

**MODERNIZACIÓN DE AUTOMATISMOS SECUENCIALES
RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE CENIZA EN TERMOPAIPA**

**ALBERT FERNEY DÍAZ VÁSQUEZ
FREDDY F. VALDERRAMA GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2004

**MODERNIZACIÓN DE AUTOMATISMOS SECUENCIALES
RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE CENIZA EN TERMOPAIPA**

**ALBERT FERNEY DÍAZ VÁSQUEZ
FREDDY F. VALDERRAMA GUTIÉRREZ**

**Trabajo para optar el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director
ING. ALFREDO R. ACEVEDO UIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2004

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
0 INTRODUCCIÓN	
1. CONSIDERACIONES INICIALES	1
1.1 TRABAJO REALIZADO	1
1.2 ESTRUCTURA DE LA GUÍA	2
2. APROXIMACIÓN AL PROCESO	10
2.1 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL AUTOMATISMO	10
2.1.1 Revisión de la documentación del proceso.	11
2.1.2 Documentación adicional.	12
2.1.3 Enumeración y revisión del equipo.	12
2.1.4 Resumen general y descriptivo del proceso.	13
3. DISEÑO	14
3.1 DEFINICIÓN DE LA NUEVA FUNCIONALIDAD	14
3.2 PARTE OPERATIVA.	15
3.2.1 Planteamiento de las opciones tecnológicas.	16
3.2.2 Evaluación de las opciones tecnológicas.	16
3.2.3 Lista del equipo seleccionado.	17
3.3 DISEÑO DE LA PARTE DE MANDO O CONTROL	17
3.3.1 Selección de la tecnología.	18
3.3.1.1 Selección del controlador.	19
3.3.2 Selección de la metodología de programación.	21
3.3.3 Diseño del circuito de control.	28
3.3.3.1 Diseño del Grafcet fundamental.	28
3.3.3.2 Diseño del Grafcet considerando GEMMA.	30
3.3.4 Diseño de tableros de control y señalización.	30
3.3.5 Lista del equipo seleccionado.	
3.4 RED LOCAL Y SCADA	31

3.4.1 Red local.	31
3.4.1.1 Selección de la topología de red.	32
3.4.1.2 Selección del tipo de conexión física.	33
3.4.1.3 Selección del protocolo para el Bus de campo.	34
3.4.2 Software de presentación SCADA.	36
<u>4 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN</u>	39
4.1 Planos eléctricos.	39
4.2 Planos de ubicación.	40
4.3 Planos mecánicos.	40
4.4 Guía para el montaje.	40
4.5 Guía de operación.	41
4.6 Guía para el mantenimiento.	41
<u>5. APLICACIÓN: MARTILLO DE LAS LÁMINAS COLECTORAS EN LOS PRECIPITADORES DE LAS UNIDADES II Y III DE TERMOPAIPA</u>	43
5.1 APROXIMACIÓN AL PROCESO.	43
5.1.1 Descripción general del proceso.	43
5.1.2 Diagramas de tiempo	49
5.1.3 Calculo de tiempos.	52
5.1.4 Listado de equipos.	54
5.1.5 Documentación adicional.	58
5.1.6 Recomendaciones de los operarios.	61
5.2 DISEÑO	63
5.2.1 Identificación de Ineficiencias y alternativas de solución.	64
5.2.2 Características adicionales a incluir.	65
5.2.3 Diagramas de tiempo.	68
5.2.4 Evaluación y selección de las opciones tecnológicas.	69
5.2.5 Esquema del circuito de control diseñado.	73
5.2.6 Evaluación de la necesidad de un software de presentación.	73
5.2.7 Mímico y panel de control diseñados.	73
5.2.8 Listado del equipo.	75

5.3 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	76
5.3.1 Planos	76
5.3.2 Guía para el montaje	77
5.3.3 Guía de operación del equipo.	77
5.3.4 Guía de mantenimiento	79
6 APLICACIÓN: DESCARGADOR ROTATIVO DE CENIZA	81
6.1 APROXIMACIÓN AL PROCESO.	81
6.1.1 Descripción general del proceso.	81
6.1.2 Diagrama de tiempo.	83
6.1.3 Listado de equipos	86
6.1.4 Documentación adicional.	89
6.1.5 Recomendaciones de los operarios	89
6.2 DISEÑO	90
6.2.1 Identificación de Ineficiencias y las alternativas de solución.	91
6.2.2 Características adicionales a incluir.	93
6.2.3 Diagramas de tiempo.	95
6.2.4 Evaluación y selección de las opciones tecnológicas.	96
6.2.5 Esquema del circuito de control diseñado.	99
6.2.6 Evaluación de la necesidad de un software de presentación.	100
6.2.7 Mímico y panel de control diseñados.	100
6.2.8 Listado del equipo.	100
6.3 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN	100
6.3.1 Planos	100
6.3.2 Guía para el montaje	103
6.3.3 Guía de operación del equipo.	103
6.3.4 Guía de mantenimiento	104
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Macro-etapas para la elaboración de un proyecto.	2
Figura 2. Etapas de la aproximación al proceso.	3
Figura 3a. Etapas del diseño.	4
Figura 3b. Macro-etapas auxiliares del diseño.	5
Figura 4. Etapas de la elaboración de la documentación.	6
Figura 5. Estructura general de un automatismo.	7
Figura 6. Diagrama de flujo.	22
Figura 7. Diagrama de estados.	24
Figura 8. Red de Petri.	25
Figura 9. Grafcet.	27
Figura 10. Vista general de un Precipitador electrostático.	45
Figura 11. Disposición interna de los electrodos.	46
Figura 12. Dispositivo de golpe para las láminas colectoras.	47
Figura 13. Proceso de encendido del precipitador.	49
Figura 14. Diagrama de tiempos unidad II, campo 1A y 1B	50
Figura 15. Diagrama de tiempos unidad III, campo 1	51
Figura 16. Equipo del precipitador electrostático.	54
Figura 17. PLC Gould.	57
Figura 18. Proceso Cottrell de precipitación.	59
Figura 19. Interruptores de selección de modo de golpe.	62
Figura 20. Estación de arranque parada.	63
Figura 21. Esquema del GEMMA diseñado para los precipitadores.	66
Figura 22. Montaje del sensor inductivo.	71
Figura 23. Grafcet precipitador unidad II.	73
Figura 24. Grafcet precipitador unidad III.	73
Figura 25. Panel y Mímico para los precipitadores.	74
Figura 26. Panorámica general del descargador.	78
Figura 27. Esquema del Descargador rotativo de Ceniza	78

Figura 28. Diagrama básico de tiempos del descargador	84
Figura 29. Ciclo del agua en el descargador.	85
Figura 30. Detalle del descargador.	85
Figura 31. Válvula mariposa.	87
Figura 32. Válvula general.	88
Figura 33. GEMMA diseñado para el descargador.	94
Figura 34. Analogía eléctrica para el sistema hidráulico.	98
Figura 35. Grafcet descargador rotativo.	100
Figura 36. Panel y Mímico para el descargador rotativo.	102

LISTA DE ANEXOS

<u>Anexo 1. Norma IEC 61131-3 y Grafcet</u>	114
<u>Anexo 2. GEMMA</u>	129
<u>Anexo 3. Norma IP y Nema</u>	135
<u>Anexo 4. Programación de PLCs</u>	137
<u>Anexo 5. Planos del proyecto</u>	144
<u>Anexo 6. Guía de montaje</u>	145
<u>Anexo 7. Guía de mantenimiento</u>	148
Anexo 8. Programas PL7	148
<u>Anexo 9. Circuitos de control actuales</u>	189
<u>Anexo 10. Manual básico de operación PL7</u>	193
<u>Anexo 11. Diagramas de tiempo</u>	226

TÍTULO: MODERNIZACIÓN DE AUTOMATISMOS SECUENCIALES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE CENIZA EN LAS UNIDADES II Y III DE TERMOPAIPA*

Albert Ferney Díaz Vásquez y Freddy Fernando Valderrama Gutiérrez**

Palabras claves: Precipitador electrostático, Descargador rotativo de ceniza, Automatismo secuencial, circuito de control, GEMMA, Grafcet, Termopaipa.

Se desarrollaron simultáneamente dos proyectos en la Empresa de Energía de Boyacá (Termopaipa), en el primero se necesitaba independizar el control de la secuencia de golpe de los electrodos colectores en los precipitadores electrostáticos de las unidades II y III utilizando dos PLCs, ya que el control se encontraba implementado en un solo PLC, y en caso de fallo las dos unidades salían de funcionamiento, adicionalmente no existía documentación del correspondiente circuito de control. En el segundo proyecto se necesitaba implementar un nuevo circuito de control en lógica programada para gobernar el funcionamiento del descargador rotativo de ceniza, con el fin de reemplazar el control implementado en lógica cableada, aprovechando uno de los PLCs utilizados para los precipitadores.

Revisando el funcionamiento de los sistemas encomendados y la guía de modos de marcha y parada GEMMA, se aprovechó el reemplazo de los controladores, para diseñar circuitos de control más robustos, los cuales incluyen funciones adicionales como parada de emergencia, modos de ajuste, modos de producción bajo fallos y alarmas. Estos circuitos de control se programaron usando metodología Grafcet, la cual facilita la depuración de programas y fue creada especialmente para automatismos secuenciales. Adicionalmente se diseñaron nuevos tableros de control correspondientes a las nuevas funcionalidades, y paneles de señalización para determinar el estado de los procesos en tiempo real. Finalmente se documentó todo el diseño con planos y manuales necesarios para el montaje y puesta en marcha del mismo.

Se culminó satisfactoriamente el diseño de los automatismos y con base en lo anterior la empresa ha adquirido los equipos seleccionados por los autores de esta practica, y en este momento ha iniciado el montaje de los proyectos diseñados. Como aporte a la universidad, adicional al informe de la práctica, se desarrollo una guía para el desarrollo de proyectos de este tipo.

* Practica Empresarial

** Facultad de ingenierías físico – mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director Alfredo Rafael Acevedo.

TITLE: MODERNIZATION OF SEQUENCE AUTOMATISMS RELATED TO THE ASHES TREATMENT IN THE UNITS II AND III OF TERMOPAIPA*

Albert Ferney Díaz Vásquez and Freddy Fernando Valderrama Gutiérrez**

Keywords: Precipitant Electrostatic Unit, Ash Rotative Unloader, Sequence Automatism, Control Circuit, GEMMA, Grafcet, TermoPaipa.

Two projects were developed simultaneously in the Energy Company of Boyacá (TermoPaipa), in the first, it was needed the control of the hit sequence of the collector electrodes in the precipitant electrostatic units II and III to be independent using two PLCs, since the control was done using just one PLC, and supposing trouble-shooting, both units stopped working; in addition there was not documentation of the corresponding control circuit. In the second project it was needed to make new control circuit in programmed logic to direct the performance of the ash rotative unloader, in order to replace the control done with wired logic, taking advantage of one of the PLCs used by the precipitating units.

Revising the working of the recommended systems and the guide of the going on and stopping modes GEMMA, it was used the replacing of the controllers to design more robust control circuits, which include additional functions such as Emergency stop, adjust modes, production modes under trouble-shooting and alarms. These control circuits were programmed using Grafcet methodology, which makes easier to debug programs and was specially created for sequence automatism. In addition, new control boards corresponding to the new functions were designed, and also signal panels to determine the processes state in real time. Finally it was documented all the design with the necessary planes and handbooks for the assembly and turning on of it.

The design of the automatisms was finished satisfactorily and based on the previous, the company has acquired the selected equipments by the authors of this practice, and in this moment it has begun the assembly of the designed projects. As a contribution to the university, added to the practice report, is a guide for developing projects of this kind.

* Industrial Practice

** Physic-mechanics School. Electronic Engineering. Director Alfredo Acevedo.

INTRODUCCIÓN

El proceso de combustión que ocurre en las plantas termoeléctricas, produce gases que transportan partículas sólidas (ceniza y escoria), las cuales deben ser capturadas y recolectadas antes de enviar dichos gases a la chimenea. La normatividad ambiental demanda cada vez menores porcentajes de emisiones a la atmósfera, por lo tanto en las plantas termoeléctricas, el proceso de filtrado de los gases, y recolección de partículas sólidas ha cobrado mayor importancia.

Gracias a la reciente normatividad ambiental y con miras a implementar un sistema de supervisión (SCADA), la central de generación de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. (Termopaipa), ha evidenciado la necesidad de emplear tecnologías modernas que permitan tener mayor precisión y confiabilidad, en el proceso de filtrado de gases y recolección de residuos sólidos. En particular, los sistemas de martilleo de los precipitadores de las unidades II y III, y el sistema de descarga de ceniza, emplean actualmente tecnologías de automatización que no permiten la integración a un sistema SCADA.

Teniendo en cuenta la importancia del proceso de filtrado de gases y recolección de partículas sólidas, la necesidad de implementar tecnologías modernas de automatización, y algunos inconvenientes que presenta el control actual y que se mencionan en los últimos capítulos, surge la necesidad de reemplazar los controladores actuales, y plantear estrategias que permitan un mejor desempeño de los automatismos para los sistemas mencionados. Es por esto que, en este proyecto se pretenden diseñar nuevos circuitos de control para los sistemas de martilleo en los precipitadores de las unidades de II y III, y para el descargador rotativo de ceniza.

De otro lado, actualmente la industria a nivel mundial demanda la implementación de sistemas de tecnología de punta, que permitan facilitar el mantenimiento y supervisión de los procesos, y reducir los costos de operación a nivel de planta, para aumentar la fortaleza competitiva en el creciente mercado mundial. Particularmente, en nuestro país existen plantas de producción con automatismos y controles susceptibles de modernizar o rediseñar en su totalidad.

Las exigencias de calidad en el diseño de sistemas automatizados son cada vez mayores, por lo tanto, el diseñador de automatismos debe considerar todos los posibles contextos en los que puede encontrarse un sistema automatizado, debe tener suficientes bases teóricas que le permitan situarse en el proceso, debe realizar un diseño adecuado y emplear el menor tiempo posible, además, tiene que estar en capacidad de elaborar todos los documentos que respalden el diseño y faciliten tanto el mantenimiento, como la puesta en marcha del sistema diseñado, entre otros aspectos, que se consideran importantes para evaluar la calidad del diseño de un sistema automatizado.

De otra parte se ha observado que, aunque es fácil hallar libros que presenten los conceptos utilizados en el diseño de automatismos, en ellos no se plantea la forma en que se debe atacar un problema de automatización, debido a los inconvenientes y experiencias que se evidenciaron durante la práctica realizada, se ha considerado de gran importancia, la ayuda que puede brindar un texto que trate los conceptos y temas manejados en automatización de manera conjunta, y lo más importante, que presente un posible orden para llevar a cabo el diseño o la modernización de un sistema automatizado.

Teniendo en cuenta que en nuestro país existen plantas que requieren la solución a problemas de automatización, la falta de un texto que señale un punto de partida a los estudiantes o egresados que requieran llevar a cabo proyectos de automatización, y las exigencias de calidad en el diseño de los mismos, en este libro no solo se pretende respaldar el trabajo realizado en la planta de generación (Termopaipa), sino también plantear una guía para llevar a cabo la modernización de automatismos secuenciales, los cuales son muy comunes en la industria.

El libro que es el informe de la practica empresarial realizada, contiene la guía antes mencionada y esta fragmentado en dos partes agrupando 6 capítulos, los cuatro primeros capítulos (primera parte) se consideran como la guía sugerida para la modernización de sistemas automatizados. En el capítulo 5 y 6 (segunda parte) se sustentan los diseños de los automatismos requeridos en la empresa y en el texto se tratan dos aplicaciones de la guía mencionada. A continuación se describen cada uno de los capítulos.

En el primer capítulo se presentan brevemente la estructura de la guía y los conceptos básicos manejados en automatismos, considerando que la profundización de este último se trata muy ampliamente en parte de la bibliografía consultada.

En el capítulo 2 (aproximación al proceso) se encuentran los pasos sugeridos para el acercamiento por parte del diseñador al proceso, describiendo las tareas que se consideran importantes y los objetivos que persiguen las mismas.

En el capítulo 3 (diseño) se muestran los ítems, y tareas para llevar a cabo en la etapa de diseño de un automatismo, inicia con la definición de la nueva funcionalidad del automatismo, se presentan las recomendaciones respecto

a: el diseño de la parte operativa que corresponde a los equipos relacionados con la producción, el diseño de la parte de mando que es el “el cerebro” del proceso y el diseño de la interfaz con el operario. Se tratan brevemente algunos aspectos a tener en cuenta, para elegir la forma de interconexión entre equipos controladores y sistemas de supervisión (redes locales), y las características relevantes para seleccionar un software de presentación (SCADA).

En el capítulo 4 (elaboración de la documentación), se presentan los aspectos que se deben tener en cuenta, para realizar la documentación de los proyectos de automatización a nivel de campo.

Por ultimo en el capítulo 5 y 6, se muestra el resultado de aplicar la guía expuesta a la automatización de los procesos de: martilleo de las láminas colectoras en los precipitadores de las unidades II y III (capitulo 5), y descarga de ceniza utilizando el descargador rotativo (capitulo 6).

1. CONSIDERACIONES INICIALES

1.1 TRABAJO REALIZADO

Se desarrollaron simultáneamente dos proyectos en la Empresa de Energía de Boyacá (Termopaipa), en el primero se diseñaron circuitos de control para gobernar la secuencia de golpe, de los electrodos colectores en los precipitadores electrostáticos de las unidades II y III, y en el segundo proyecto se elaboró un algoritmo en lógica programada para controlar el funcionamiento del descargador rotativo de ceniza. Junto con estos diseños se realizó la documentación necesaria para el montaje, incluyendo esquemas de nuevos paneles de control y señalización.

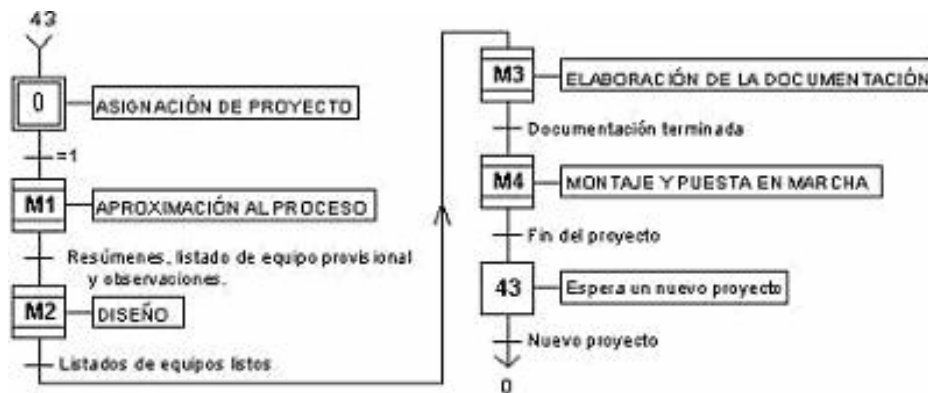
Debido a la creciente demanda de soluciones de automatización en la industria Colombiana, se evidenció la importancia y necesidad de un documento que sirva como punto de partida para el desarrollo de proyectos de esta naturaleza. Con base en la experiencia adquirida en el desarrollo de la práctica y en la bibliografía consultada, se desarrolló una guía para el diseño de automatismos, donde se presenta de manera general y ordenada, cada uno de los aspectos que se consideran importantes al momento de diseñar sistemas automatizados. Se debe resaltar que la guía está enfocada en la modernización, pero puede aplicarse en el desarrollo de nuevos proyectos.

En los primeros cuatro capítulos se presenta la guía mencionada y en los capítulos cinco y seis se encuentra el informe general del trabajo realizado en la práctica, teniendo en cuenta los aspectos presentados en la guía.

