm. 2 : Título:



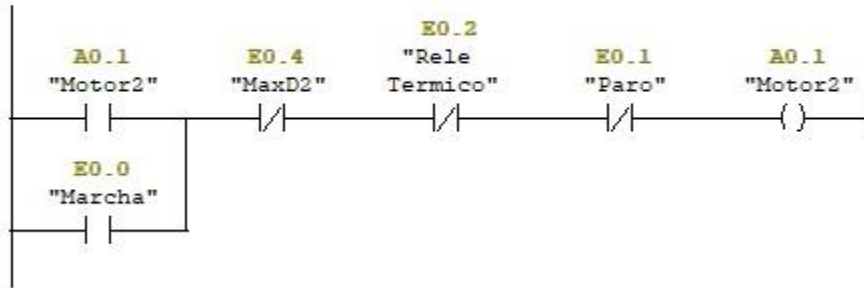
Segmento 2. El tanque pulmón se descarga al accionar el interruptor E1.5, este abre la electroválvula del tanque pulmón.

☐ Segm. 3 : Título:



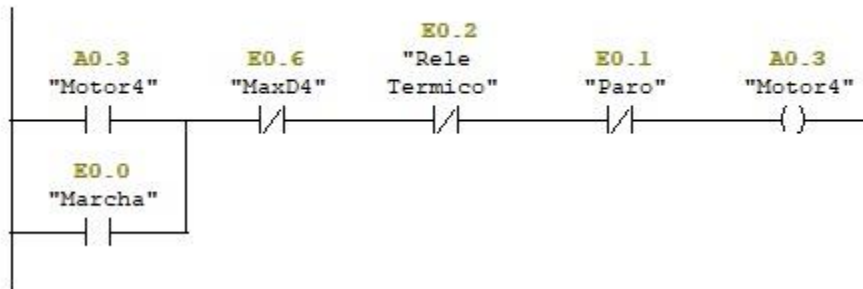
Segmento 3. La bomba (Motor3) del depósito 3 entra en funcionamiento cuando se acciona el pulsador N/A “Marcha”, el funcionamiento de la bomba se interrumpe cuando se active “MaxD3”, “Paro” o “Relé Térmico”.

Segm. 4 : Título:



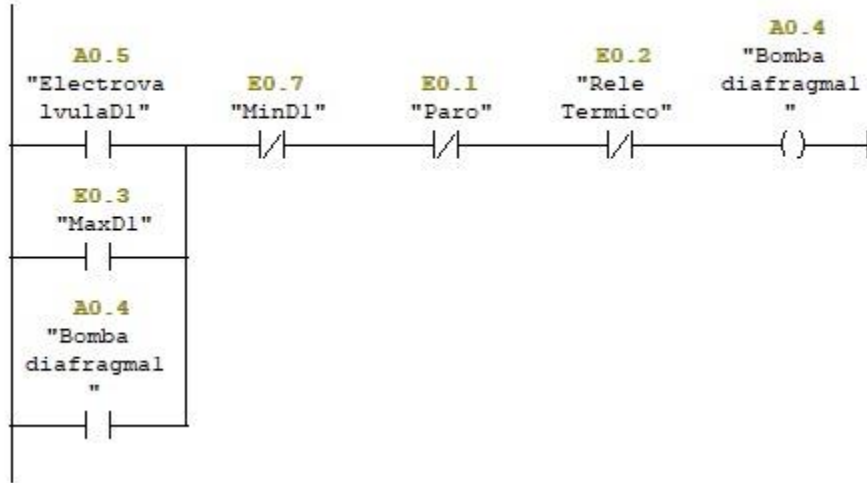
Segmento 4. La bomba (Motor2) del depósito 2 entra en funcionamiento cuando se acciona el pulsador N/A “Marcha”, el funcionamiento de la bomba se interrumpe cuando se active “MaxD2”, “Paro” o “Relé Térmico”.