1.2 ESTRUCTURA DE LA GUÍA

Se consideran tres grandes macro-etapas para el diseño de automatismos, la primera (**M1**) se ha denominado “Aproximación al proceso” donde se realiza el acercamiento del ingeniero al sistema, una segunda etapa (**M2**) denominada “Diseño” en la cual se llevan a cabo las tareas correspondientes al diseño propiamente dicho, y una última etapa (**M3**) denominada “Elaboración de la documentación”, en la que se plasma la información obtenida en las anteriores etapas, de manera que respalde el diseño realizado y sirva como base para la realización del montaje. A continuación se presenta un diagrama Grafcet (véase anexo 1) que resume los pasos necesarios para la realización de proyectos de automatización; la etapa **M4** que se refiere al montaje y puesta en marcha del proyecto no es tratada en este documento, puesto que el trabajo realizado se limitó al diseño.

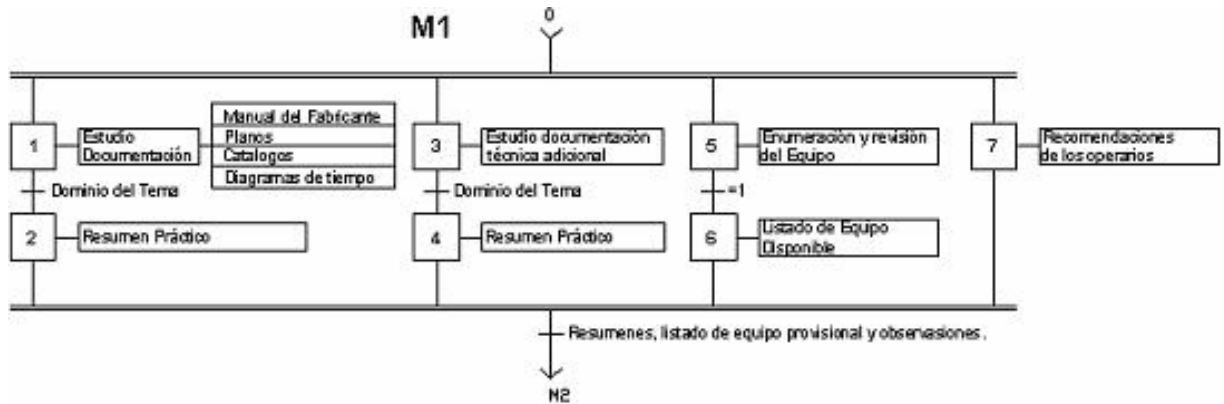
Figura 1. Macro-etapas para la elaboración de un proyecto.



Fuente: Autores

En la etapa de aproximación al proceso **M1** (descrita en el capítulo 2) se realiza un estudio de la documentación necesaria (planos, manuales, etc.) y se desarrolla un resumen final. En la figura 2 se observan los pasos correspondientes, los cuales pueden llevarse a cabo simultáneamente.

Figura 2. Etapas de la aproximación al proceso.

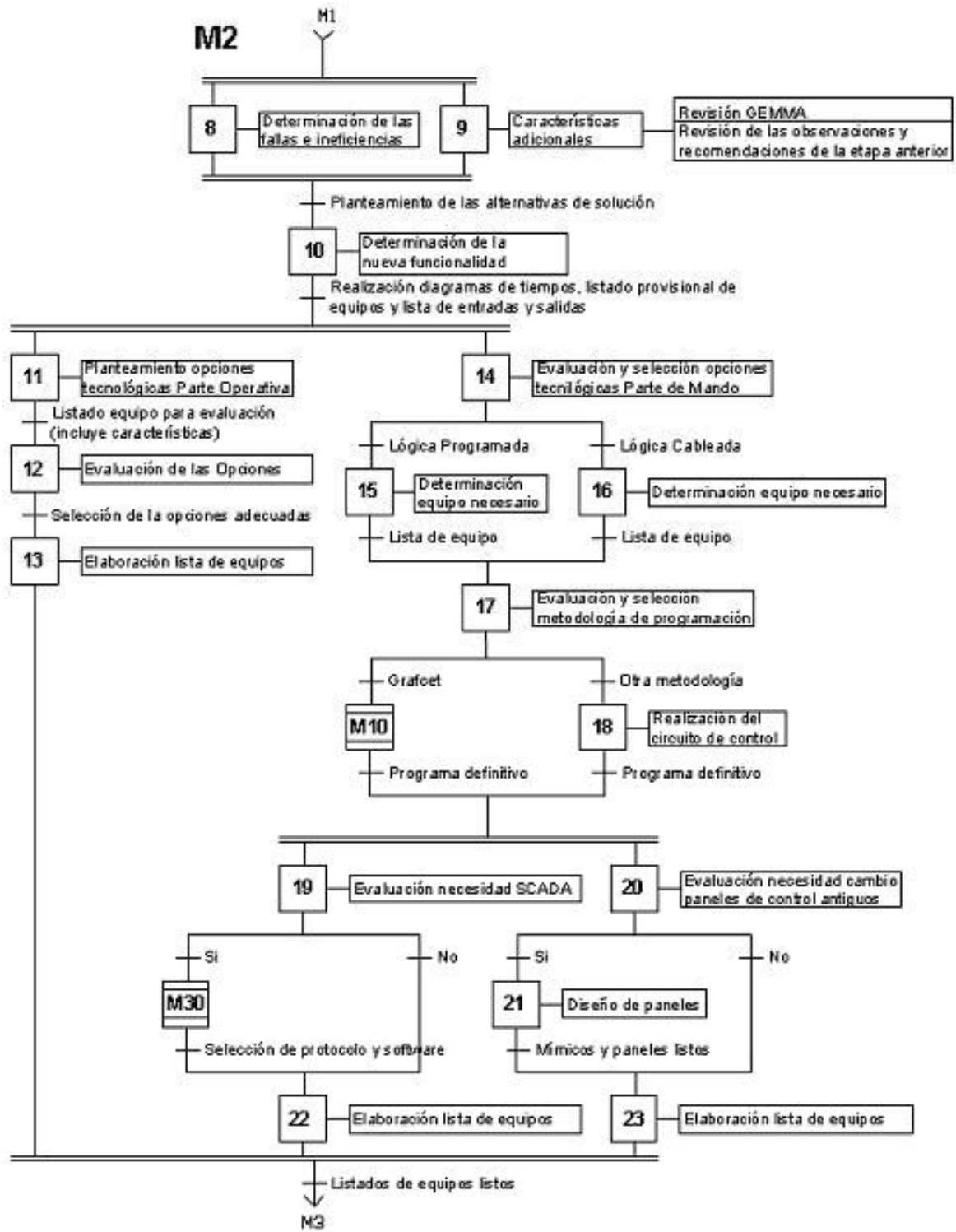


Fuente: Autores

En la etapa de diseño **M2** (descrita en el capítulo 3) se deben tener en cuenta múltiples aspectos que tienen que ver con la parte operativa y la parte de mando del sistema, para la realización del diseño definitivo. Al finalizar esta etapa se debe tener un listado del equipo y bosquejos de la documentación respectiva. En la figura 3a se observan los pasos correspondientes a esta etapa. Pueden existir proyectos que requieran realizar las tareas descritas en un momento determinado, que no correspondan a la secuencia sugerida, sin embargo se deben considerar todos los aspectos nombrados.

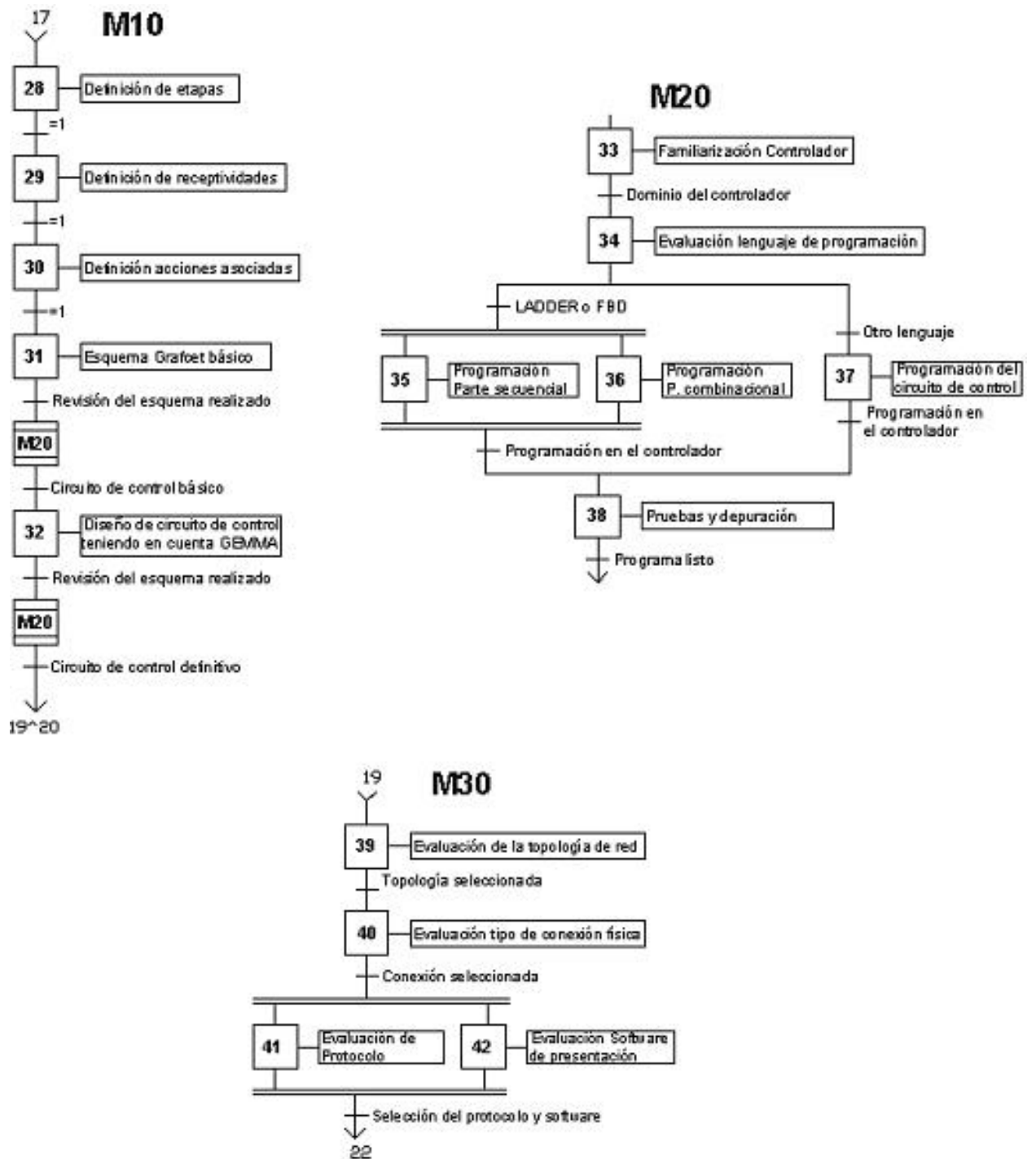
Las macro-etapas que aparecen en la figura 3b corresponden en su orden a: desarrollo de la metodología Grafset (**M10**), programación de PLCs (**M20**) y la selección de protocolo y software de presentación para una red industrial (**M30**). Los pasos de la macro-etapa **M20** son descritos en el anexo 4.

Figura 3a. Etapas del diseño.



Fuente: Autores

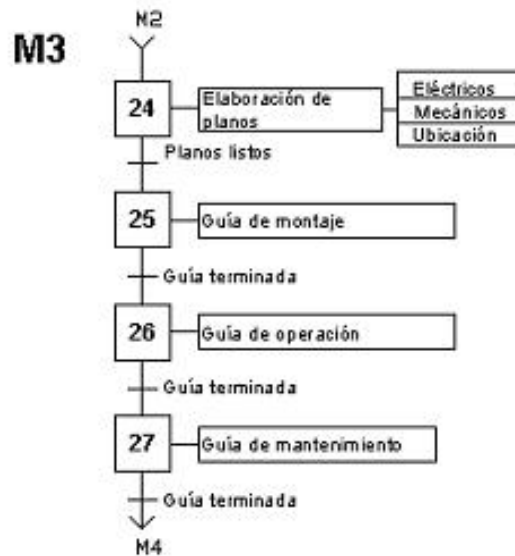
Figura 3b. Macro-etapas auxiliares del diseño.



Fuente: Autores

En la etapa de elaboración de la documentación **M3** (descrita en el capítulo 4), se toman los bosquejos realizados en la etapa anterior y se adecúan para ser presentados de manera clara y organizada, teniendo en cuenta la normatividad existente para el desarrollo de los diferentes documentos. En la figura 4 se observan los pasos correspondientes a esta etapa.

Figura 4. Etapas de la elaboración de la documentación.



Fuente: Autores

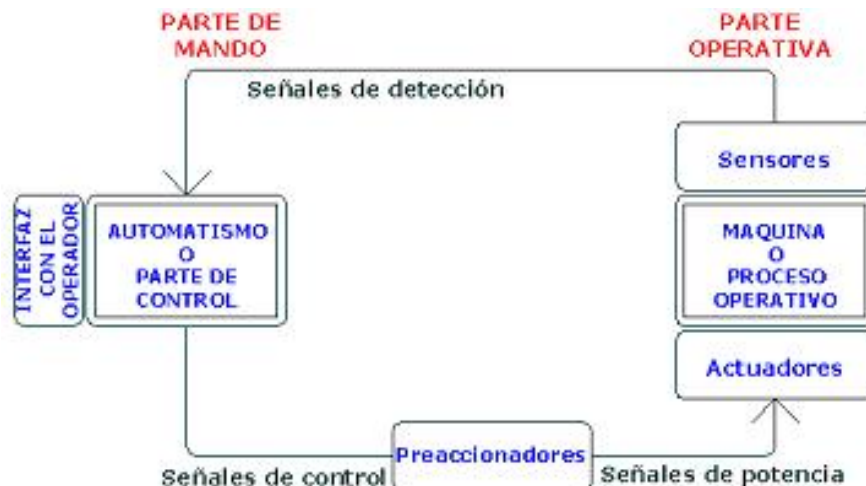
Antes de comenzar con la guía es necesario conocer ciertos conceptos generales que se tratan a lo largo de este documento, los cuales se presentan a continuación:

Automatismo secuencial La palabra automatización proviene del griego *automatos*, que significa “semejante a la forma como tu mente trabaja” o actuación propia. Un automatismo secuencial es un sistema diseñado para seguir un patrón determinado y una secuencia repetitiva de operaciones,

respondiendo a instrucciones preestablecidas, cuyo objetivo es sustituir el esfuerzo físico humano, la rutina de supervisión y la toma de decisiones.¹

Estructura de un automatismo Los automatismos se basan en el concepto de lazo cerrado (véase figura 5), y su estructura puede clasificarse en dos partes: una parte operativa y una parte de control o mando, la primera es formada por un conjunto de dispositivos diseñados para la realización de determinadas funciones y la parte de mando es la encargada de realizar la coordinación de distintas operaciones, encaminadas a mantener la parte operativa bajo control.

Figura 5. Estructura general de un automatismo



Fuente: Referencia bibliográfica N° 7.

Para el control de la parte operativa se requiere de un continuo intercambio de información con la parte de mando, el cual se establece a través de sensores y preaccionadores, los primeros toman la información de la parte operativa y la envían a la parte de control para su tratamiento, y los segundos permiten enviar acciones de mando hacia la parte operativa.

¹ Esta definición es tomada de la página www.automatas.org

Parte de mando. En general se consideran dos tecnologías para su implementación:

- **Lógica cableada:** en esta tecnología, el automatismo se lleva a cabo interconectando de manera adecuada los diferentes elementos que lo integran, su funcionamiento es establecido por dichos elementos y por la forma de interconectarlos. Dependiendo del tipo de elementos que intervienen en su implementación se puede clasificar en: Eléctrica (relés, interruptores, pulsadores, etc.), Electrónica (compuertas lógicas), neumática e hidráulica(válvulas, presostatos, manureductores)
- **Lógica programada:** en esta tecnología el funcionamiento del automatismo depende de la programación realizada en el software correspondiente a la opción elegida. Los dispositivos en los cuales se puede implementar son: los microcontroladores, PLCs, autómatas programables, RTUs, PCs etc.

Parte operativa. Los elementos que la componen son: los sensores, preaccionadores y actuadores. A continuación se presentan ejemplos y una breve descripción de los elementos mencionados.

- **Sensores:** con estos se toma información de las magnitudes físicas a controlar, y los cambios de estado del proceso, Se pueden encontrar de tipo todo o nada (sensores de proximidad), numéricos (encoders), analógicos (sensores de presión, temperatura etc.) por ultimo, existen sensores que manejan procesamiento digital (cámaras de video digitales)
- **Actuadores:** estos transforman la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo, son elementos que en

respuesta a la señal de control, actúan sobre la variable o elemento final de proceso, como ejemplos se pueden citar: motor AC, DC, paso a paso, electroimanes, cilindros hidráulicos, neumáticos, etc.

- Los actuadores están gobernados por la parte de mando de manera directa, o por medio de un preaccionamiento para amplificar la señal de mando, por ejemplo, los relés y contactores son algunos de los preaccionadores más utilizados.

2. APROXIMACIÓN AL PROCESO

En este punto comienza la guía propiamente dicha. La aproximación al proceso se considera el primer paso para realizar el diseño, ya que al momento de encarar el proyecto surgen preguntas como: ¿Cuál es el objetivo fundamental del proceso?, ¿Cual es el comportamiento de la parte de mando frente a la operativa?, ¿Cuales son los pasos que permiten la evolución del proceso?, ¿Qué variaciones alterarían la evolución normal del automatismo? y ¿Cuáles son las necesidades generales en cuanto a seguridad y señalización, que se requieren para supervisar de manera correcta el proceso? Entre otras que pueden surgir en situaciones particulares de cada proyecto, y las cuales son necesarias responder para obtener buenos resultados.

Durante el desarrollo de los pasos que se sugieren a continuación se pretende resolver los anteriores interrogantes.

2.1 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DEL AUTOMATISMO

En esta fase se deben examinar cada uno de los detalles relacionados con el proceso, para ello se debe remitir a la documentación existente y a la experiencia de los operarios, los cuales conocen los pormenores del proceso, y de quienes provienen generalmente, aportes significativos al momento de proponer mejoras.

El objetivo de esta fase, es conocer el propósito fundamental del proceso, para plantear las alternativas que se adecúen a las necesidades de la empresa.

Se recomienda seguir los siguientes pasos para determinar la funcionalidad:

2.1.1 Revisión de la documentación del proceso. Se comienza por consultar las diferentes fuentes de información teórica, como manuales de funcionamiento, de operación, catálogos de equipos, planos de montaje, etc. Además, se deben tener en cuenta las posibles modificaciones del montaje original, debidas a mantenimientos o actualizaciones.

Por otra parte se debe recurrir a los operarios, quienes darán una explicación descriptiva del proceso y como es la evolución del mismo.

A continuación se hará un listado de los documentos que comúnmente se encuentran en las empresas y la información que se puede hallar en ellos.

Manual del fabricante. Está comprendido por el manual de funcionamiento, de montaje y de operación, es un material de estricto lenguaje técnico, dirigido a diferentes campos de la ingeniería, allí se presenta de manera clara y concisa el funcionamiento del sistema, además se incluye una descripción detallada sobre cada uno de los componentes del mismo, se encuentran las características mecánicas y eléctricas del equipo, el principio físico o químico que explica el funcionamiento del proceso y se enumera la instrumentación necesaria para su funcionamiento.