Segm. 5 : Título:



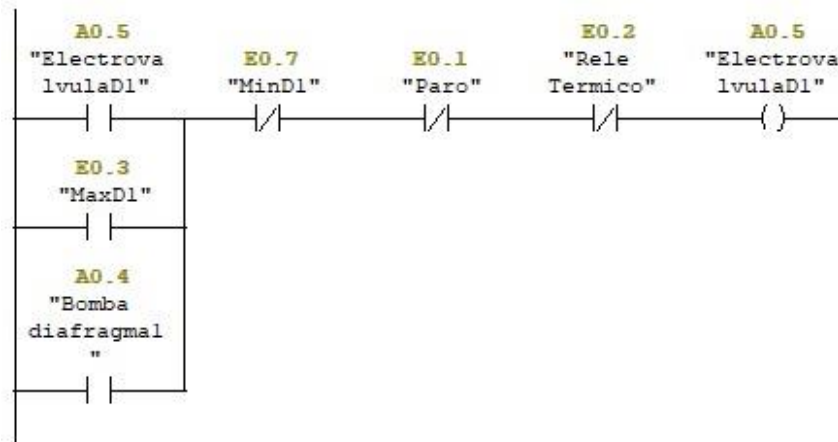
Segmento 5. La bomba (Motor4) del depósito 4 entra en funcionamiento cuando se acciona el pulsador N/A “Marcha”, el funcionamiento de la bomba se interrumpe cuando se active “MaxD3”, “Paro” o “Relé Térmico”.

☐ Segm. 6 : Título:



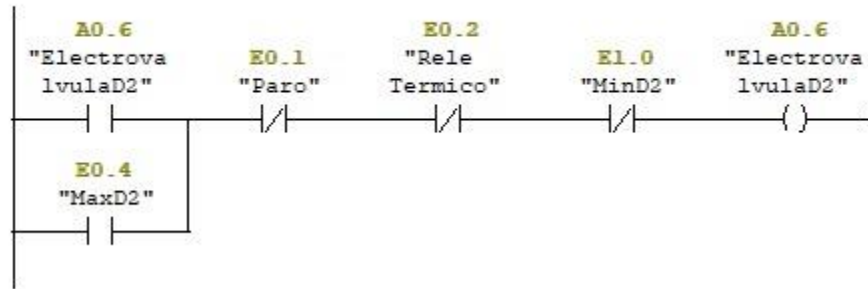
Segmento 6. La Bomba diafragma 1 se acciona cuando “MaxD1” se active, el funcionamiento se interrumpe cuando se active “MinD1”, “Paro” o “Relé Térmico”.

☐ Segm. 7 : Título:



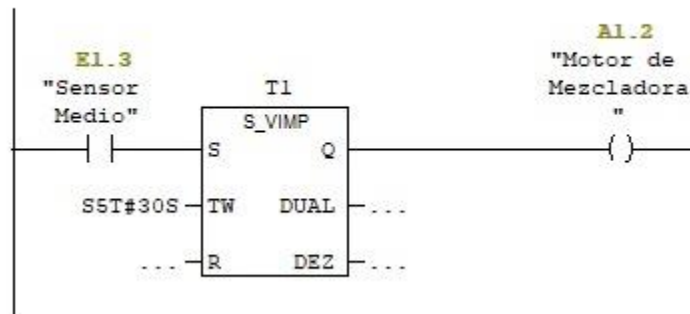
Segmento 7. La electroválvula D1 se acciona para descargar el Depósito 1 cuando “MaxD1” se active, el funcionamiento se interrumpe cuando se active “MinD1”, “Paro” o “Relé Térmico”.