Planos eléctricos. A partir de estos se puede determinar como fue implementado el circuito de control del automatismo (parte de mando), junto a ello se encuentran esquemas de conexiones (unifilar y multifilar), de potencia, emplazamiento y en algunos casos diagramas lógicos. Generalmente se encuentran dos tipos de control implementados en los procesos: electromecánico (lógica cableada) el cual se encuentra bosquejado en el plano de control con un esquema tipo ladder, y control

electrónico (PLCs, microcontroladores, PCs etc.) del cual se encuentra el programa implementado.

Catálogos de equipos. En estos se encuentran las especificaciones de los equipos tales como: rangos de funcionamiento, vida útil, propiedades eléctricas y mecánicas, comportamiento respecto a presión, temperatura, humedad, etc. principios de funcionamiento, sugerencias de montaje, referencias, y en general datos específicos de cada componente. Sirven como criterio para la selección del equipo a utilizar en el proyecto. También se incluyen los datos eléctricos de operación de los actuadores, como tensiones de alimentación, potencia disipada, corrientes de arranque, corrientes de sostenimiento, factores de potencia. Respecto a los sensores presenta curvas de calibración, la sensibilidad, etc.

Planos mecánicos. Aquí se encuentran los esquemas físicos, las especificaciones técnicas y la ubicación de cada equipo. Pueden llegar a ser relevantes para el diseño del circuito de control.

2.1.2 Documentación adicional. Como el ingeniero se debe enfrentar a procesos de diferente naturaleza, en algunos proyectos es necesario realizar investigaciones adicionales, de manera que los conceptos presentados en la documentación revisada queden totalmente claros. Estas investigaciones apuntan generalmente a los principios físicos o químicos que permiten el correcto funcionamiento de los procesos, es decir, son consultas que se refieren a información de otros campos, que pueden resultar útiles para realizar un buen trabajo.

2.1.3 Enumeración y revisión del equipo. Adicional a la descripción del proceso, se debe hacer un listado del equipo que se está utilizando y revisar que dicho equipo se encuentre en buenas condiciones para ser utilizado. Se

debe inspeccionar que las características mecánicas y eléctricas concuerden con las obtenidas de los manuales anteriormente examinados, en caso de que no se disponga de dichos manuales, es recomendable realizar la documentación de los equipos a partir de las características obtenidas.

2.1.4 Resumen general y descriptivo del proceso. En este punto se debe hacer una recopilación de toda la información estudiada, debido a que más adelante se tienen que retomar ciertos aspectos y es muy dispendioso remitirse continuamente a cada uno de los manuales. La información recopilada es de uso personal, por lo tanto no tiene que ser un documento extenso, solo se incluyen los datos que se consideren claves y esenciales para el trabajo que se realiza, para este resumen se sugiere tener en cuenta:

- Descripción de la evolución del proceso
- Descripción de la funcionalidad del automatismo.
- Resumen de la documentación adicional.
- Listado de equipos.
- Diagramas de tiempo del proceso.
- Recomendaciones de los operarios.
- Observaciones preliminares.
- Diagrama del circuito de control del automatismo.

Aquí finaliza la primera parte de la guía, el diseñador debe estar en capacidad de responder todas las preguntas planteadas al comienzo, antes de avanzar a la siguiente etapa.

3. DISEÑO

El diseño de un automatismo se puede dividir en 4 etapas:

- Etapa 1: Definición de la nueva funcionalidad.
- Etapa 2: Parte Operativa.
- Etapa 3: Parte de Mando.
- Etapa 4: Red local y SCADA.

3.1 DEFINICIÓN DE LA NUEVA FUNCIONALIDAD

Aquí es donde comienza el trabajo de ingeniería. Después de conocer las características del automatismo, se deben definir sus nuevas etapas, partiendo de la documentación del diseño anterior, procurando corregir las fallas encontradas y agregando las mejoras que se requieran, de esta manera obtener un diseño robusto y que sea sencillo de manejar por parte del operario. El objetivo de esta etapa es obtener los nuevos diagramas de funcionamiento, la descripción de la evolución del proceso y un listado de equipos provisional donde no se incluyen las especificaciones.

Para la definición de la funcionalidad del automatismo se sugiere revisar los siguientes aspectos:

Fallas de Funcionamiento. Lo primero que se debió haber visto (seguramente por eso fue que lo contrataron) son las fallas en la evolución del automatismo, por ejemplo, los tiempos de ejecución no son adecuados, no se está considerando un paso de evolución que puede ser importante, etc.

Ineficiencias. Se debe revisar que el diseño anterior cumpla con los requerimientos técnicos del proceso, ya que muchas veces los automatismos se encuentran implementados en lógica cableada, limitando su operación al

no permitir el uso de actuadores y captadores analógicos. Es posible encontrar automatismos ineficientes, que no cuenten con los sensores y actuadores adecuados, debido a que en su diseño original no existía la tecnología o los recursos necesarios para adquirirlos.

Características adicionales que se quieran incluir. En este aspecto el ingeniero demuestra sus habilidades al momento de optimizar el control de mando de los procesos, para conseguir un buen resultado en esta etapa, es primordial que se tenga un conocimiento detallado del proceso, y se sugiere determinar cuales estados de la guía de estudio de los modos de marcha y paro GEMMA (véase anexo 2) se consideran necesarios para el proceso. Es de gran utilidad realizar el bosquejo de los estados seleccionados con sus respectivas condiciones de evolución.

Al finalizar esta etapa es necesario tener claro el nuevo funcionamiento del automatismo, se debe conocer cuales sensores, actuadores y elementos de mando se requieren en el nuevo diseño, sin importar el principio de funcionamiento de cada uno, por ejemplo, si es necesario incluir un sensor, en esta etapa no es relevante si es óptico, capacitivo, inductivo etc. Aquí solo se debe determinar que variable mide (flujo, presión nivel, temperatura, etc.), y es en la siguiente fase donde se selecciona el tipo de sensor, teniendo en cuenta las características adecuadas para el proceso.

3.2 PARTE OPERATIVA.

Esta etapa se efectúa en tres fases: planteamiento de las opciones tecnológicas, evaluación y listado definitivo. A continuación se describe cada una de ellas.

3.2.1 Planteamiento de las opciones tecnológicas. A partir de la definición de la nueva funcionalidad se identifican los equipos necesarios para la implementación del automatismo, por lo tanto en esta etapa se realiza un listado de las opciones que cumplen con los requerimientos básicos del diseño, éste listado debe incluir las características técnicas, vida útil, frecuencia de mantenimiento, costos y demás datos que puedan ser usados como criterio de evaluación al momento de determinar el equipo adecuado. En este punto se considera de gran importancia conocer el espacio disponible para la ubicación de nuevos equipos (toma de medidas), y es útil la asesoría de personal capacitado en otras áreas del conocimiento, como ingenieros civiles o mecánicos.

La utilización del equipo existente es una de las mejores opciones, ya que implica bajos costos, menor tiempo de implementación y el proceso de mantenimiento sigue siendo igual. En muchas ocasiones los equipos usados en el diseño original se ajustan a los requerimientos de la solución planteada, sin embargo se deben considerar aspectos como: el desgaste en los actuadores, cambios en sus características iniciales, sensores mal calibrados, contactos de los relés cortocircuitados, etc. como criterio para el uso de dichos equipos

3.2.2 Evaluación de las opciones tecnológicas. Se deben valorar cada una de las alternativas tecnológicas planteadas, teniendo en cuenta tanto el aspecto financiero como el técnico, “de manera que no se cometa el error de plantear una buena solución desde el punto de vista técnico, pero inviable económicamente” (Meneses Jorge, Controladores lógicos programables. 1998, 6).

Entre los criterios de evaluación más importantes se encuentran:

Aspecto financiero

- Precio asequible.
- Disponibilidad de los repuestos en el mercado nacional.
- Representación del fabricante en el país.
- Tiempo de entrega de equipos.
- Aprovechamiento del equipo existente.

Aspecto técnico

- Ambiente en el cual se va a montar.
- Guía de montaje y operación.
- Facilidad de mantenimiento.
- Posibilidad de ampliación.
- Respaldo técnico del fabricante.
- Curvas de sensibilidad (Sensores).
- Vida útil estimada.
- La calidad de la información técnica de los equipos.
- Estandarización.
- Espacio requerido para el montaje.

3.2.3 Lista del equipo seleccionado. Al finalizar la evaluación de las opciones tecnológicas, y haber definido la ubicación de los equipos necesarios, se procede a elaborar la lista definitiva de elementos, especificando las referencias y cantidades.

3.3 DISEÑO DE LA PARTE DE MANDO O CONTROL

En esta etapa se revisan los siguientes aspectos: selección de la tecnología, la metodología, diseño del circuito de control, la interfaz con el usuario y el

listado del equipo seleccionado. A continuación se describe cada una de ellas.

3.3.1 Selección de la tecnología. Como se mencionó anteriormente existen dos tecnologías para implementar los automatismos secuenciales: lógica cableada (neumática, electromecánica, hidráulica y electrónica) y lógica programada (PLC, Autómata programable, microcontrolador, RTU, PC etc.).

Se recomienda utilizar tecnología programada, como un Autómata programable o un PLC, los cuales tienen las siguientes ventajas sobre la lógica cableada¹:

- Menor tiempo de elaboración de los proyectos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- La lista de materiales disminuye.
- Facilita la modificación del circuito de control.
- Menor costo de mano de obra en la instalación.
- La capacidad de almacenamiento en memoria es suficientemente grande.
- Economía de mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC.
- Posibilidad de implementación de redes industriales.
- Diseñados para trabajar en ambientes industriales.

Existen otros equipos de tecnología programada utilizados en el control de procesos, como el microcontrolador y el PC, sin embargo no se recomienda su uso en ambientes industriales, ya que presentan deficiencias de funcionamiento, como sensibilidad al ruido, y a campos electromagnéticos, baja resistencia al polvo, entre otros. En el siguiente apartado se considera

¹Las ventajas nombradas se encuentran en la referencia bibliográfica N° 5

que la implementación del control se realiza a través de un PLC o autómatas programables.

3.3.1.1 Selección del controlador. A continuación se enumeran los aspectos más significativos para seleccionar un PLC:

- **Determinación del tamaño del PLC.** A partir del estudio del proceso y de la nueva funcionalidad, se determina el número de entradas-salidas necesarias, y por lo tanto el tamaño del PLC. Dependiendo del número de entradas salidas se han definido tres gamas:¹
 - Gama Baja: Hasta un Máximo de 128 entradas-salidas, memoria de usuario hasta 4K
 - Gama Media: De 128 a 512 entradas-salidas, memoria de usuario de 16K.
 - Gama Alta: Mas de 512 entradas-salidas, memoria hasta 100K.
- **Determinación del tipo de entradas y salidas.** Las características a revisar para las entradas son: El tipo, que puede ser analógica o digital, la tensión y tipo de corriente como 24VDC o 115 VAC.

Para las salidas se debe revisar la velocidad de respuesta, la cual es dada por las constantes de tiempo de cada uno de los procesos, que por lo general, en los procesos industriales es del orden de segundos. Otras características de las salidas son: el tipo (digital o analógica), la alimentación y la velocidad de conmutación (véase Cuadro 1).

¹ Referencia bibliográfica N° 5

Cuadro 1. Tipos de salidas de un PLC.

Tipo de salida	Velocidad de conmutación	Tipo de alimentación
A relé	Décimas de segundo (lento)	AC o DC
A Transistor	Milisegundos (rápido)	DC
A triac	Milisegundos (rápido)	AC

Fuente: Referencia bibliográfica N° 5

- **La posibilidad de conexión en red.** Se debe tener en cuenta que existen PLCs con tecnología exclusiva para cada fabricante, es decir, cuentan con protocolos propietarios (desarrollados para comunicar aparatos producidos por el mismo fabricante). Entonces es necesario que el protocolo de comunicaciones coincida con el utilizado por PLCs que posea la empresa, o seleccionar un controlador que maneje un protocolo con gran aceptación entre los fabricantes. Los protocolos de campo comúnmente encontrados son: Profibus, Modbus y Fieldbus. También es importante para una empresa estandarizar sus equipos al momento de conectarlos en red, ya que conectar equipos de diferentes marcas acarrea sobrecostos y en ocasiones problemas de estabilidad en la comunicación. En la referencia bibliográfica N° 6 se presenta una explicación clara y detallada de las ventajas de implementar una red local de PLCs.
- **Controladores PID y Fuzzy.** Si el proceso a modernizar implica el uso de un control PID o un control Fuzzy, se recomienda que el PLC seleccionado contenga controladores de dichos tipos, para reducir costos y para concentrar el control en un solo equipo.
- **Modularidad.** Es importante que el PLC seleccionado, posea una arquitectura abierta que permita adicionarle módulos para ampliar la

aplicación, ya que el diseño del automatismo puede requerir entradas-salidas adicionales. Lo mejor es tener un PLC que se pueda expandir y adaptar a los cambios, de manera que la solución planteada no se limite por la arquitectura del PLC.

3.3.2 Selección de la metodología de programación. En este apartado, la decisión depende de la experiencia y pericia del diseñador, ya que cada uno tiene su estilo propio de desarrollar soluciones a un determinado problema de automatización, a continuación se presenta de manera general las metodologías más comunes para el desarrollo de soluciones en automatización.

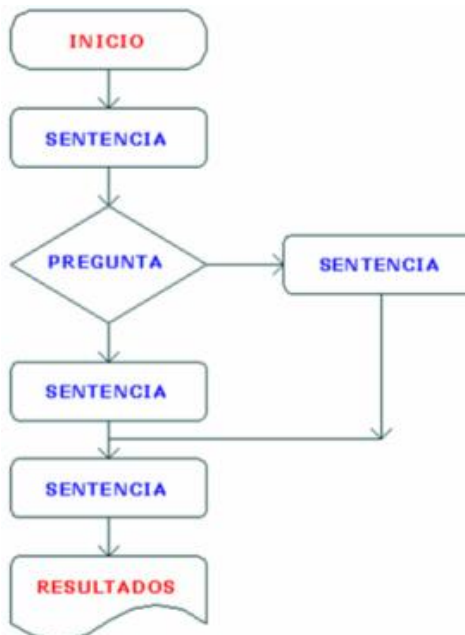
- **Diseño intuitivo o espontáneo.** Es una metodología personal y su efectividad depende exclusivamente de la agilidad y experiencia del diseñador. Se lleva a cabo de la siguiente manera: primero se realiza un programa base (generalmente en lenguaje LADDER), luego se realizan diferentes pruebas de funcionamiento para encontrar errores y corregir cada uno de ellos de manera independiente, esta metodología tiene el problema de una depuración difícil de los errores y altísima dificultad para hacer correcciones, modificaciones o mantenimiento, llevando a que solo la persona que diseñó el programa original pueda realizar cambios adecuados. Esta metodología es la menos recomendada.

Características

- Se puede llevar a cabo en cualquier lenguaje.
- La corrección de cada error de manera independiente, puede provocar la generación de nuevos errores.
- Puede llevar a que la depuración sea muy lenta.
- La experiencia del programador es vital para conseguir un buen resultado.

- La actualización de un programa realizado con esta metodología, generalmente requiere que el programador original sea quien la realice.
- **Diseño con lenguajes estructurados.** Es una metodología desarrollada por programadores de computadores, puede ser usada por ingenieros que estén muy familiarizados con la programación de computadores, puede ser de difícil depuración, aunque con el uso de funciones y subrutinas se reduce dicha dificultad.

Figura 6. Diagrama de flujo.



Fuente: Autores.

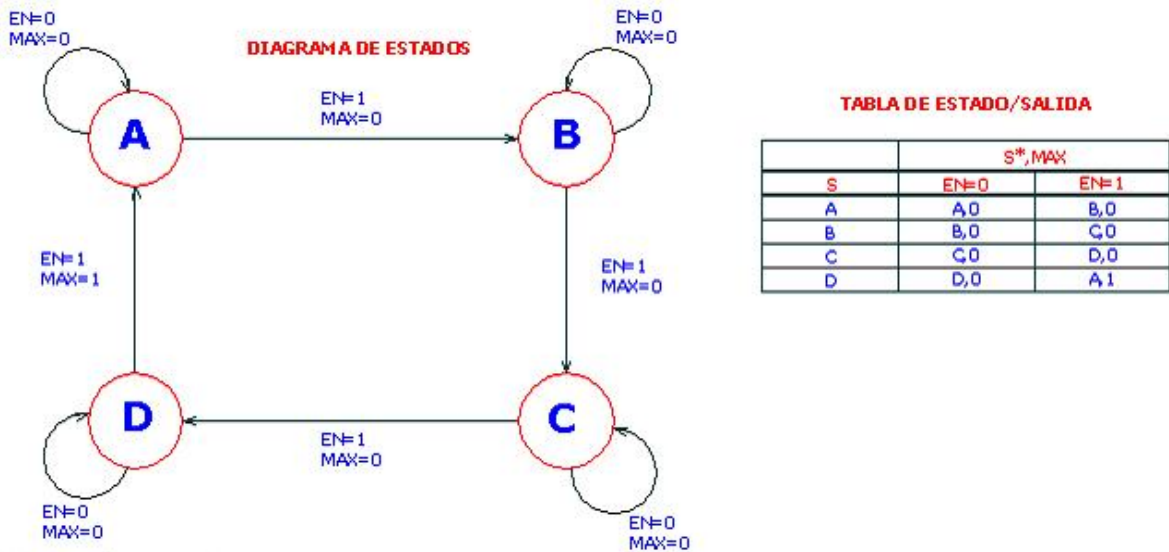
Consiste en diseñar un diagrama de flujo (véase Figura 6) que refleje el comportamiento del proceso a automatizar, y posteriormente haciendo uso de algún lenguaje de alto nivel, como el C, se traduce dicho diagrama al lenguaje elegido, para posteriormente realizar las pruebas de funcionamiento. Un buen programador visualiza el proceso y lo divide en

pequeñas tareas, de manera que se pueda depurar cada una de estas por separado y al finalizar las pruebas individuales, ensambla el programa en su totalidad.

Características

- Permite modularizar los problemas.
 - No está orientado a automatismos secuenciales.
 - Los PLCs, generalmente no cuentan con lenguajes de alto nivel como el C. Aunque en la norma IEC61131-3 (véase anexo 1), se define el lenguaje estructurado, como parte de los lenguajes estándar a manejar en el futuro.
 - Un programa realizado con esta metodología no es fácil de traducir a lenguaje de contactos, ni a lista de instrucciones, los cuales son los que generalmente soportan los PLCs.
-
- **Diseño con diagramas de estados.** En esta metodología se definen cada uno de los pasos del proceso (estados) y la lógica que se debe cumplir para cambiar de estado a estado, el inconveniente que presenta es que cada estado es una combinación lógica de las entradas y existen tantos estados como combinaciones haya.

Figura 7. Diagrama de estados.



Fuente: Autores.

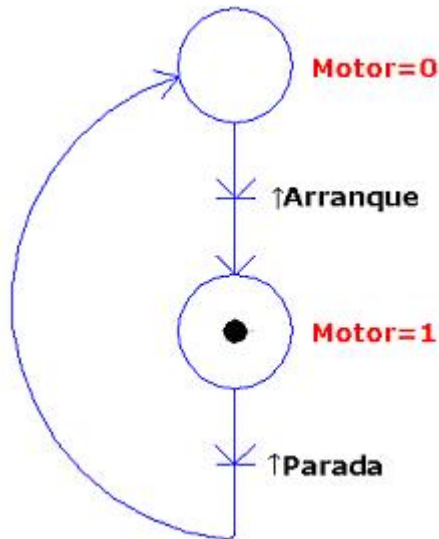
En el ejemplo de la figura 7 en la tabla de estado/salida, **EN** corresponde a la entrada de reloj (habilitación), **S** es el estado actual, **S*** es el estado siguiente y **MAX** es la salida del sistema. En el diagrama de estados los arcos se dirigen de los estados presentes hacia los estados siguientes y sobre dichos arcos están ubicados, los valores de **EN** (condición de evolución) y **MAX** (valor de salida).