Segm. 8 : Título:



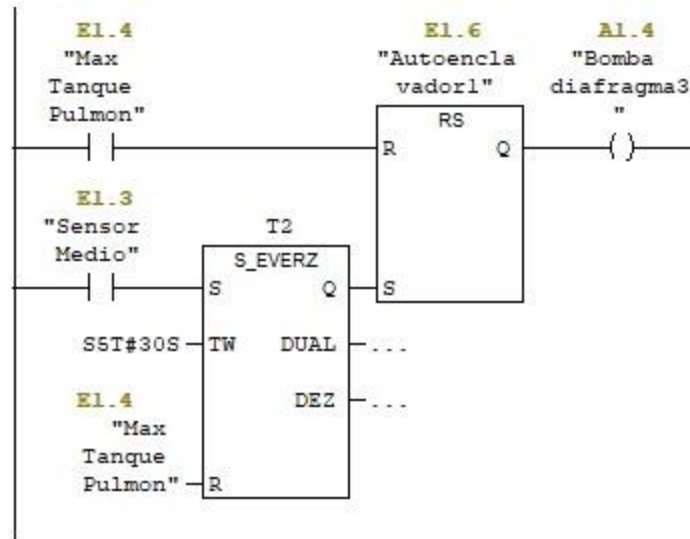
Segmento 8. La electroválvula D2 se acciona para descargar el Depósito 2 cuando “MaxD2” se active, el funcionamiento se interrumpe cuando se active “MinD2”, “Paro” o “Relé Térmico”.

Segm. 9 : Título:



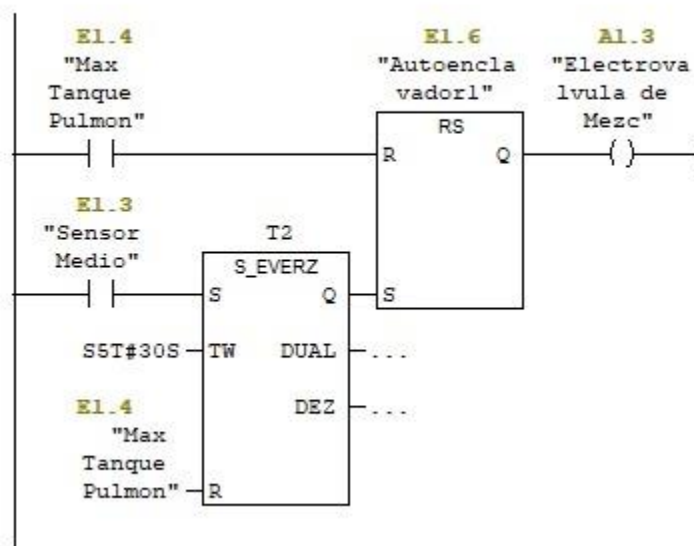
Segmento 9. El motor de mezcladora entra en funcionamiento cuando el sensor medio se active, el motor dejara de funcionar cuando T1 haya cumplido el tiempo programado.

Segm. 10 : Título:



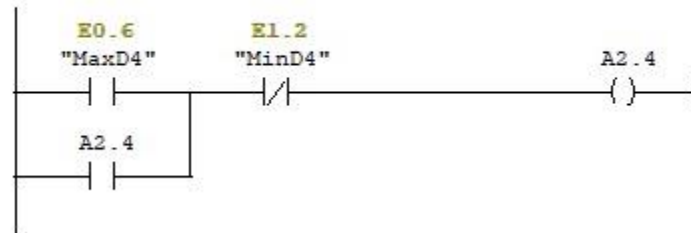
Segmento 10. La bomba diafragma 3 entra en funcionamiento cuando T2 haya cumplido el tiempo de retardo a la conexión el cual este se acciona mediante el sensor medio, la bomba diafragma 3 dejara de funcionar cuando el sensor "Max tanque pulmón" se active.

Segm. 11 : Título:

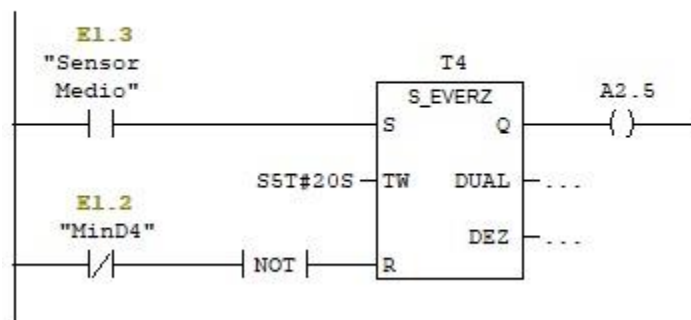


Segmento 11. La electroválvula de la mezcladora se acciona cuando T2 haya cumplido el tiempo de retardo a la conexión, el cual se acciona mediante el sensor medio, la electroválvula de la mezcladora dejara de funcionar cuando el sensor "Max tanque pulmón" se active.