Características

- Para una solución determinada no se puede asegurar que haya un número finito de estados.
- La representación se dificulta a medida que el número de salidas es mayor, debido a que se deben analizar todas las posibles combinaciones por separado.
- Hay tantos estados como combinaciones de entradas.

- Esta metodología está enfocada al desarrollo de aplicaciones utilizando compuertas lógicas y una señal de reloj, lo cual se puede implementar en un PLC con lenguaje FBD (véase anexo 4).
- **Diseño con redes de Petri.** Es una metodología propuesta por el matemático alemán Carl Adam Petri en 1962, en esta metodología se incluyen condiciones y eventos con los cuales se puede modelar sistemas automatizados y redes de computadoras. Una red Petri es un grafo formado por elementos denominados lugares, transiciones y arcos, con los que se desarrolla el diseño del automatismo (véase Figura 8); es una metodología apropiada para diseño de automatismos secuenciales. Este tema es presentado detalladamente en la bibliografía consultada¹.

Figura 8. Red de Petri.



Fuente: Autores.

En esta metodología, cada lugar se representa con una circunferencia, y las transiciones para cambiar de lugar con líneas horizontales que se colocan sobre los arcos que enlazan dos lugares. El lugar activo se

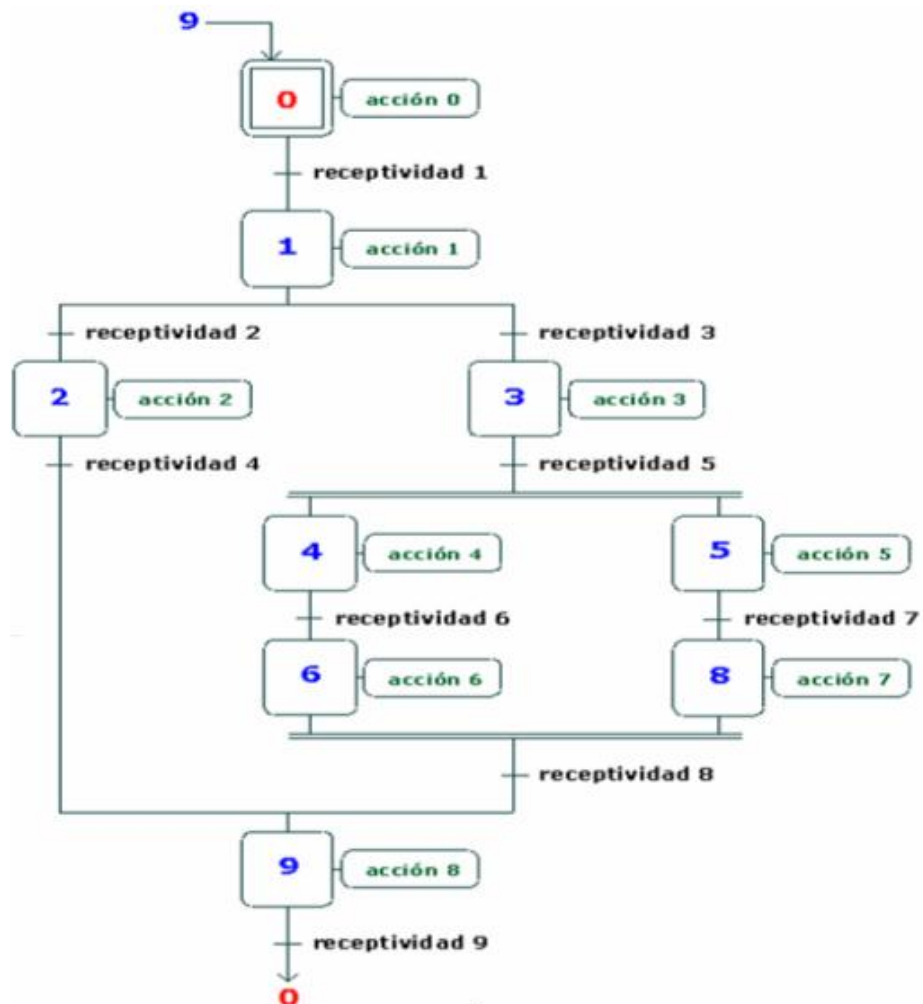
¹ Referencia bibliográfica N° 1

identifica con un punto en el centro de la circunferencia. En el ejemplo de la Figura 8, se muestra un lugar de encendido (motor = 1) y otro de apagado (motor = 0) para un motor, donde para cambiar de estado se requiere un flanco positivo de pulsadores de arranque y parada.

Características

- Las redes de Petri tienen gran potencial para modelar sistemas secuenciales asíncronos, de eventos concurrentes, los cuales son muy comunes en los procesos industriales.
 - Permiten la implementación en PLCs.
 - El poder de representación y el respaldo matemático de las redes de petri, hacen que sea una muy buena alternativa para el diseño de automatismos secuenciales.
-
- **Diseño con Grafcet (Gráfico de Mando Etapa/Transición).** Es una metodología desarrollada en Francia por la Asociación Francesa para la cibernética económica y técnica (AFCET) y la Agencia nacional para el desarrollo de la producción automatizada (ADEPA), dando como resultado la definición de un diagrama funcional que permite describir los comportamientos del automatismo, en relación a las informaciones que se reciben, imponiendo un funcionamiento riguroso, evitando de esta forma incoherencias, bloqueos o conflictos en el funcionamiento. Esta es la metodología seleccionada para realizar el proyecto, además hace parte del estándar para la programación de automatismos secuenciales IEC 61131-3 (véase Anexo 1).

Figura 9. Grafcet.



Fuente: Autores.

Para comprender las partes y el funcionamiento de Grafcet, se presenta una explicación detallada en el anexo 1.

Características

- Ayuda a estructurar la organización interna del programa
- Permite descomponer el problema en partes manejables, manteniendo simultáneamente la visión global del mismo.
- Es fácil de implementar en lenguaje de contactos (véase anexo 4).

- Una de las grandes ventajas que tiene esta metodología, es la existencia de software que posee una interfaz gráfica especializada para Grafcet.
- Los programas implementados utilizando esta metodología, son fáciles de interpretar y por lo tanto su depuración requiere de menor tiempo.
- En la mayoría de los casos, la actualización de un programa realizado mediante esta metodología, no requiere ser efectuada por la persona que realizo el programa original.
- Es independiente del lenguaje en que se va a implementar el programa de control.
- Permite considerar un diseño estructurado, que tiene en cuenta los modos de marcha, las alarmas y la supervisión.
- Se manejan tres niveles de representación en esta metodología, los cuales permiten visualizar el proceso desde diferentes puntos de vista, dependiendo del nivel de especialización del usuario.
- Permite desarrollar varias tareas en un solo estado y bifurcaciones de más de dos ramas.
- Este diagrama puede ser modificado o corregido, sin necesidad de volver a partes ya depuradas.

3.3.3 Diseño del circuito de control. En este apartado se asume que se ha elegido Grafcet como metodología de programación.

3.3.3.1 Diseño del Grafcet fundamental. Se debe realizar un esquema inicial, donde se tenga en cuenta la evolución básica del automatismo, es decir, aun no se consideran eventos esporádicos como alarmas, rearranques, modos de prueba, etc. (véase anexo 2).

Realización del esquema. Independientemente del lenguaje a utilizar, este esquema sirve de guía para la programación y se usa como apoyo para la depuración final del programa.

Para elaborar un esquema de esta metodología se pueden seguir los siguientes pasos.

- **Definición de las etapas del automatismo.** A partir de la definición de la funcionalidad (diagrama de tiempos y descripción de evolución), se enumeran los estados en los cuales se pueda encontrar el proceso, y con ellos definir las etapas de evolución del automatismo, por ejemplo la energización de un motor o la apertura de una válvula.
- **Definición de las receptividades.** Después de precisar el orden de evolución de los estados, se define una lógica combinatorial a partir de las condiciones que se deben cumplir para pasar de etapa a etapa, por ejemplo, cerrar una válvula cuando se haya llenado un tanque o cuando haya transcurrido un tiempo de operación determinado.
- **Definición de las acciones asociadas.** En este punto se establecen las acciones que debe ejecutar el programa, mientras el automatismo se encuentra en determinada etapa, por ejemplo, encender un indicador, energizar un motor, iniciar un contador, etc. Se recomienda que en la primera etapa se haga una inicialización del proceso, llevando todos los equipos al punto inicial, y estableciendo las marcas internas del PLC en cero, para asegurar que el proceso arranque en el punto establecido.

Es común que el primer bosquejo no se ajuste a las necesidades y sea preciso realizar modificaciones. Después de tener el esquema básico, se procede a realizar la programación y pruebas del diseño (véase anexo 4).

3.3.3.2 Diseño del Grafcet considerando GEMMA. Después de verificar el correcto funcionamiento del programa bosquejado en Grafcet básico, se procede a realizar la implementación de los eventos que haya considerado relevantes para el diseño (véase anexo 2), como lo son: rearranques, paradas de emergencia, modo a prueba de fallos, etc. luego, se deben realizar los procedimientos expuestos para el Grafcet básico. Es importante resaltar que en esta etapa, se realizan la mayor cantidad de aportes que mejoran el desempeño de la parte de mando (control). Las pruebas finales de depuración se deben contrastar con los objetivos propuestos al definir la funcionalidad, esto es lo que se tendrá en cuenta para verificar si la etapa de diseño del circuito de control ha finalizado.

3.3.4 Diseño de tableros de control y señalización. Este es uno de los ítems que depende del gusto y la creatividad del diseñador, ya que pueden existir infinidad de opciones de diseño, por lo tanto no se sugieren pasos formales para su elaboración, solo se recomienda tener en cuenta aspectos como:

- Distribuir el tablero en tres secciones:
 - Tablero de mando: en él se deben ubicar los elementos de maniobra (interruptores, pulsadores, etc.).
 - Tablero de señalización: en él se deben situar los indicadores que sirven como guía para determinar el estado del proceso.
 - Mímico: en él se debe ilustrar el proceso, mostrando el estado en el que se encuentre la parte operativa a cada instante del proceso, facilitando así la toma de decisiones respecto a la evolución del automatismo.
- Distribuir el tablero de mando de manera que la línea básica de evolución se distinga claramente de las opciones adicionales que se hayan diseñado para el proceso.

- Verificar las medidas exactas de donde se piense implementar el tablero, para especificar totalmente el diseño.
- El ambiente en el cual se va a ubicar el tablero, con el fin de elegir adecuadamente los elementos de mando y señalización, puesto que se pueden presentar inconvenientes de iluminación de los indicadores o el deterioro prematuro de los elementos de mando (véase anexo 3).

Otra buena alternativa es implementar una pantalla de interfaz con el operador (HMI), pero su limitante puede ser la disposición de recursos para su compra.

3.3.5 Lista del equipo seleccionado. Al igual que en la parte operativa se elabora la lista definitiva de elementos, especificando las referencias y cantidades necesarias, igualmente en esta lista se incluye el material adicional indispensable para su montaje (bases, cables, amarres, marquillas, canaletas, rieles, etc.).

3.4 RED LOCAL Y SCADA

Cuando se requiere conectar el automatismo a un sistema de supervisión y control, se deben definir los siguientes aspectos; La topología de interconexión, el medio físico de conexión, el protocolo o protocolos de comunicación y finalmente el software de presentación, en el cual se realiza la función de supervisión y control del proceso.

3.4.1 Red local. En la actualidad se ha hecho necesaria la integración de los equipos de la parte de mando (Controladores), para concentrar la información en ordenadores y con esto poder implementar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). Para cubrir dicha necesidad se han desarrollado múltiples opciones para la interconexión de equipos (redes locales industriales), por lo tanto, se hace necesario conocer

los criterios fundamentales para el diseño de una red local, los cuales se mencionan a continuación.

3.4.1.1 Selección de la topología de red. En la industria se usan las redes LAN para interconectar los dispositivos instalados en las plantas de producción, las topologías utilizadas son las siguientes:

- Estrella: en esta topología, todas las estaciones están conectadas a un nodo central que sirve de punto de enlace con todos los nodos periféricos.
- Anillo: en esta topología las estaciones se conectan en forma de lazo cerrado, cada estación tiene conexión con otras dos y los datos circulan en una única dirección, de forma que cada estación recoge los datos de la anterior y comprueba si ella es el destinatario y en caso contrario lo retransmite a la siguiente.
- Bus: En esta topología las estaciones están unidas a través de unas líneas comunes compartidas por todos los nodos, esta topología implica la implementación de un método de control lógico denominado MAC (Media Access Control), debido a que la disposición física de los equipos permite que solo uno ocupe el bus para transmitir.

Existe una topología especial derivada de la topología tipo Bus, la cual es conocida como bus de campo, o bus industrial el cual se define como “el conjunto de interfase física y protocolos de aplicación que constituyen el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales” (Gélvez Julio, Monografía, Redes de comunicación industriales. 2002, 34).

Se presenta un cuadro comparativo de las características más relevantes de las tres topologías mencionadas, donde se evidencia que lo más recomendable es usar la topología tipo Bus:

Cuadro 2. Comparación de topologías de red.

Topología	Estrella	Anillo	Bus
Coste de conexión	Alto	Medio	Bajo
Ampliación	Fácil	Difícil	Fácil
Fiabilidad	Baja	Media	Alta
Retardos	Medio	Alto	Bajo
Rendimiento Global	Bajo	Medio	Alto

Fuente: Presentación del curso de Redes Locales en la Industria realizada por Carlos E. Niño

3.4.1.2 Selección del tipo de conexión física. Indistintamente de la topología elegida, se puede utilizar cualquiera de los siguientes tipos de conexión física:

- Par trenzado: Consiste en dos alambres de cobre aislados, trenzados en forma helicoidal, con el propósito de reducir la interferencia eléctrica de pares similares cercanos. Se pueden usar tanto en transmisión de señales digitales como analógicas y el ancho de banda depende del grosor del cable y la distancia que cubra, se pueden lograr varios Mbps en unos kilómetros.
- Cable Coaxial: Tiene un mejor blindaje que el par trenzado por lo cual puede abarcar distancias mayores y a mayor velocidad. Existen dos clases de cable coaxial el de banda base (50 ohms) usado comúnmente

para la transmisión digital y el de banda ancha (75 ohms) usado para la transmisión analógica.

- Fibra óptica: Presenta muy buenas características desde el punto de vista eléctrico y mecánico, pero presenta una desventaja debida a su elevado costo. Los cables de fibra óptica están formados por varios conductores ópticos guiados por un núcleo de cuarzo o material plástico sintético. Este sistema de transmisión esta basado en el principio de refracción de la luz y por consiguiente tiene tres componentes: la fuente de luz (diodo láser), el medio de transmisión (fibra de vidrio ultra delgada) y un receptor (foto diodo laser). Este medio transporta señales binarias a muy altas ratas de transmisión.
- Radiofrecuencia: las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar largas distancias y sortear obstáculos sin mucho problema, por esa razón son muy usadas en las comunicaciones, además son omnidireccionales por lo que el transmisor y el receptor no deben estar alineados rígidamente.

3.4.1.3 Selección del protocolo para el Bus de campo. En la industria se utilizan tres niveles de buses de campo: nivel de fabrica (información), nivel de celda (control o automatización) y nivel de dispositivo (dispositivos de campo). Esta clasificación se debe a las diferentes necesidades que deben ser cubiertas dentro de una industria, provocando que se desarrolle una gran cantidad de protocolos para buses de campo. En el cuadro 3 se presentan los buses de campo mas utilizados para el nivel de celda, la cual puede ser utilizada como criterio de selección. Se encuentra una amplia información a cerca los Buses de campo y los protocolos utilizados para los diferentes niveles en la bibliografía consultada¹.

¹ Referencia bibliográfica N° 6

La tendencia actual es implementar redes Ethernet TCP/IP a nivel de celda, las cuales presentan un mejor rendimiento que las mencionadas anteriormente. Con la utilización del protocolo TCP/IP (arquitectura abierta) se facilita la supervisión de los procesos de manera remota a través de Internet, entre muchas otras ventajas que trae la utilización de dicha tecnología.

Cuadro 3. Buses de campo comúnmente utilizados para el nivel de celda.

	ControlNet	Foundation Fieldbus	Interbus	Modbus Plus	Profibus
Propuesta	Allen Bradley	ISP y World FIP	Phoenix (Alemania)	Modicon (USA)	Siemens (Alemania)
Estándar	CONTROLNET		INTERBUS	MODBUS PLUS	PROFIBUS (EN50170)
Topología	Lineal, Estrella, Arbol	Lineal	Anillo	Lineal	Red Eléctrica: Lineal, estrella. Red óptica: lineal estrella y anillo. Inalámbrico: Punto a punto/multipunto
Velocidad	5 Mbps	H1: 31.25 kbps H2: 1-2.5 Mbps	500 kbps	19.2 kbps	RE: 9.6 kbps 1.5 Mbps RO: 1.6 kbps 12 Mbps I: 1.5 Mbps
Num. Máx. de estaciones	99 por red	32	256	64	127 (32 por segmento)
Cable	Coaxial, cable, fibra óptica	Par trenzado, cable FO e inalámbrico por radio frecuencia	Par trenzado, TP, Cable FO	Par trenzado	Bifilar Apantallado, Cable FO e inalámbrico por infrarrojos
Alcance de la red	RE: 6 km RO: 30 km	H1: 1.9 km H2: 750 m (en RE)	400 m (por segmento)	500m (por segmento)	RE: 9.6 km RO: 90 km I: 15 km
Metodo de acceso	CTDMA			Paso de testigo, token pass	Paso de testigo token pass (maestro/esclavo subyacente)
Protocolo	CONTROLNET	FIELDBUS	INTERBUS	MODBUS	PROFIBUS

Fuente: Referencia bibliográfica N° 6

3.4.2 Software de presentación SCADA. Se trata de una aplicación especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de

producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo, mediante protocolos gestionados por sistemas de intercambio dinámico de datos (DDE), y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador, además, provee toda la información que se genera en el proceso productivo. En la bibliografía consultada se encuentran ejemplos de aplicación de software de este tipo¹.

En la industria los diseñadores de automatismos deben conocer las características generales de un software de presentación, debido a que en el mercado existen diferentes proveedores de estos paquetes, y se debe estar en capacidad de elegir de manera adecuada y conveniente. A continuación se presenta una recopilación de los ítems que se consideran de importancia al momento de seleccionar dicho software².

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente con el usuario, con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Debe soportar la mayor cantidad de protocolos posible (drivers de comunicación), de manera que pueda ser compatible con múltiples marcas de PLCs, ya que la aplicación puede poseer equipos de diferentes fabricantes.
- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser transferidos a una hoja de cálculo.

¹ Referencias bibliográficas N° 13 y N° 14

² Referencias bibliográficas N° 16, 13 y 14

- Ejecución de programas que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución.
- Disponibilidad de Librerías de funciones para lenguajes de uso general, que permiten personalizar la aplicación.

Componentes básicos de un software de supervisión. Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes¹:

- Despliegues gráficos: es un paquete para la elaboración de dibujos, formas, gráficos, etc. donde se representa pictóricamente la planta y/o varios de sus subsistemas
- Validación de datos: Este módulo permite recibir, comparar y validar los valores recibidos campo. Aun cuando esta función recae en el PLC, se utiliza también este software para prevenir al operario de un dato erróneo o fuera de rango.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- Gestión y archivo de datos (históricos): se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Tendencias: Este módulo permite desplegar graficas de tendencias en tiempo real de las variables del proceso.
- Alarmas: Es un módulo dedicado exclusivamente a esta tarea, y tiene prioridad sobre los demás dado lo primordial de este aspecto.