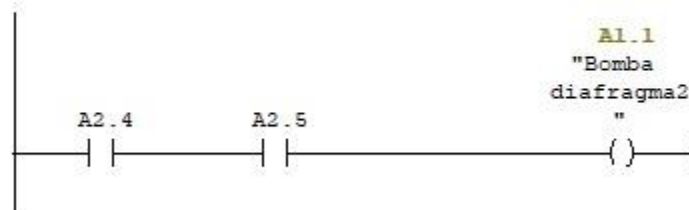
Segm. 12 : Título:



Segm. 13 : Título:



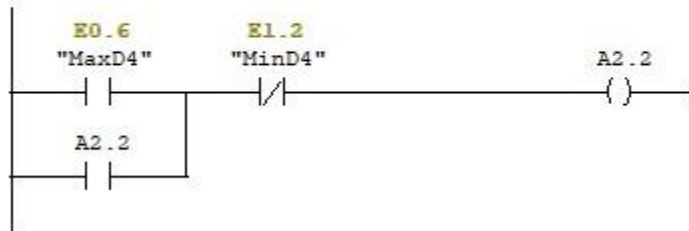
Segm. 14 : Título:



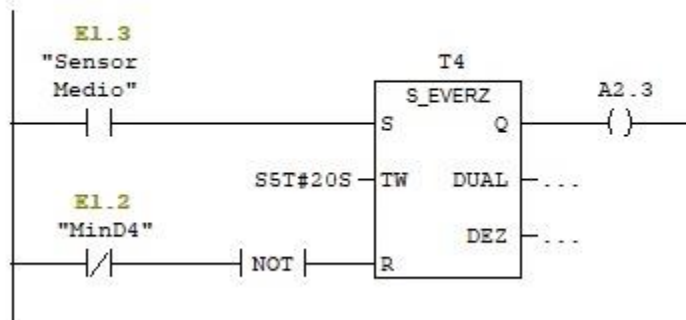
Segmento 12. 13. 14. La bomba diafragma 2 se accionará cuando se cumplan 2 condiciones, la primera es que el depósito 4 esté en su máxima capacidad (A 2.4) y la segunda es cuando haya pasado el tiempo de retardo a

la conexión de T4, solo así se accionara la Bomba diafragma y esta dejara de funcionar cuando el sensor "MinD4" se active.

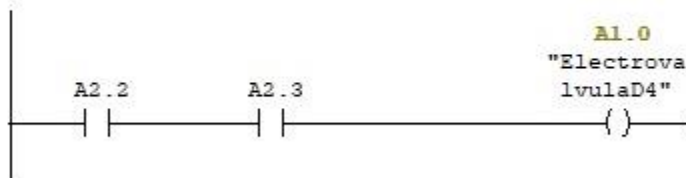
Segm. 15 : Título:



Segm. 16 : Título:

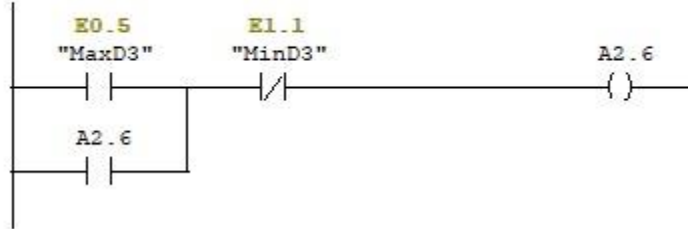


Segm. 17 : Título:

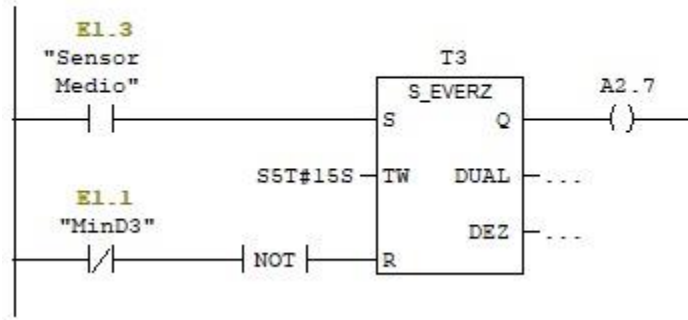


Segmento 15. 16. 17. La Electroválvula D4 se accionará cuando se cumplan 2 condiciones, la primera es que el depósito 4 esté en su máxima capacidad (A 2.2) y la segunda es cuando haya pasado el tiempo de retardo a la conexión de T4, solo así se accionara la Electroválvula D4 y esta dejara de funcionar cuando el sensor "MinD4" se active.

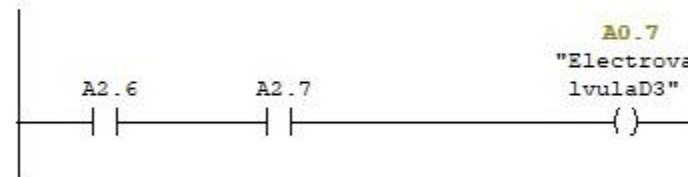
☐ Segm. 18 : Título:



☐ Segm. 19 : Título:



☐ Segm. 20 : Título:



Segmento 18. 19. 20. La Electroválvula D3 se accionará cuando se cumplan 2 condiciones, la primera es que el depósito 3 esté en su máxima capacidad (A 2.6) y la segunda es cuando haya pasado el tiempo de retardo a la conexión de T3, solo así se accionara la Electroválvula D3 y esta dejara de funcionar cuando el sensor “MinD3” se active.

Segm. 21 : Titulo:



Segmento 21. Se encenderá la luz piloto de emergencia cuando se dispare el relé térmico.

La simulación del código se realizó mediante la interfaz de simulación del programa SIMATIC STEP 7:

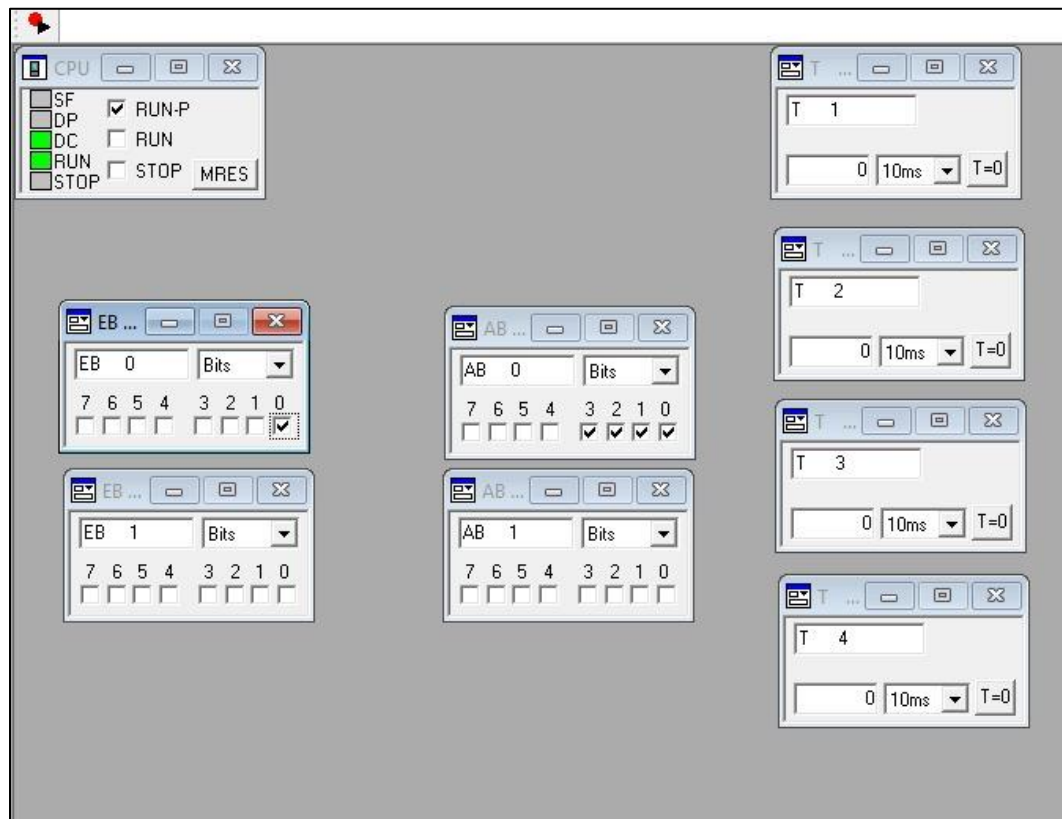


Figura 36. Interfaz de simulación del programa SIMATIC STEP 7

8. Conclusiones

El desarrollo de cualquier proyecto de diseño de un sistema automatizado, involucra una exhaustiva investigación del proceso a automatizar, en el estudio del funcionamiento de dicho proceso, las variables que se manejan, justificación de la automatización, selección de los equipos de control y actuadores, es decir un conjunto de acciones que son necesarias para crear un sistema que permita una intervención del hombre casi nula.

Para poder realizar la automatización de este sistema fue necesario encontrar la operación óptima de los subsistemas que conforman el proceso, esto se logró gracias a la búsqueda de información realizada en múltiples documentos y a tres esquemas claves en esta investigación.

Primeramente, se efectuó un circuito electromecánico con el fin de estudiar este proceso con una conexión basada en relés, luego se pasó a elaborar un diagrama de flujo GRAFCET para segmentar y describir las sucesivas etapas del sistema automatizado. Finalmente, se realizó el diagrama de conexiones con el PLC y la programación del sistema de control utilizando el lenguaje Ladder en el Software Simatic Step 7. Con esta aplicación se llevó a cabo la simulación del proceso automatizado para la elaboración de barniz, sin embargo, en esta etapa del proyecto se dificultó un poco la programación en Simatic Step 7, por lo cual se apoyó del software LOGO V8, realizando pequeños segmentos del programa con compuertas lógicas y de esta manera poder superar los inconvenientes presentados inicialmente y así cumplir con los objetivos planteados.

Queda decir que la automatización de los procesos es de suma importancia ya que genera muchos beneficios tales como: mejora de los índices de calidad, reducción de costes de producción, reducción del tiempo de ciclo de fabricación. etc. Se podría afirmar que la necesidad de la automatización viene dada por el objetivo de cualquier empresa: eficiencia y productividad.

9. Recomendaciones

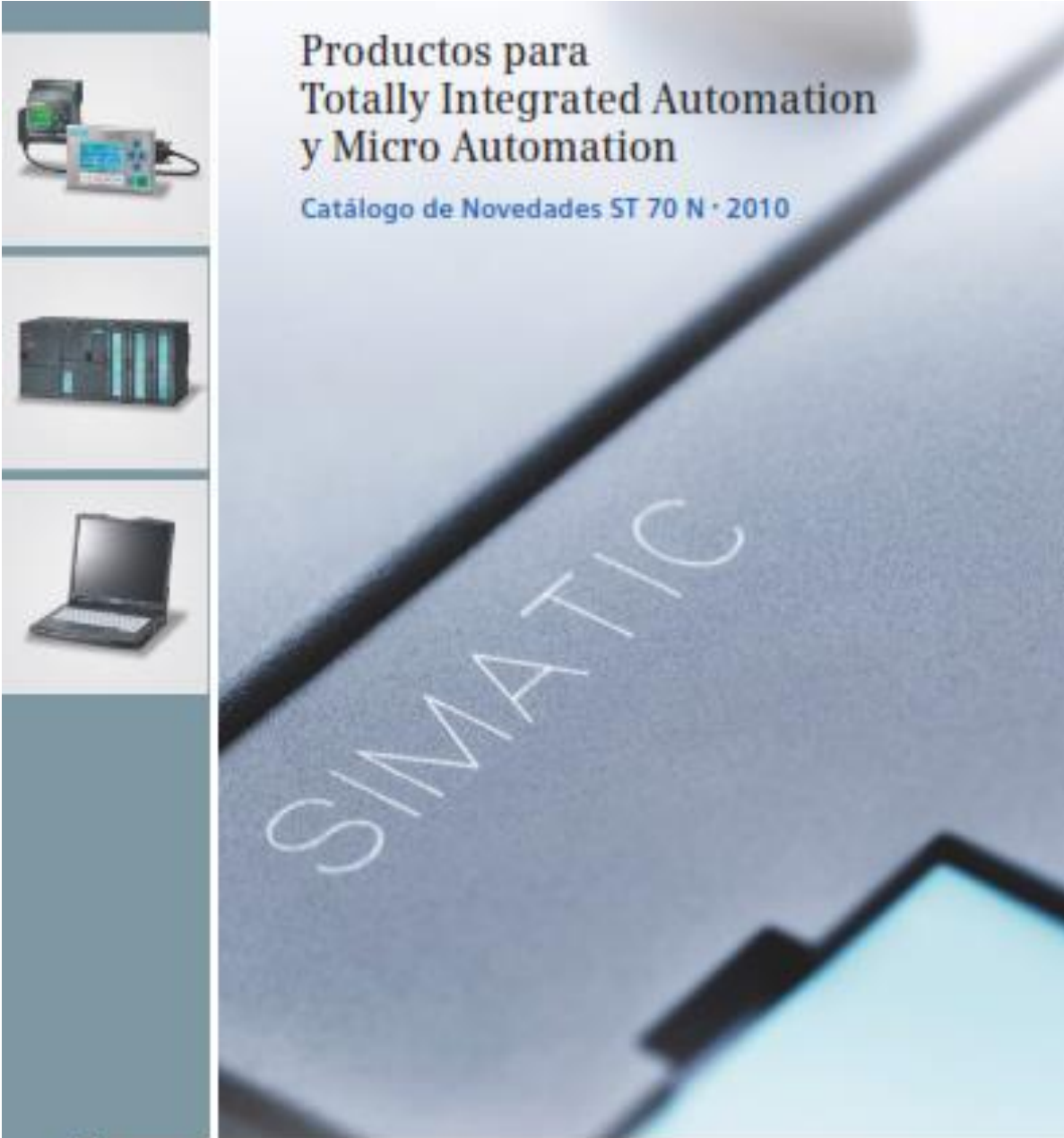
- Cuando se utilice el Software Simatic Step 7 para automatizar cualquier proceso se recomienda que el código se programe tan claro y legible como sea posible, ya que cada diseñador elabora una estrategia propia para, por ejemplo, nombrar a las variables y los bloques o la forma en la que se indican los comentarios. Por eso, al momento de programar se debe tomar en cuenta que el sistema puede ser utilizado por otros usuarios e incluso por operadores con poco conocimiento del tema y que solo se ocupan del monitoreo básico del proceso.
- Se recomienda emplear el lenguaje Ladder o diagrama Ladder porque está basado en los esquemas eléctricos de control básico, de este modo, con los conceptos que un técnico o ingeniero eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a este tipo de programación.
- Se recomienda incorporar un especialista en el área de química como supervisor de control de calidad y todo lo relacionado a la composición del barniz para lograr la implementación de este proyecto.
- En caso que se busque una implementación de esta idea en futuros proyectos, se recomienda ubicar los depósitos y tuberías de tal forma que se evite el uso de bombas, esto con el fin de lograr un ahorro energético significativo.