¹ Referencia bibliográfica N° 16

- Aplicaciones administrativas: es un módulo usado para el manejo de estadísticas, análisis y modelamiento del proceso, simulación y mantenimiento del sistema.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y el PC, y entre éste con el resto de elementos informáticos de gestión.

4 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

Todo diseño realizado requiere de un respaldo teórico, que permita ejecutar la revisión de fallos, o cambios futuros en el control, por lo tanto, en esta parte se sugieren elaborar una serie de documentos que expliquen de manera detallada, la ubicación y funcionamiento del automatismo diseñado. Se puede incluir un manual que asesore al técnico que va a realizar el montaje.

A continuación se muestran los documentos utilizados para respaldar el diseño, y una breve descripción de las características que se pueden incluir en estos.

4.1 Planos eléctricos. Se sugiere realizar los siguientes esquemas eléctricos: de conexiones de potencia y control, ya sea representación unifilar, multifilar (de funcionamiento), y el esquema de interconexión o enlace, este último se puede realizar en su totalidad, solamente cuando se hayan determinado las referencias exactas de los equipos con los que se va a trabajar. Estos planos son una valiosa ayuda para el mantenimiento del equipo, y para la localización de posibles daños que permitan proceder a su reparación. Se encuentra una amplia información acerca de la elaboración de los planos eléctricos en la bibliografía consultada¹.

Las siguientes son las características que se deben tener en cuenta al momento de elaborar los esquemas eléctricos:

- Un esquema debe ser realizado en forma tal que pueda ser interpretado por cualquier técnico. Para ello es necesario que se indiquen claramente los circuitos de que esta compuesto, así como su ciclo de funcionamiento.

¹ Referencia Bibliográfica N° 12

- Los esquemas se diseñan siempre en estado de reposo, es decir, considerando los contactores y relés con las bobinas desenergizadas.
- Una vez realizado el esquema de potencia y funcionamiento, debe hacerse el correspondiente esquema de situación e interconexión, en el cual se vea con claridad la forma en que debe realizarse el conexionado de los elementos exteriores (red de alimentación, motores, elementos de mando y señalización, etc.), con el tablero de control.
- Es recomendable realizar un esquema adicional de conexiones multifilar destinado al personal que tenga que realizar el cableado.
- Es importante diferenciar las conexiones nuevas de las antiguas, esto se puede hacer por medio de símbolos o colores.
- Se debe tener presente qué simbología (Europea o Americana) se utiliza en donde se realiza el proyecto.

4.2 Planos de ubicación. Para cualquier proyecto se sugiere realizar un esquema de emplazamiento de los equipos, de manera que el técnico que vaya a realizar el montaje, tenga una idea de la ubicación física de los elementos a implementar.

4.3 Planos mecánicos. Si es necesario el cambio o implementación de equipos en la parte operativa, se deben realizar los respectivos planos mecánicos, en ellos se deben plasmar en detalle las dimensiones, despieces y los diferentes acoples mecánicos, entre otros. Para la realización de estos planos es de gran ayuda la asesoría de un ingeniero mecánico, un diseñador industrial o un dibujante técnico.

4.4 Guía para el montaje. En esta, se plantean una serie de pautas para realizar el trabajo de montaje en el menor tiempo y utilizando la menor cantidad de recursos posible. Se recomienda utilizar un software como PROJECT de Microsoft, en el cual se definen las tareas por realizar, y se

distribuyen el tiempo y los recursos disponibles para la realización del montaje. En resumen, en esta guía se presentan el cronograma de tareas a realizar, los recursos necesarios (materiales y mano de obra), también se deben incluir las precauciones que se deben tener en cuenta durante el montaje.

Comúnmente se presentan las siguientes tareas en la guía de montaje:

- Adecuación del espacio requerido para los actuadores.
- Adecuación del espacio requerido para los sensores.
- Montaje del equipo respectivo a la parte operativa.
- Adecuación y montaje de los equipos de potencia requeridos.
- Adecuación de cabinas para el tablero de control.
- Adecuación de cabinas para la ubicación de PLC y relés.
- Montaje del equipo respectivo a la parte de mando.
- Cableado.
- Pruebas de funcionamiento.

4.5 Guía de operación. Aquí se debe describir detalladamente, la manera como se debe manipular el tablero o tableros de control (remoto y local), se sugiere comenzar especificando el funcionamiento normal del automatismo, y posteriormente la forma de manejar las eventualidades que se presenten.

4.6 Guía para el mantenimiento. Este documento, debe contener una serie de ítems para realizar el mantenimiento del automatismo diseñado, tales como:

- Lista y ubicación de los puntos de prueba para verificar el funcionamiento de los actuadores, tanto en potencia como en control.
- Recomendaciones respecto a la sustitución de relés, como posibles referencias y marcas.
- Se deben anexar los planos más relevantes y los diagramas de tiempo del proceso.
- Este manual debe incluir una explicación breve del circuito de control, y una impresión del mismo, de manera que si se requieren hacer ligeras variaciones como: cambios en el valor de preselección de temporizadores, y de contadores o direccionamiento de nuevas salidas, se tenga una guía rápida para realizarlos. Por lo tanto en la impresión del programa se debe incluir una lista de entradas, salidas, bits y palabras de memoria utilizadas, además se debe especificar la función que realiza cada bloque interno utilizado en el programa (temporizadores, contadores, drums, etc.), para que sea fácilmente identificado por parte de la persona que este a cargo del mantenimiento.
- Si se han empleado nuevos sensores y/o actuadores, es importante anexar las hojas de datos de los mismos. En cuanto al equipo antiguo, se debe anotar la ubicación que tienen las hojas de datos

5. APLICACIÓN: MARTILLO DE LAS LÁMINAS COLECTORAS EN LOS PRECIPITADORES DE LAS UNIDADES II Y III DE TERMOPAIPA

En este capítulo se presenta un ejemplo de aplicación de la guía expuesta en los capítulos anteriores:

5.1 APROXIMACIÓN AL PROCESO.

Este apartado corresponde a la macro-etapa M1 de la guía, aquí se muestran los resúmenes requeridos para avanzar a la siguiente macro-etapa (diseño).

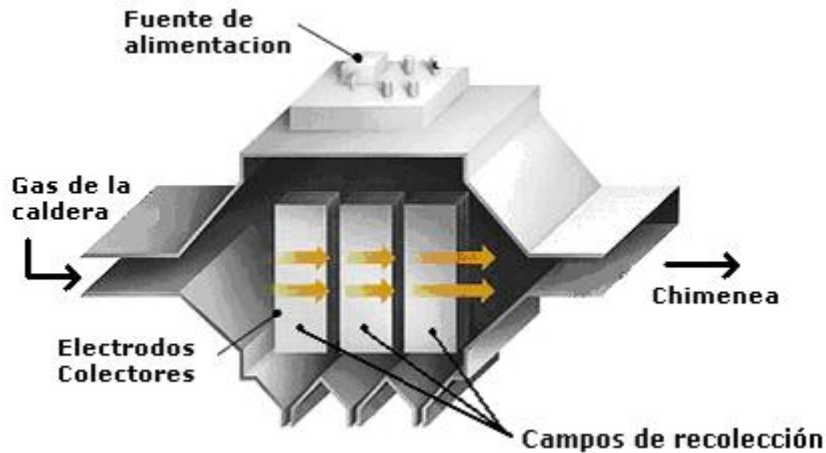
5.1.1 Descripción general del proceso. La central Termopaipa genera energía eléctrica empleando vapor a presión. Para producir este vapor, el agua es sometida a altas temperaturas en una caldera, la cual utiliza carbón como elemento combustible. En el proceso de combustión, existen residuos como ceniza y escoria que deben ser recolectados para cumplir con los requerimientos ambientales.

Después de la combustión del carbón la recolección de las partículas sólidas se efectúa en dos etapas. La escoria y la ceniza que se han depositado en el fondo del hogar de la caldera por acción de la gravedad, se sustraen de forma hidráulica, mediante un sistema de bombeo de agua a presión, hacia un depósito de deshidratación para su posterior tratamiento. Por otra parte los gases de combustión junto con la ceniza volátil, se transportan mediante aire forzado, llevándolos hacia un equipo colector de partículas (Precipitador electrostático), el cual acumula la ceniza, separándola de los gases (véase Figura 10).

Descripción del precipitador. El precipitador electrostático es un equipo que permite separar la ceniza volátil de los gases de combustión, utilizando campos eléctricos. La ceniza volátil se extrae de la caldera y se conduce a un

sistema de tuberías mediante la circulación forzada de aire (ventilador de tiro inducido) produciendo el desplazamiento hasta el precipitador electrostático.

Figura 10. Vista general de un Precipitador electrostático.



Fuente: www.eas.asu.edu.

El precipitador está formado por una serie de láminas recolectoras de ceniza (electrodos colectores) que se intercalan con unas barras conductoras (electrodos de descarga). Los espacios entre electrodos colectores y electrodos de descarga son de 300 mm ($D/2$), y permiten la circulación del gas de combustión y la ceniza volátil a través del precipitador (véase Figura 11).

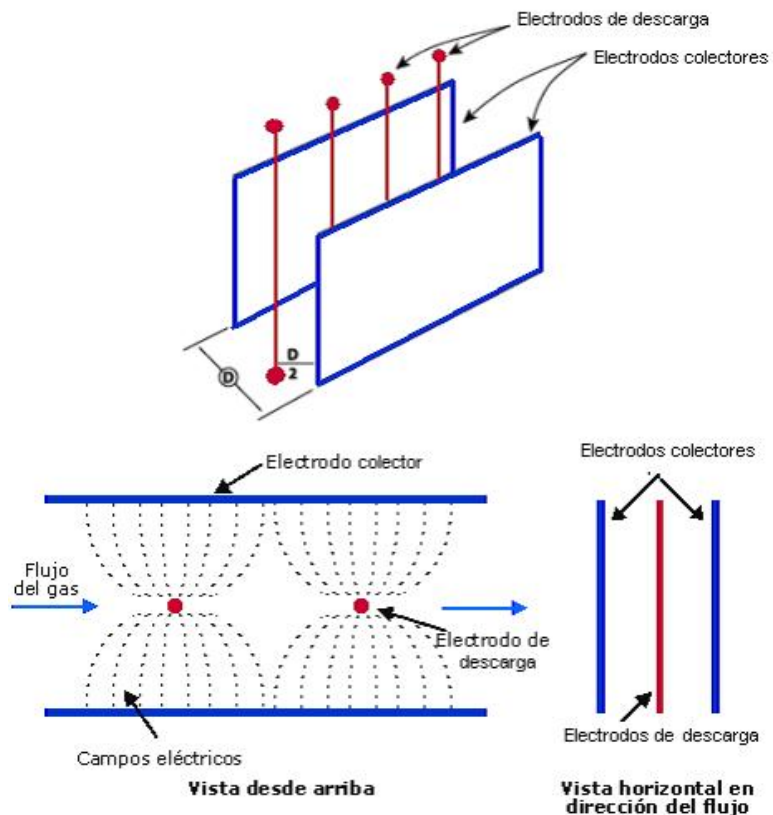
Para la unidad II de generación (UII) se cuenta con dos precipitadores (A y B) actuando en paralelo, cada uno posee tres campos de recolección, compuestos por 28 láminas colectoras. En el caso de la unidad III de generación (UIII) se cuenta con un precipitador, con tres campos de recolección, compuestos por 47 láminas colectoras.

En los electrodos de descarga se aplica voltaje continuo (DC) de magnitud entre 35 y 50 Kilovoltios, produciéndose campos eléctricos de intensidad variable entre los espacios existentes, así las partículas que atraviesan las brechas entre los electrodos se ionizan, y de esta manera son atraídas hacia

las láminas recolectoras. Esto se conoce como “Proceso Cottrell de precipitación” (véase apartado 5.1.5).

El precipitador posee seis mecanismos (dos por campo) para golpear lateralmente los electrodos de colección con el fin de recuperar la ceniza adherida a ellos. Este mecanismo consta de un motor (Trifásico de inducción de 4 polos, reductor 1/2537, ¼ HP), cuyo eje va hasta el fondo del campo y en el cual se encuentran acoplados una serie de martillos que realizan el trabajo mencionado. Los golpes se efectúan a intervalos de tiempo predeterminados y en cada campo estos tiempos son diferentes, ya que el volumen de ceniza a recolectar disminuye a medida que atraviesa el precipitador.

Figura 11. Disposición interna de los electrodos.

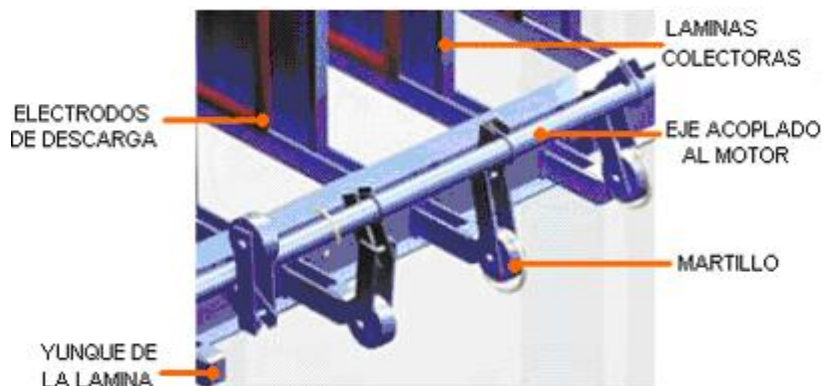


Fuente: www.seattle.battelle.org.

Descripción del dispositivo de golpe de electrodos de descarga. Los electrodos de descarga, los cuales se encuentran a una tensión de 50 KV, también acumulan cierta cantidad de ceniza, y para mantener un óptimo proceso de ionización es necesario sacudirlos, para ello existe un sistema de golpeteo con martillos de gravedad. Dichos martillos están dispuestos en la parte superior del precipitador, montados en árboles con diferentes ángulos de fijación para impactar los yunques de golpe. El movimiento es originado por un motor ubicado en la parte superior de la viga de techo y es transmitido por un sistema de cadena y ruedas dentadas.

Descripción del dispositivo de golpe para las láminas colectoras. En estas láminas es donde se acumula la gran mayoría de la ceniza ionizada, para sacudir las láminas existe otro sistema de golpeteo con martillos similares al anterior, los cuales están dispuestos en la parte baja del precipitador (véase figura 12).

Figura 12. Dispositivo de golpe para las láminas colectoras.



Fuente: www.enven.cz.

En este caso el movimiento es originado por un motor montado en el lado externo de la pared lateral, y conectado al árbol mediante un acoplamiento de tipo tapón. En este sistema la secuencia de martilleo es determinante, ya que se debe dejar acumular suficiente ceniza para que se logre compactar y

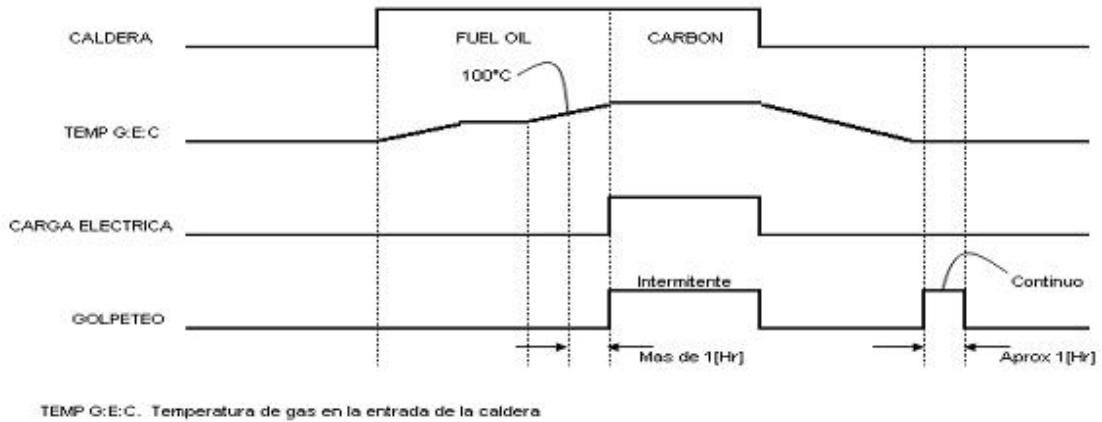
al recibir el golpe caiga en las tolvas de recolección, de lo contrario al golpear las laminas, las partículas sin compactar siguen siendo muy livianas, y el flujo que atraviesa el precipitador nuevamente las arrastra llevándolas al exterior, provocando un exceso en las emisiones de ceniza a la atmósfera. Por otra parte si se deja demasiado tiempo acumular dicha ceniza, esta llenará gran parte del espacio entre las láminas colectoras y los electrodos de descarga, produciendo excesivos efluvios de contorno (véase apartado 5.1.5), ocasionando el disparo de las protecciones, y terminando así con el proceso de ionización de las partículas.

Los anteriores resúmenes hacen parte de la etapa 2 de la guía, en lo que se refiere al manual de fabricante.

5.1.2 Diagramas de tiempo

Encendido del precipitador. Como se observa en la Figura 13, en el encendido de la caldera se utiliza fuel-oil, luego al alcanzar una temperatura determinada (100 °C), se espera mínimo una hora para cambiar de combustible en la caldera (carbón pulverizado), en ese instante se pone en funcionamiento el precipitador, energizando los campos e iniciando el martilleo intermitente para las láminas colectoras, en este estado permanece hasta el momento en el cual se apaga la caldera, por último cuando la temperatura del gas baja a temperatura ambiente, se procede a realizar un ciclo de limpieza, utilizando el modo de golpe continuo.

Figura 13. Proceso de encendido del precipitador.

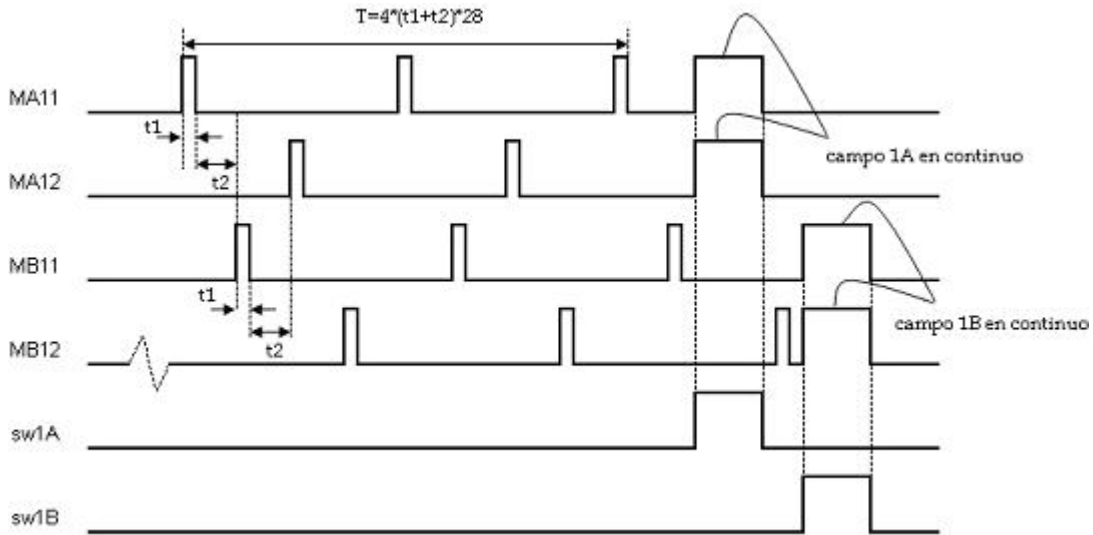


Fuente: Manual del Precipitador Electrostático.

Secuencia de martilleo de las láminas colectoras unidad II. En la figura 14 se muestra la secuencia de martilleo para el campo 1 de ambos precipitadores sugerida por el fabricante, con la cual se deben golpear las láminas colectoras de ceniza. Existe un tiempo de encendido (t_1) igual para todos los motores, y un tiempo de espera (t_2) que depende del campo; el cálculo de estos tiempos se muestra en el apartado 5.1.3. El ciclo mostrado es el mismo para todos los campos.

El periodo de funcionamiento para el campo 1, corresponde al encendido y apagado cíclico de 4 motores en el siguiente orden: MA11, MB11, MA12 y MB12 durante 28 veces, de manera que todos los martillos correspondientes a cada motor golpeen las láminas colectoras.

Figura 14. Diagrama de tiempos unidad II, campo 1A y 1B.



Fuente: Manual del Precipitador Electrostático.

Donde:

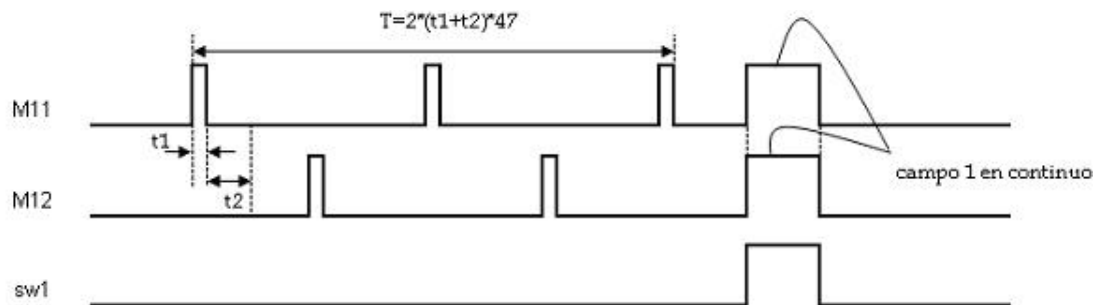
- MA11 es el motor 1 del campo 1 del precipitador A
- MA12 es el motor 2 del campo 1 del precipitador A
- MB11 es el motor 1 del campo 1 del precipitador B
- MB12 es el motor 2 del campo 1 del precipitador B
- sw1A Interruptor de selección (intermitente/continuo) campo 1 precipitador A
- sw1B Interruptor de selección (intermitente/continuo) campo 1 precipitador B
- T periodo de golpe del campo (duración de una vuelta del motor)
- t1 tiempo de encendido (igual para todos los campos)
- t2 tiempo de apagado

Secuencia de martilleo de las láminas colectoras unidad III. En la figura 15 se muestra la secuencia de martilleo sugerida por el fabricante para el campo 1. Existe un tiempo de encendido ($t1$) igual para todos los motores, y

un tiempo de espera (t_2) que depende del campo; el cálculo de estos tiempos se muestra en el apartado 5.1.3. El ciclo mostrado es el mismo para todos los campos.

El periodo de funcionamiento para el campo 1 de la unidad III, corresponde al encendido y apagado cíclico de 2 motores en el siguiente orden: M11 y M12 durante 47 veces, de manera que todos los martillos correspondientes a cada motor golpeen las láminas colectoras.

Figura 15. Diagrama de tiempos unidad III, campo 1



Fuente: Manual del Precipitador Electrostático.

Donde:

- M11 es el motor 1 del campo 1
- M12 es el motor 2 del campo 1
- sw1 Interruptor de selección (intermitente/continuo) campo 1
- T periodo de golpe del campo (duración de una vuelta del motor)
- t_1 tiempo de encendido (igual para todos los campos)
- t_2 tiempo de apagado

Las recopilaciones anteriores hacen parte de la etapa 2 de la guía, en lo que se refiere a los diagramas de tiempo.

5.1.3 Cálculo de tiempos.

Para definir los tiempos t_1 y t_2 correspondientes a cada campo de las unidades II y III, el fabricante realiza los siguientes cálculos.

Se define

$$T = (t_1 + t_2) * z * m \quad (1)$$

Donde:

T: Ciclo de golpe.

t_1 : Duración de operación del motor de golpe.

t_2 : Duración de parada del motor de golpe.

m: Número de ángulos de división existente entre martillos. (28 en UII y 47 en UIII)

z : Número de martillos que golpean las láminas por ciclo. (4 en UII y 2 en UIII)

- Determinación de la duración de la operación de los motores

Numero de revoluciones del motor = 1800 r.p.m

Relación de reducción de los engranajes = 1/2537

Por lo tanto, el número de revoluciones del árbol de martillos es:

$$\frac{1800}{2537} = 0.7 \text{ r.p.m} \quad (1.41 \text{ min/ rev})$$

Para UII existen 28 martillos en el árbol, el tiempo necesario para el trabajo del martillo es:

$$t_1 = \frac{1.41}{28} (\text{min}) = \frac{84.6}{28} (s) = 3(s)$$

Para UIII existen 47 martillos en el árbol, el tiempo necesario para el trabajo del martillo es:

$$t1 = \frac{1.41}{47}(\text{min}) = \frac{84.6}{47}(s) = 1.8(s)$$

- Determinación de la duración de parada de los motores del campo 1

De la ecuación (1)

$$t2 = \frac{T}{z * m} - t1 \quad (2)$$

Definiendo $T = 20 \text{ (min)} = 1200 \text{ (s)}$.

Para Ull se tiene

$$t2 = \frac{1200}{4 * 28} - 3 = 7.7 \text{ (s)}$$

Para Ulll se tiene

$$t2 = \frac{1200}{2 * 47} - 1.8 = 11 \text{ (s)}$$

De igual manera se realizan los cálculos de los tiempos para los demás campos. En la cuadro 4 se presentan los resultados.

Cuadro 4. Tiempos de la secuencia de golpe.

UBICACIÓN	Periodo Asignado (min)	Tiempo de encendido (s)	Tiempo de apagado (s)
UNIDAD II			
Campo 1A y 1B	20	3	7,7
Campo 2A y 2B	40	3	18,4
Campo 3A y 3B	90	3	45,2

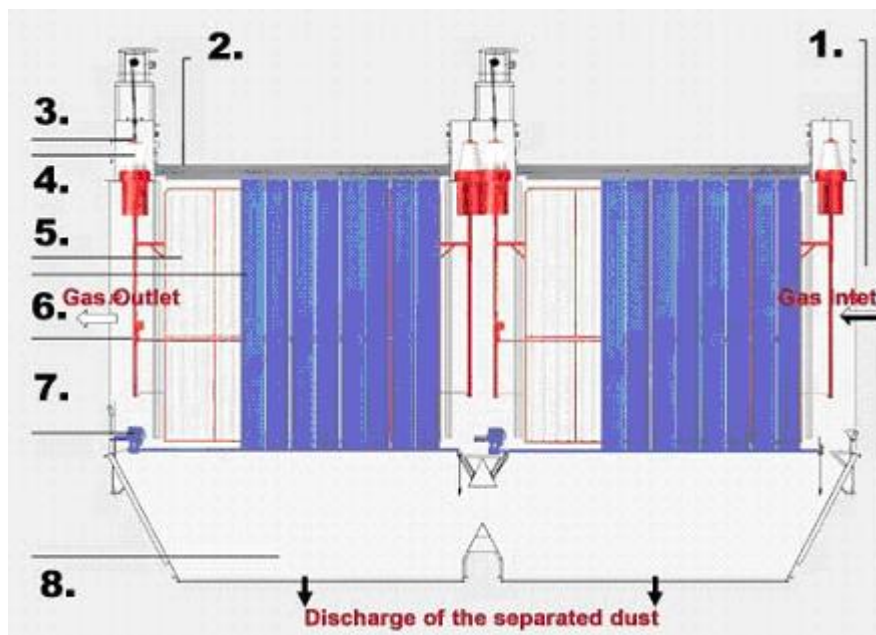
UNIDAD III			
Campo 1	20	1.8	11
Campo 2	40	1.8	23,7
Campo 3	90	1.8	55,6

Fuente: Referencia bibliográfica N° 3.

Los datos anteriores hacen parte de la etapa 2 de la guía, en lo que se refiere al manual del fabricante.

5.1.4 Listado de equipos. Este apartado corresponde a la etapa 6 de la guía, en este se recopila la información correspondiente a los equipos disponibles, que actualmente se están utilizando para la realización del proceso de recolección de ceniza, en los precipitadores de las unidades II y III de Termopaipa.

Figura 16. Equipo del precipitador electrostático.



Fuente: www.enven.cz.

1 Lámina de distribución: permite orientar el flujo de entrada uniformemente por toda el área del precipitador

2 Equipo interno:

- Electrodo de descarga
- Electrodo colector

3 Fuente de alimentación de los electrodos de descarga: su tensión está en el rango de 30 a 50 [kV] de corriente continua.

4 Aisladores de porcelana: sistema desde el cual se suspenden los electrodos de descarga.

5 Electrodo de descarga (tubulares).

6 Electrodo colector (láminas).

7 Sistema sacudidor de las láminas colectoras.

8 Tolvas de recolección de la ceniza precipitada.

Características:

- **Equipo Mecánico**

Precipitador Electrostático:

- Tipo: horizontal al aire libre, construcción de acero ASTM36, espesor 4.5mm
- Número de secciones colectoras (campos): tres
- Número de conductos de gas: 28 brechas (UII) y 47 (UIII)
- Precipitadores por unidad: dos (UII) y uno (UIII)
- Espacio entre los conductos de gas: 300mm

Tobera de entrada y salida y dispositivo de distribución de gas:

- Diseñada para la distribución uniforme del flujo del gas en el área activa del precipitador, para obtener la máxima eficiencia de colección de ceniza
- Construcción: Plancha de acero ASTM A36, espesor 4.5 mm

Tolvas y depósito de polvo:

- Están dispuestos debajo de los campos para la colección de la ceniza desprendida de las láminas colectoras
- Forma: Pirámide invertida
- Número de tolvas por precipitador: Seis
- Construcción: Plancha de acero ASTM A36, espesor 4.5 mm

Electrodos de colección:

- Tipo: Mitsubishi-Lurgi modelo "CSU", en acero ASTM A569

Electrodos de descarga:

- Tipo: Mitsubishi-Lurgi Spiked Isodyn B5 para el primer campo, W17 para segundo y tercer campo, en acero ASTM A569

- **Equipo Eléctrico**

Unidad de potencia:

- Modelo: GK – 600A S11A
- Salida: DC 50.000 V, 600mA
- Tablero de Control: De acero, cubículo encerrado con puerta delantera, uso interior

Interruptor de alta desconexión:

- Operación manual de polo simple a instalarse en la caja de interruptor de desconexión H.T

Dispositivo de golpe de electrodos de descarga:

- Motor: 3 fases, CA 440 V, 60 Hz, 0.4 Kw, 4 polos
- Estación de arranque-parada de 440V

Dispositivo de golpe para las láminas colectoras:

- Motor: 3 fases, CA 440 V, 60 Hz, 0.4 Kw, 4 polos
- Reductor: relación 1/2537
- Estación de arranque-parada de 440V

PLC:

- Este equipo controla la secuencia de martilleo de los precipitadores de las dos unidades
- Marca: Gould PC 0185 Programador P80110, no posee comunicación con PC (véase figura 17)
- Lenguaje de programación: Lista de Instrucciones
- Número entradas-salidas: 16-12
- Comunicación otros PLCs: No disponible
- Respaldo de Programa: No existente

Figura 17. PLC Gould.



Fuente: Autores.

- **Condiciones de operación**

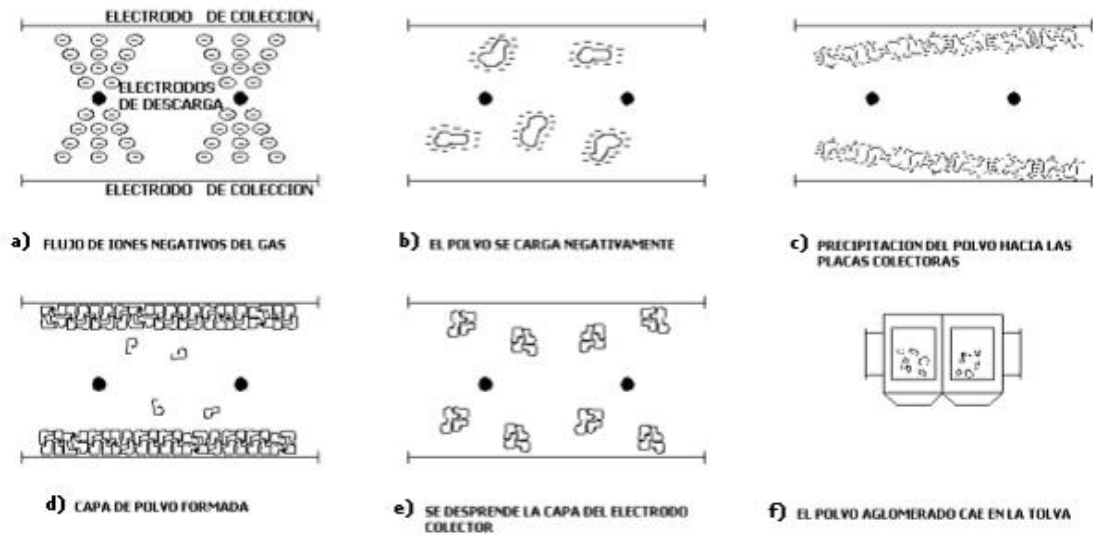
- Flujo de gas en la entrada del precipitador: 273.700 Nm³/h
- Temperatura del gas en la entrada del precipitador: 132 °C
- Presión de gas en la entrada del precipitador: -400 mmH₂O
- Carga de polvo: (15-43) g/Nm³
- Eficiencia: 99.4 %

5.1.5 Documentación adicional. En este apartado se realizan los resúmenes que hacen parte de la etapa 4 de la guía. Los fenómenos que explican el funcionamiento de precipitador son los siguientes.

Proceso Cottrell de precipitación. La figura 18 representa la evolución de este proceso, el cual consta de las siguientes etapas: ionización de los gases, carga del polvo, precipitación, formación de la capa, sacudida del colector y la caída del polvo en la tolva.

a) Ionización del gas. El voltaje aplicado a los electrodos de descarga es suficiente para que se desprendan miles de millones de electrones que bombardean el gas en la zona cercana a dichos electrodos. La fuerza del bombardeo hace que se formen iones negativos y positivos del gas, los cuales algunas veces se hacen visibles con la aparición de una corona azul. Los iones responden a la fuerza electrostática, moviéndose hacia los electrodos de carga opuesta.

Figura 18. Proceso Cottrell de precipitación.



Fuente: Referencia bibliográfica N°15

- b) Carga del polvo. Aquí las partículas de polvo adquieren la carga eléctrica negativa cuando atraviesan las brechas entre los electrodos, debido al choque con los iones negativos del gas, quedando listas para ser arrastradas hacia las placas colectoras.
- c) Precipitación del polvo. Es la parte del proceso en el que las partículas con carga negativa son atraídas por las placas colectoras y permanecen unidas a ellas por fuerzas eléctricas.
- d) Formación de la capa de polvo. Las capas de polvo precipitadas recientemente se van superponiendo a las anteriores, aumentando la resistividad entre electrodos lo que impide progresivamente que la carga de las últimas partículas pase al electrodo colector, debido a que el polvo tiene su resistencia eléctrica característica; la resistencia del polvo a este flujo de corriente se denomina "resistividad del polvo".

e) Sacudida del electrodo colector. Se produce cuando se ha formado una gran capa de polvo y las partículas que primero se precipitaron han perdido su atracción. Las partículas recientemente precipitadas mantienen una fuerza de atracción que las hace permanecer unidas al electrodo colector. La sacudida del electrodo hace que todo el polvo se desprenda formando conglomerados de partículas más grandes que las originales, de manera que no ingresan de nuevo a la corriente del gas (rearrastre)¹.

Efluvio de contorno y descargas anormales. Existe otro fenómeno relacionado con este proceso llamado efluvio de contorno. Para la máxima eficiencia del proceso de precipitación se necesita la máxima aplicación de tensión, es decir que a mayor carga eléctrica mayor intensidad del campo, con lo cual se colectan mayor cantidad de partículas de polvo, el inconveniente de aplicar una alta tensión, son los efluvios de contorno, que son descargas eléctricas de corta duración que se consideran como corto circuito, entonces por un instante se interrumpe la alimentación suspendiendo el fenómeno de precipitación.

La máxima eficiencia del precipitador se obtiene cuando se tiene la máxima tensión aplicada, con la mínima frecuencia de ocurrencia de efluvios. El valor de tensión donde ocurre esta máxima eficiencia fluctúa según las condiciones del precipitador Electrostático (Caudal del gas, temperatura, composición del gas, concentración del polvo, etc.)

Además del efluvio existe la descarga luminosa y descarga de arco (descargas anormales), que al ocurrir producen el mismo efecto del efluvio,

¹ El golpeo con fuerza excesiva hace que el polvo sea rearrastrado y puede provocar fallas mecánicas de las placas, en tanto que si es insuficiente, el polvo se concentrará en exceso y esto generará un funcionamiento eléctrico deficiente y una menor eficiencia de recolección (Referencia bibliográfica N° 10 p. 20-131)

suspenden la precipitación, estas descargas normalmente ocurren como consecuencia del efluvio, por otra parte, si estas ocurren en otro instante se corta inmediatamente la corriente para suprimir este efecto, y en seguida se reestablece la corriente para permitir la formación de descarga de corona normal. La medida para evitar estas descargas anormales es bajar la tensión de alimentación, reduciendo la eficiencia del precipitador.

Las causas para las descargas anormales pueden ser: muy poca distancia entre electrodo colector y de descarga, exceso de polvo, aumento de la temperatura, modificación en la composición del gas.

Circuito de control del automatismo. En el anexo 9 se muestra la representación del programa de control, extraído de las instrucciones del PLC Gould, el cual gobierna la secuencia de encendido y apagado de los motores sacudidores, ya que no existe respaldo del programa o documentación del mismo.

5.1.6 Recomendaciones de los operarios. Este apartado corresponde a la etapa 7 de la guía. Las recomendaciones hechas por parte de los operarios para el martilleo en los precipitadores, fueron las siguientes:

- Opción de dejar variable el tiempo de secuencia de martilleo
- Incluir alarmas cuando un motor falle

Aquí se concluye la etapa de aproximación al proceso propuesta en la guía, se ha determinado la funcionalidad actual del proceso a partir de los diagramas de tiempo y el manual del fabricante, se ha enumerado el equipo disponible para el proyecto y se conocen de manera general los fenómenos

implicados en el funcionamiento del precipitador. Para avanzar a la siguiente etapa es necesario realizar un listado de observaciones que se deben tener en cuenta para la elaboración del diseño.

Observaciones.

- El ciclo de operación intermitente del martilleo es muy importante para la eficiencia del Precipitador.
- Por medio de un PLC, se genera la secuencia de martilleo para las unidades II y III.
- El circuito de control no tiene en cuenta el estado de disponibilidad de los motores, ni la energización de los campos.
- El programa implementado no está acorde con GEMMA puesto que no se encuentra definido ningún modo de operación, es decir, no tiene arranque, ni parada, ni desconexión de emergencia, entre otros.
- El panel de control actual no permite que el operario identifique fácilmente el proceso a realizar.
- Los modos de operación son continuo e intermitente, el cambio de modo se realiza por medio de tres interruptores en la unidad III y seis interruptores en la unidad II, es decir, uno por cada campo (véase Figura 19).

Figura 19. Interruptores de selección de modo de golpe.