11. Bibliografía

- Areatecnología. (2013). *SIEMENS PLC LOGO*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/plc-logo.html>
- Boscán Añez, L. A. (2010). Diseño de un sistema de control mediante PLC para las instalaciones de aire acondicionado central (agua helada) e iluminación de un edificio de laboratorios. (Tesis). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Carillo Paz, A. J. (2011). *Sistemas automáticos de control, Fundamentos básicos de análisis y modelado*. Santa Rita: UNERMB.
- DIEEC. (2011). *Asignatura ISE6-Módulo 1: Controladores Lógicos Programables*. Obtenido de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_2.pdf
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Dekendorf.
- EcuRed. (2011). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Barniz>
- Fontenla, S. (2019). *Decoora*. Obtenido de <https://www.decoora.com/el-barniz-y-sus-usos-en-decoracion/>
- Gálvez, J. L. (2005). *GRAF CET*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/GRAF CET>
- Heath, M. (1993). Manufacture of inks and varnishes. En *The Printing Ink Manual* (Ed.). Von Nostrand Reinhold international.
- INATEC. (2008). *Manual para el participante del Curso de Sistema de control lógico programable (LOGO)*. Managua.
- Indiamart. (2015). *Catalogo 2011*. Obtenido de <https://www.indiamart.com/proddetail/siemens>
- Nahuel, F., & Ponce, M. (2014). Producción de barniz de base alquídica. Estudio de Prefactibilidad. (Tesis). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

- Ortega, I. (2002). Análisis costo beneficio de la automatización en el sistema de producción de hormigón para Hormiazuay Cía. Ltda. (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Prieto, P. (8 de Octubre de 2007). *Lenguaje de programación- Principios básicos de PLC* (Tesis). Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/equipamiento-tecnologico/redes/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>.
- PROINDESA. (2007). *Bombas de doble diafragma*. Obtenido de <https://www.proindesa.com/bombas-de-diafragma>
- SEPIA. (2005). *Sensores Magnéticos*. Obtenido de <https://www.sepia.mx/que-son-los-sensores-magneticos-de-efecto-hall/>
- SIEMENS. (2010). *Catalogo de novedades ST 70 N 2010*. Oficinas de Nurnberg, Alemania.
- SIEMENS. (2014). *Manual de sistema del Controlador Programable S7-1200*. Oficinas de Nurnberg, Alemania.
- Universidad de Oviedo. (2011). *Resumen sobre GRAFCET*. Obtenido de http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_resumen.pdf

12. Anexos



Productos para
Totally Integrated Automation
y Micro Automation

Catálogo de Novedades ST 70 N · 2010

SIMATIC

SIMATIC

Answers for industry.

SIEMENS

Catálogos afines:

SIMATIC Productos para Totally Integrated Automation y Micro Automation E86060-K4670-A101-B2-7800	ST 70	
SIMATIC NET Comunicación industrial E86060-K6710-A101-B6-7800	IK PI	
SIMATIC NET Comunicación industrial E86060-K6710-A121-A3-7800 (Novedades)	IK PI N	
SIMATIC HMI Sistemas para manejo y visualización E86060-K4680-A101-B6-7800	ST 80	
SIMATIC Sensors Sistemas industriales de identificación E86060-K8310-A101-A6-7800	ID 10	
SITRAIN Cursos de automatización y soluciones industriales E86060-K6850-A101-C1 (en alemán)	ITC	
Catálogo interactivo Productos para automatización y accionamientos E86060-D4001-A510-C8-7800	CA 01	
Industry Mall Plataforma de información y de pedido en Internet www.siemens.com/industrymall		

SIEMENS

SIMATIC

S7 Controlador programable S7-1200

Manual de sistema

Prólogo	
Sinopsis del producto	1
Software de programación STEP 7	2
Montaje	3
Principios básicos del PLC	4
Configuración de dispositivos	5
Principios básicos de programación	6
Instrucciones básicas	7
Instrucciones avanzadas	8
Instrucciones tecnológicas	9
Comunicación	10
Servidor web	11
Procesador de comunicaciones y Modbus TCP	12
Comunicación TeleService (correo electrónico SMTP)	13
Herramientas online y diagnóstico	14
Maestro SM 1278 4xIO-Link	15
Datos técnicos	A
Calcular la corriente necesaria	B
Referencias	C
Reemplazar una CPU V3.0 por una CPU V4.0	D