Fuente: Autores

- En la parte de potencia se cuenta con una estación de arranque-parada (Auxiliar de 440 V) para cada uno de los motores involucrados. La configuración utilizada se obtuvo de la bibliografía consultada¹ referencia Bibliográfica
- La estación de arranque parada (véase Figura 20), permite enganchar o desenganchar cada uno de los motores con la salida de control del PLC, de manera que dichas estaciones tienen mayor prioridad que el PLC

Figura 20. Estación de arranque parada.



Fuente: Autores

- Actualmente no se está realizando el proceso recomendado por el fabricante.

5.2 DISEÑO

Este apartado corresponde a la macro-etapa M2 de la guía, en la primera parte se enumeran los fallos y las ineficiencias encontradas en el sistema, se plantean las alternativas de solución para luego evaluar y seleccionar las adecuadas. Por otro lado, a partir de la guía GEMMA, de las recomendaciones de los operarios y de las observaciones finales de la etapa de aproximación al proceso, se definen las características adicionales que se

¹ Referencia bibliográfica N° 11

van a incluir en el automatismo. Por último, se define la nueva funcionalidad del automatismo.

5.2.1 Identificación de Ineficiencias y alternativas de solución. Este apartado corresponde a la etapa 8 de la guía. Se enumeran los fallos e ineficiencias encontradas, junto con las alternativas de solución:

- El control del martilleo de ambas unidades, se encuentra implementado en solo un PLC, en caso de que este falle, provoca que las unidades de generación salgan de funcionamiento, ya que el circuito de control de respaldo (lógica cableada) se encuentra fuera de servicio.

Alternativas.

- Revisar a fondo la lógica cableada, identificar las fallas existentes, corregirlas y documentar nuevamente los circuitos de control.
- Implementar un controlador independiente para cada Precipitador, ya sea un PLC, un PC dedicado o un microcontrolador.
- Realizar un nuevo circuito de control para el controlador existente en la unidad II, y adquirir un nuevo PLC para la unidad III.

- Es posible que los campos salgan de funcionamiento, debido a la sobreacumulación de ceniza causada por daños en los motores, ya que estos daños no son considerados en el diseño actual del circuito de control

Alternativas.

- Conectar los contactos que indican el estado de cada motor sacudidor, desde los circuitos de potencia hacia el controlador, utilizando relés intermedios.
- Incluir sensores que permitan verificar el correcto funcionamiento de los motores tales como:
 - microinterruptores

- Sensores capacitivos
 - Sensores inductivos
 - Sensores ópticos
 - No permite la integración a un SCADA.
- Alternativas.**
- Implementar un controlador que soporte la comunicación con buses de campo.

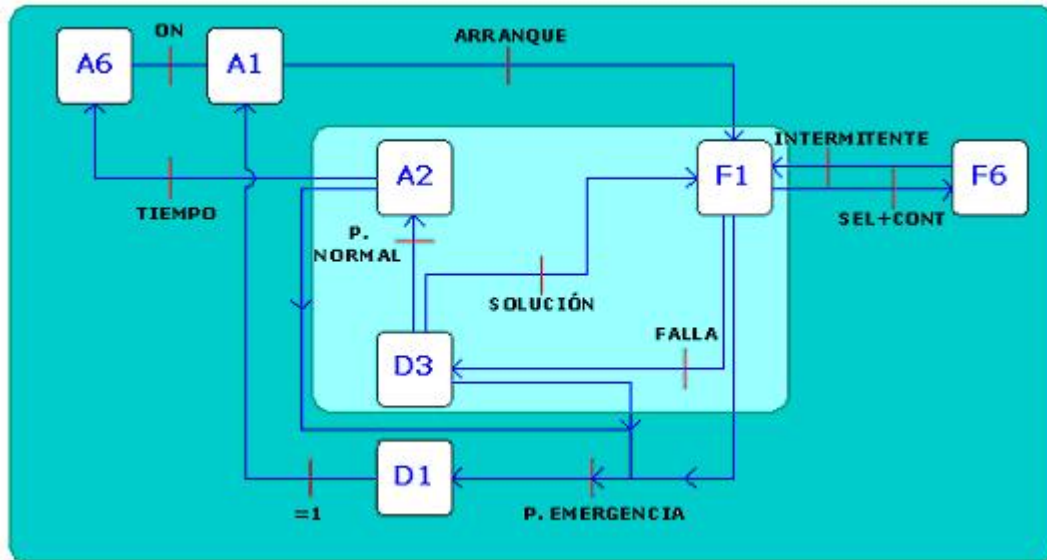
- La secuencia de martilleo de la unidad II no es acorde a la sugerida en el manual del precipitador.
- Alternativas.**
- Reprogramar el controlador para que se cumpla dicha secuencia.
 - Programar en un nuevo controlador la secuencia correcta.

5.2.2 Características adicionales a incluir. Este apartado corresponde a la etapa 9 de la guía.

Esquema GEMMA diseñado. Para este automatismo, los estados que se consideran necesarios son los mostrados en la Figura 21, Se explica brevemente la evolución de GEMMA diseñada. Los elementos de mando nombrados en cada ítem se encuentran en el panel de control (véase apartado 5.2.7), adicionalmente se puede revisar el anexo 2 para una mejor comprensión de los modos de marcha y parada.

- **A6** En este estado todos los motores se ubican en una posición inicial de reposo. Este es el estado inicial del proceso, se llega a él desde el encendido del controlador o desde el estado A2, transcurrido un tiempo determinado (12 h).

Figura 21. Esquema del GEMMA diseñado para los precipitadores.



Fuente: Autores.

- **A1** Es el estado en el cual se encuentran posicionados todos los motores para el arranque, indicándose que el sistema esta listo para operación. Se llega a este desde A6 pulsando el botón de energización (ON), o automáticamente después de D1.
- **F1** En este estado los motores se encuentran en modo de golpe intermitente. Se llega a este desde A1 oprimiendo el botón de arranque, desde D3 si se han solucionado manualmente los fallos en los motores, o desde F6 oprimiendo el pulsador de modo intermitente para los campos que se encuentren bajo prueba.
- **F6** Es el estado donde se puede verificar el funcionamiento de los motores durante el proceso normal del precipitador. Se llega a él desde F1 seleccionando cualquiera de los campos (botón de selección) y

oprimiendo el botón de modo continuo. Este estado no es recomendable (reduce la eficiencia del precipitador) y se usa exclusivamente para verificar el funcionamiento de los motores, ya que su ciclo de operación normal es muy lento.

- **A2** En esta etapa se considera que la combustión ha finalizado (apagado de caldera), y se realiza un ciclo de limpieza de los electrodos colectores dejando los motores en modo continuo. Se llega a él desde F1 o G3 oprimiendo el botón de parada normal.
- **D3** Este estado contempla el caso en el cual se continúa la producción aunque uno o más de los motores se encuentren en fallo, realizando modificaciones en los periodos de golpe en determinados motores. Se llega a este desde F1 al detectar un fallo en un motor (sobrecarga, inhabilitación manual o la no detección de movimiento).
- **D1** Es el estado en el cual se desenergizan todos los motores. Se llega a él oprimiendo el pulsador de parada de emergencia desde los estados A2, F1, F6 o D3.

A continuación se enumeran las nuevas características del automatismo para este equipo:

- Conexión de los contactos que indican el estado de cada motor sacudidor, desde los circuitos de potencia hacia el PLC.
- Controlar automáticamente los ciclos de golpe de los electrodos colectores en caso de fallo, su funcionamiento es el siguiente.
 - Si los dos motores del campo 1 fallan, los motores del campo 2 pasan a realizar la frecuencia de golpe de los motores del campo 1, y los del campo 3 reemplazan a los del campo 2.

- Cuando los motores del campo 2 fallan, los motores del campo 3 realizan la frecuencia de golpe del campo 2 y la frecuencia del campo 1 de conserva.
- Si un motor de cualquier campo falla, el motor compañero duplica su frecuencia de golpe, esto para mantener el periodo de golpe sugerido en el manual del precipitador y aprovechando que los dos motores de cada campo golpean los mismos electrodos colectores.

Este último ítem es de gran importancia, ya que al acumularse ceniza en exceso en los electrodos colectores, se afecta la eficiencia del precipitador¹, entonces, si sale de servicio un campo los siguientes recibirán un mayor volumen de ceniza, con lo que virtualmente pasan a reemplazarlo, luego es necesario aumentar la frecuencia de golpe de los electrodos, debido al aumento en el volumen de ceniza a recolectar.

Observaciones

- El montaje de los sensores se realizará inicialmente en la unidad III para someter a prueba su eficacia.

5.2.3 Diagramas de tiempo. En estos diagramas se evidencia la nueva funcionalidad del automatismo para este proceso, En el apartado 5.3.3 se describe la funcionalidad y los elementos de mando necesarios para la operación del automatismo. Los diagramas de tiempo diseñados se encuentran en el anexo 11 y son los siguientes:

- Funcionamiento principal martilleo unidad II
- Funcionamiento principal martilleo unidad III
- Funcionamiento para detectores de movimiento inductivos

¹ Referencia bibliográfica N° 10 p. 20-131

- Funcionamiento para fallos en detección de movimiento motores del campo 1
- Funcionamiento para fallos en detección de movimiento motores del campo 2
- Funcionamiento para las señales de sobrecarga
- Funcionamiento para las señales de energización de los motores

Con la definición de la nueva funcionalidad (etapa 10 de la guía) finaliza la primera parte del diseño, el siguiente paso es evaluar y seleccionar las opciones tecnológicas para la parte operativa y la parte de mando, así como la metodología de programación, el software de presentación y la interfaz hombre-maquina.

5.2.4 Evaluación y selección de las opciones tecnológicas. Este apartado corresponde a las etapas 11, 12 y 17 de la guía. Con base en el trabajo realizado descrito en el apartado 5.2.1 (etapa 8 de la guía), a continuación se evalúan y seleccionan las opciones tecnológicas tanto de la parte de mando como de la parte operativa, además se nombran los criterios utilizados y las fallas que se corrigen:

- Se eligió la lógica programada como alternativa tecnológica de la parte de mando:
 - Es fácil la implementación de cualquier circuito de control
 - Se facilita la modificación del circuito de control, en caso de necesitarse
 - La depuración requiere de menor tiempo y esfuerzo
 - Es posible la conexión en red
- Control realizado por medio de un PLC TSX 3721, para cada precipitador.

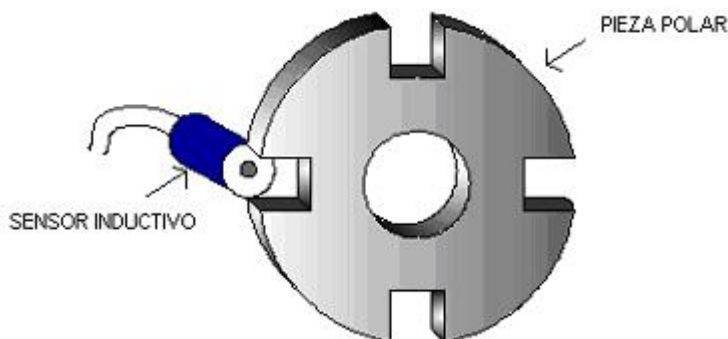
- Se logra un control independiente para cada precipitador, esto evita la salida de funcionamiento de ambas unidades de generación en caso de falla.
 - La empresa posee licencias del software de programación de estos equipos, además cuenta con un PLC de respaldo, lo que descarta la utilización del control por PC desde el punto de vista de costos.
 - Al utilizar un microcontrolador, las futuras modificaciones al programa necesitarían de personal ajeno a la empresa, debido a que no existe departamento de mantenimiento electrónico. Además, la integración de un microcontrolador a un bus de campo implica la implementación del protocolo de comunicación¹ que se utilice, lo que requiere mayor tiempo para la realización del programa.
 - Un objetivo de la empresa es integrar los controles aislados a un SCADA, por lo tanto se descarta la posibilidad de corregir las fallas que presenta el circuito de lógica cableada.
 - La tendencia actual en automatización, es llevar un registro en tiempo real de los procesos mediante software de supervisión y control, los cuales aprovechan las redes industriales de PLCs.
 - Con el uso del PLC se pueden incluir opciones adicionales con las que actualmente no cuenta el automatismo, haciendo más robusto el algoritmo de control.
 - Es posible dejar como respaldo el controlador antiguo.
- Utilización de sensores inductivos referencia XSM18PA370 de Telemecanique para los motores en el precipitador de la unidad III.
 - Los sensores capacitivos y los ópticos no son adecuados debido a que presentan fallas en ambientes de trabajo polvorientos.

¹ En ocasiones dichos protocolos son propiedad intelectual del fabricante, por lo cual se desconoce su estructura.

- o los microswitches implican un montaje mecánico relativamente costoso y complejo, además acarrear un constante mantenimiento (limpieza).

El montaje sugerido para los sensores se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Montaje del sensor inductivo.



Fuente: Autores

Para la utilización del sensor inductivo es necesario montar un disco dentado (pieza polar) sobre el eje de cada motor, de manera que se produzca un tren de pulsos con el cual se pueda detectar el movimiento de dicho eje. Se determinó que el número de ranuras para la pieza polar sea cuatro teniendo en cuenta dos aspectos: Se desea que el periodo de sensado mínimo sea la cuarta parte del periodo de giro del eje (véase apartado 5.1.3), y este sensor requiere que la separación entre ranuras sea suficiente para conmutar de manera adecuada.

Por ejemplo para el campo 1, que es el más relevante debido a que recolecta el mayor volumen de ceniza, el periodo de sensado resultante es de 5 [min]. El sensor inductivo elegido no debe encontrarse a más de 8 [mm] de la rueda, y el ancho de la ranura debe ser lo suficientemente grande para su correcto funcionamiento. El material elegido para la rueda es el cobre, debido

a su bajo costo. El plano necesario para el montaje se encuentra en el anexo 5.

- Realización de un mímico.
 - Esto permite revisar fácilmente el funcionamiento de los motores, e identificar rápidamente las fallas que se estén presentando.
 - Se incluyen indicadores del estado del proceso, para determinar la disponibilidad de los elementos de mando.
 - Se agregan indicadores de alarma por campo y una alarma sonora, que indica al operario apagar el campo involucrado, evitando que se disparen las protecciones, debido a la excesiva acumulación de ceniza en los electrodos.
 - Se incluyen indicadores de energización de los campos del precipitador, para informar al operario sobre la necesidad de iniciar el ciclo de golpe de los electrodos colectores.

- Desarrollo de un nuevo panel de control
 - Este panel simplifica el manejo del sistema, puesto que se reduce al accionamiento de tres pulsadores con nombres muy intuitivos (encendido, arranque, parada normal)
 - Por solicitud de la empresa se mantiene la posibilidad de cambiar el modo de golpe (intermitente a continuo o viceversa) de los electrodos dentro del proceso principal.
 - Se cuenta con la opción de omitir la función que cumplen los sensores inductivos dentro del circuito de control, mediante el accionamiento de un pulsador.
 - Se incluye un pulsador de parada de emergencia para inhabilitar todos los motores en cualquier momento.

- El pulsador de parada normal, permite el cambio de modo de golpe a continuo, y lo mantiene así durante el tiempo sugerido para la limpieza de los electrodos de colección (12 horas).
- Permite centralizar el mando del sistema, para cada uno de los precipitadores.
- Se agregan indicadores que muestran en que estado se encuentra el proceso y cada uno de los equipos.

5.2.5 Esquema del circuito de control diseñado. Este apartado corresponde al desarrollo de la macro-etapa M10 de la guía, ya que se eligió Grafcet como metodología de programación. Aquí solo se presenta el circuito de control definitivo para cada una de las unidades de generación (véase Figura 23 y 24), los cuales se ajustan a las funcionalidades diseñadas.

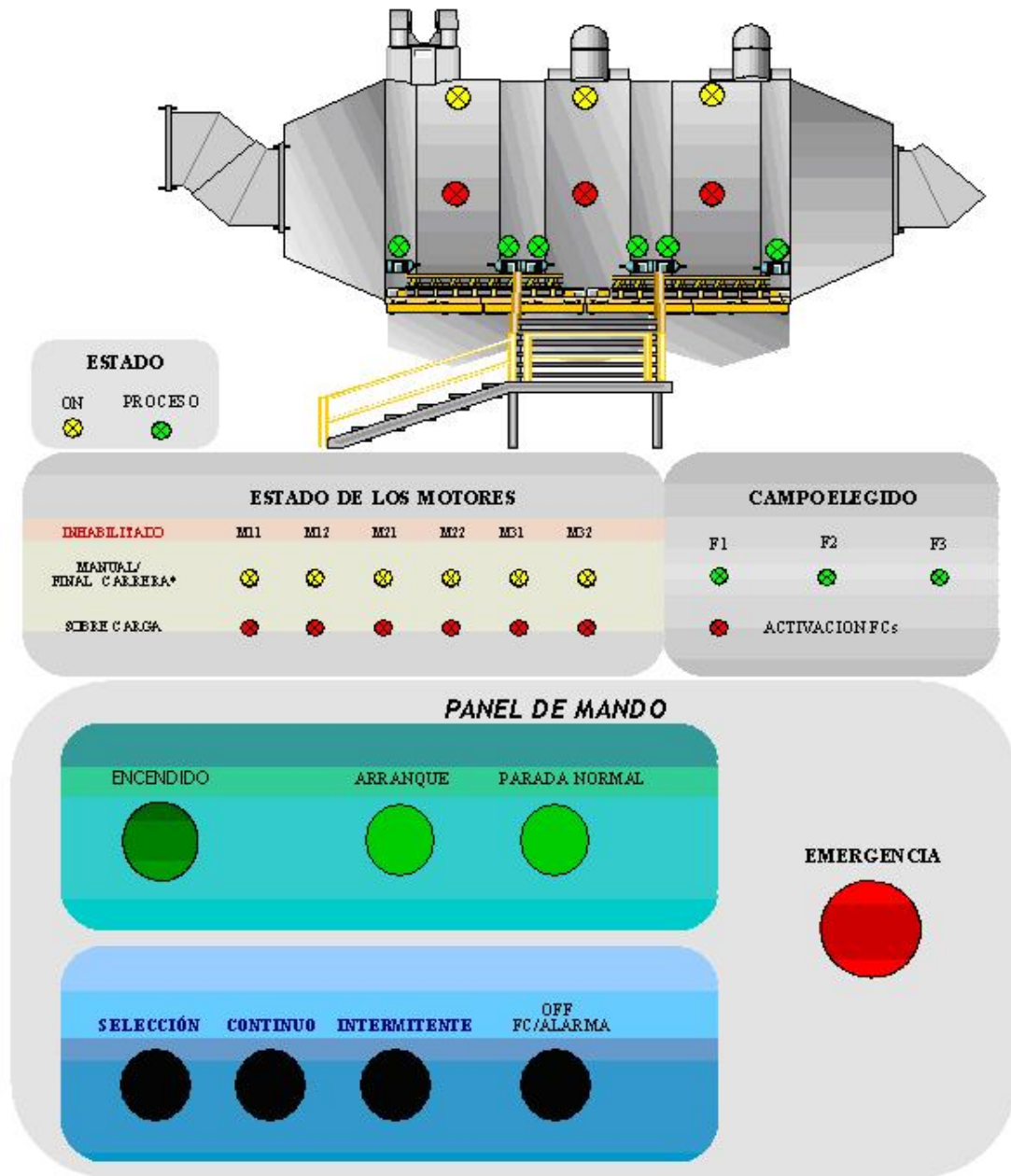
[Figura 23 Grafcet precipitador unidad II.](#)

[Figura 24 Grafcet precipitador unidad III.](#)

5.2.6 Evaluación de la necesidad de un software de presentación. Este apartado corresponde a la etapa 19 de la guía. Se determinó por parte de la empresa que no se cuenta con los recursos necesarios, además se está estudiando la posibilidad de instalar un sistema de supervisión para toda la planta.

5.2.7 Mímico y panel de control diseñados. Este apartado corresponde a la etapa 21 de la guía. Se determinó la necesidad de implementar nuevos paneles de control y señalización, por las razones presentadas en el apartado 5.2.4. En la Figura 25 se muestra el diseño realizado.

Figura 25. Panel y Mímico para los precipitadores.



Fuente: Autores.

5.2.8 Listado del equipo. Este apartado corresponde a las etapas 13, 22 y 23 de la guía. En los cuadros 5 y 6 se presenta la relación del equipo requerido para los proyectos de rediseño del control del descargador de ceniza, y control del martilleo de los precipitadores de las unidades II y III de Termopaipa, presentada a la empresa.

Cuadro 5. Listado de equipo de control

ELEMENTO	CANTIDAD	REFERENCIA
PLC	2	TSX 37 2100
MODULOS DE E/S	4	DMZ 64 DTK
PILA DE SALVAGUARDA RAM	2	TSX PLP 01
CONECTORES HE10	12	TSX CDP 301
TAPA EMPLAZAMIENTO VACIO	4	TSX RKA 01

Fuente: Autores.

Cuadro 6. Listado de equipo adicional

ELEMENTO	Referencia	CANTIDAD	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
Fuentes DC		2		24[V], 2[A]
Pulsadores N.O.				
Verde	XB4 BA31*	7	22 mm.	Emergencia con enclavamiento
Negro	XB4 BA21*	4	22 mm.	
Rojo	XB4 BA42*	1	22 mm.	
Rojo	XB4 BC42*	3	30 mm.	
Azul	XB4 BA61*	13	22 mm.	
Interruptores				
Negro	XB4 BD21*	4	22 mm.	De dos Posiciones
Reles				
Tipo 1	RXN 41G11 BD*	28		Bobina 24[V]DC, al menos dos contactos N.O. 5[A].
Tipo 2	RXN 41G11 F7*	51		Bobina 110[V]AC, al menos dos contactos N.O. 5[A].
Base	RXZ 7G*	79		
Detectores Inductivos		6		Distancia 8 mm, 24 Vdc
Cable		310 m	Calibre 16	Encauchetado x 10 hilos
Riel Omega		4 m		Para montaje de reles
Borneras o Regletas		13		De 20 contactos o mas modulares

Fuente: Autores.

Los equipos seleccionados cumplen con la norma IP65 que se refiere al la protección contra el polvo o la ceniza.

Con esto finaliza la etapa de diseño, en la cual se ha definido el circuito de control y la lista definitiva de materiales.

5.3 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

Este apartado corresponde a la macro-etapa M3 de la guía.

5.3.1 Planos Este apartado corresponde a la etapa 24 de la guía. Los planos realizados fueron eléctricos, mecánicos y de ubicación, se encuentran en el anexo 5.

El listado de planos es el siguiente:

- Plano 1: Sala y cabina del precipitador de la unidad II
- Plano 2: Sala y cabina del precipitador de la unidad III
- Plano 4: Detalle de conexión del PLC y diagrama de emplazamiento para relés y PLCs
- Plano 5: Diagrama general multifilar de los proyectos
- Plano 6: Conexión de entradas martilleo unidad II, PLC 1
- Plano 7: Conexión de salidas martilleo unidad II, PLC 1
- Plano 8: Conexión de entradas y salidas martilleo unidad III, PLC 2
- Plano 10: Estaciones arranque parada precipitador A unidad II campos 1 y 2
- Plano 11: Estaciones arranque parada unidad II precipitador A campo 3 precipitador B campo 1
- Plano 12: Estaciones arranque parada unidad II precipitador B campos 2 y 3

- Plano 13: Estaciones arranque parada precipitador unidad III campos 1 y 2
- Plano 14: Estaciones arranque parada precipitador unidad III campo 3
- Plano 16: Montaje sensor inductivo

5.3.2 Guía para el montaje Este apartado corresponde a la etapa 25 de la guía. Esta material se presenta en el anexo 7.

5.3.3 Guía de operación del equipo. Este apartado corresponde a la etapa 26 de la guía. En este se explica el proceso que se lleva a cabo por parte del operario y las acciones que realiza el control diseñado. Inicialmente se supone que todos los motores sacudidores se encuentran energizados desde su estación de arranque-parada.

1. Se oprime el botón de *encendido* en el panel de control, para energizar el sistema. Inmediatamente se inicia la etapa de supervisión del sistema donde se observa el estado de cada uno de los motores, y su disponibilidad. En esta etapa el indicador de *ON* se enciende.
2. Al verificar en el mímico que los campos se encuentran energizados, se puede oprimir el pulsador de *arranque*, con lo cual el control inicia el ciclo de golpe intermitente y se enciende la luz de *proceso*. En esta etapa pueden ocurrir las siguientes eventualidades:
 - Si un motor falla el motor compañero del mismo campo asume su trabajo, es decir, la frecuencia de golpe de este ultimo se duplica (véase anexo 11).
 - Si los dos motores del primer campo fallan, los motores del segundo campo funcionarán a la frecuencia correspondiente al primer campo, y los motores del tercer campo sustituyen al segundo (véase anexo 11).

- De manera similar a lo anterior, si los motores del segundo campo fallan, los motores del campo tres asumen el trabajo que estos realizaban, y los del campo uno no varían su frecuencia de golpe (véase anexo 11).
- Los casos nombrados anteriormente disparan las alarmas del sistema.

3. Funciones de Alarma ante las eventualidades.

- La *alarma sonora* se activa en cualquiera de los casos de falla, existe un pulsador para desactivar dicha alarma.
- En el *mímico* se muestran las alarmas por cada campo, estas encienden intermitentemente si solo un motor se encuentra inhabilitado, o de manera continua si ambos motores están fuera de funcionamiento.
- En el *panel de señalización* se identifica cual o cuales motores están fallando, o no se encuentran energizados, y cual es la posible causa del fallo, permitiendo al operario proceder a realizar maniobras de corrección apropiadas. Para identificar el tipo de fallo ocurrido en el panel de señalización sucede lo siguiente:
 - Si el indicador de *inhabilitado manual/fc* esta parpadeando, indica que el sensor no esta detectando movimiento del motor respectivo.
 - Si el indicador de *inhabilitado manual/fc* se encuentra encendido de manera continua, indica que el motor no está energizado desde los auxiliares de 440 (Estación arranque-parada).
 - Si el indicador de *inhabilitado de sobrecarga* se encuentra encendido, indica que se ha disparado la protección de sobrecarga del motor en los auxiliares de 440 (falla por sobrecarga).

4. Durante el proceso es posible cambiar el modo de golpe de intermitente a continuo o viceversa, para esto se utiliza el pulsador de *selección*, que al oprimirlo continuamente ubica el campo deseado (observar indicadores de selección), luego se oprime el pulsador de modo *continuo* o el de modo intermitente para realizar el cambio requerido. Existe un tiempo límite para realizar estos cambios, si no se oprime ningún botón durante dicho tiempo, el programa sale de esta etapa y apaga los indicadores de selección. El paso a modo continuo permite revisar el funcionamiento de los motores, se debe evitar su uso prolongado ya que se reduce en un alto porcentaje la eficiencia del precipitador.
5. Cuando la caldera es apagada y se requiere hacer la limpieza de los electrodos colectores, se oprime el pulsador de *parada normal*, en este punto el control pasa a realizar el martilleo continuo de los electrodos por un periodo de 12 horas, luego desenergiza automáticamente el sistema y se apagan los indicadores de *ON* y *proceso*.
6. En cualquier momento del proceso se pueden parar todos los motores utilizando el pulsador de parada de emergencia.

En el panel de control correspondiente a la unidad III, se cuenta con un pulsador que permite deshabilitar de manera independiente para cada campo, las acciones de control correspondientes a los sensores inductivos, haciendo uso del pulsador de *selección* y un indicador que se muestra encendido cuando los sensores están activos.

5.3.4 Guía de mantenimiento Este apartado corresponde a la etapa 28 de la guía. Este material se presenta en el anexo 7.

Con la realización de los documentos anteriores se da por finalizado la etapa de diseño para el proceso de martilleo de los electrodos colectores de los precipitadores de las unidades II y III de Termopaipa.

6 APLICACIÓN: DESCARGADOR ROTATIVO DE CENIZA

En este capítulo se presenta otro ejemplo de aplicación de la guía, correspondiente al proceso de evacuación de ceniza utilizando el descargador rotativo.

6.1 APROXIMACIÓN AL PROCESO.

Este apartado corresponde a la macro-etapa M1 de la guía, aquí se muestran los resúmenes requeridos para avanzar a la siguiente macro-etapa (diseño).

6.1.1 Descripción general del proceso. Después que la ceniza es desprendida por el sistema de martillos, cae por acción de la gravedad depositándose en tolvas, las cuales se vacían de manera ordenada, para evitar que esta sea arrastrada nuevamente por los gases y emitida a la atmósfera. La ceniza se retira mediante un sistema neumático transportador que la conduce a un depósito (silo), de allí es necesario llevarla a un zona de recolección, para esto la ceniza almacenada en el depósito es vaciada en vehículos utilizando el descargador rotativo.

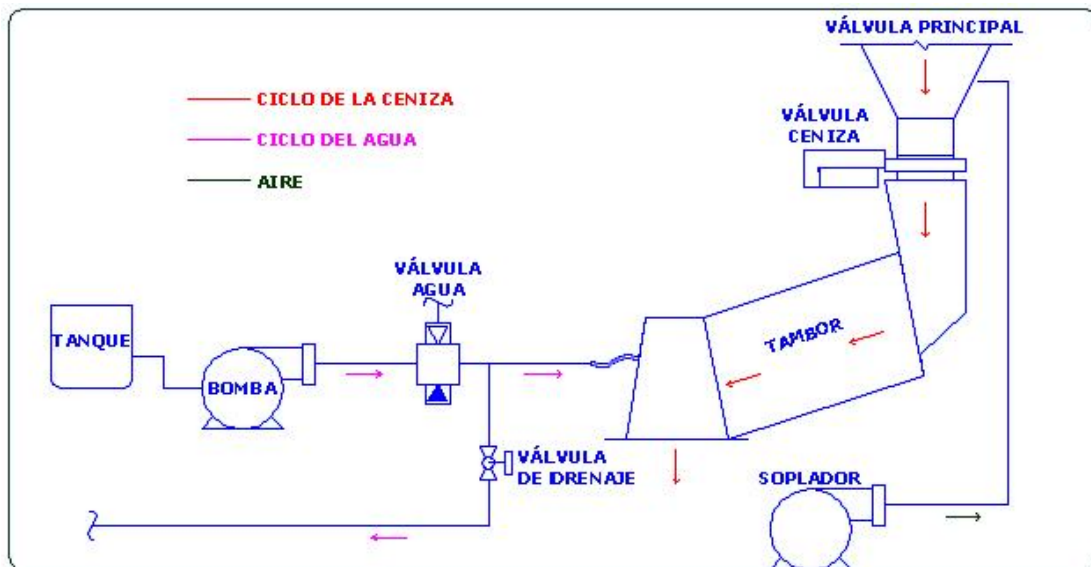
Descripción del descargador. El descargador rotativo (véase Figura 26 y 27) funciona de la siguiente manera: Se abre una válvula de alimentación, luego se enciende un soplador para fluidificar la ceniza almacenada en el silo, posteriormente, se abren las válvulas de paso de ceniza y agua produciéndose una mezcla heterogénea, junto con la válvula de agua se abre una válvula de drenaje, la cual protege la tubería de presiones muy altas en caso de taponamiento de los aspersores que distribuyen el agua dentro del tambor. Simultáneamente se activa un motor que produce la rotación del tambor mencionado, sobre el cual se desliza la mezcla hacia el vehículo transportador. La mezcla se realiza con los fines de permitir que la ceniza fluya fácilmente a través del tambor y evitar que se esparza en el ambiente.

Figura 26. Panorámica general del descargador.



Fuente: Autores.

Figura 27. Esquema del Descargador rotativo de Ceniza



Fuente: Autores.

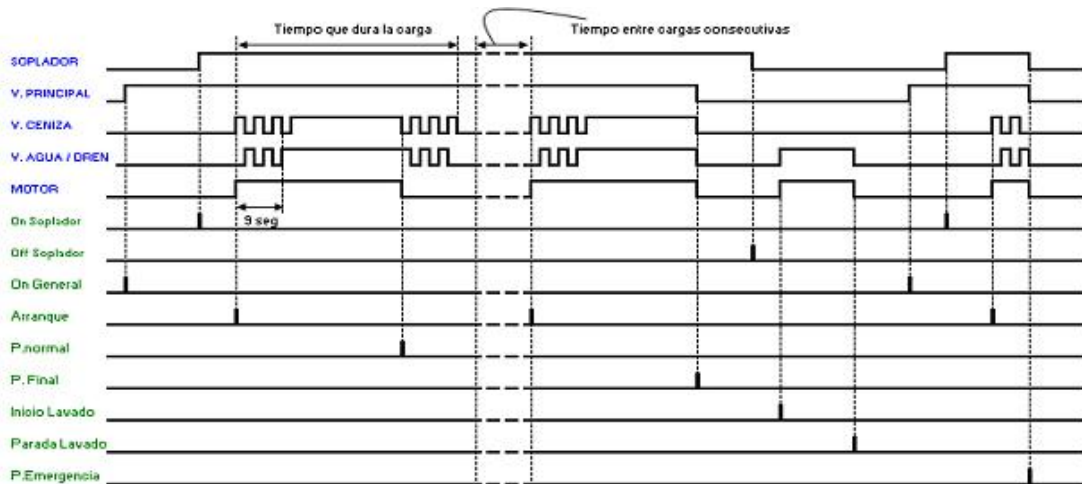
Circuito de control del automatismo. En el anexo 9 se muestra el circuito de control original, escaneado del plano ubicado en el manual del fabricante, el cual gobierna el funcionamiento del descargador rotativo (A o B).

Los anteriores resúmenes hacen parte de la etapa 2 de la guía, en lo que se refiere al manual de fabricante.

6.1.2 Diagrama de tiempo.

Operación del Equipo. Como se observa en la Figura 28. Cuando se decide hacer una descarga, se energiza el sistema provocando la apertura de una válvula principal de alimentación ubicada en el fondo del silo, e inmediatamente se enciende el soplador, transcurridos al menos diez minutos, se puede dar arranque a la descarga teniendo en cuenta que el carro este ubicado para recibir la ceniza, esta operación produce cuatro acciones simultáneas: la apertura de una válvula de paso de ceniza, que está ubicada a continuación de la válvula de alimentación, por otra parte se abre una válvula que permite el paso de agua hacia el tambor, y en él se distribuye por medio de un sistema de aspersores (véase Figura 30), para producir una mezcla uniforme de agua y ceniza. Junto con la válvula de agua se abre la válvula de drenaje (véase Figura 29). Por ultimo se enciende un motor que está acoplado mecánicamente al tambor, con el fin de deslizar la mezcla para que caiga en el carro recolector.

Figura 28. Diagrama básico de tiempos del descargador



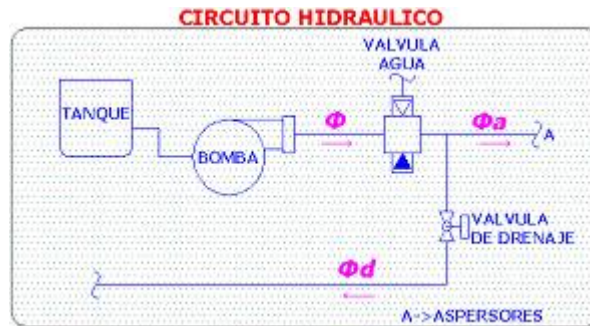
Fuente: Autores.

Donde:

- Entradas
 - On soplador
 - Off soplador
 - On general
 - Arranque
 - P.normal
 - P.final
 - Inicio lavado
 - Parada lavado
 - P. Emergencia
- Salidas
 - Soplador
 - V.principal
 - V.ceniza
 - V.agua/dren
 - Motor

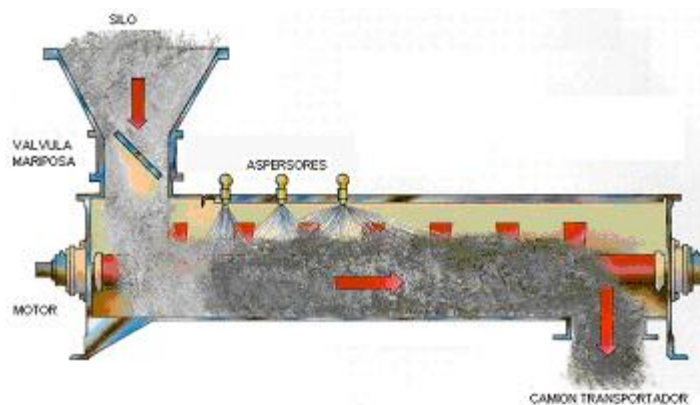
Para el control de flujo de agua y ceniza cada válvula tiene mando directo desde el tablero de control, entonces, cuando la mezcla de agua y ceniza no es uniforme, el operario procede a cerrar la válvula de la sustancia que se presenta en exceso, y así repetidamente durante todo el proceso de descargue.

Figura 29. Ciclo del agua en el descargador.



Fuente: Autores.

Figura 30. Detalle del descargador.



Fuente: www.unitedconveyor.com

Existe la opción de realizar descargas consecutivas, para ello, al oprimir el pulsador de parada normal se cierran las válvulas de agua y ceniza, se apaga el motor, la válvula de alimentación permanece abierta, y el soplador sigue encendido en espera de una nueva petición de arranque. Para la última descarga se cuenta con un pulsador de parada final, en la cual se realizan las mismas maniobras que en la normal, pasados nueve segundos, se cierra la válvula de alimentación y se apaga el soplador. Existe la opción de parada de emergencia del proceso, en la cual se desconectan todos los actuadores automáticamente.

Para descargar la ceniza del depósito existen dos equipos (descargador A y B) como el descrito anteriormente, con tableros de control independientes. Aunque existen dos sopladores fluidificadores, estos se pueden utilizar indistintamente en el descargador A o en el B, ya que sus salidas van acopladas al mismo conducto.

Existe un control de mando remoto que incluye los pulsadores de arranque, parada normal, parada final, y parada de emergencia.

Las recopilaciones anteriores hacen parte de la etapa 2 de la guía, en lo que se refiere a los diagramas de tiempo.

6.1.3 Listado de equipos Este apartado corresponde a la etapa 6 de la guía, en este se recopila la información correspondiente a los equipos disponibles, que actualmente se están utilizando para la descarga de ceniza almacenada en el silo.

El equipo con que se cuenta en el descargador rotativo es el siguiente:

- Soplador fluidificador
- Motor trifásico de inducción
- Válvula de Ceniza (mariposa)
- Válvula de Agua
- Deposito de ceniza (silo)
- Deposito de Agua
- Válvula general
- Válvula de drenaje

Características:

- **Equipo Mecánico**

Descargador:

- Marca: United Conveyor Corporation modelo 1036
- Orificio Alimentador 12”

Tambor:

- Diámetro: 38 “.
- Velocidad: 36 rpm.
- Distribución del agua: 20 aspersores

Válvula agua:

- Tiempo Apertura y cierre: 1 s
- Diámetro tubería: 3”

Válvula ceniza:

- Tipo mariposa
- Accionamiento neumático
- Orificio Ajustable 50°
- Tiempo de apertura 5 s
- Tiempo de Cierre 1.5s (recuperación con resorte)

Figura 31. Válvula mariposa.



Fuente: www.unitedconveyor.com

Válvula de drenaje:

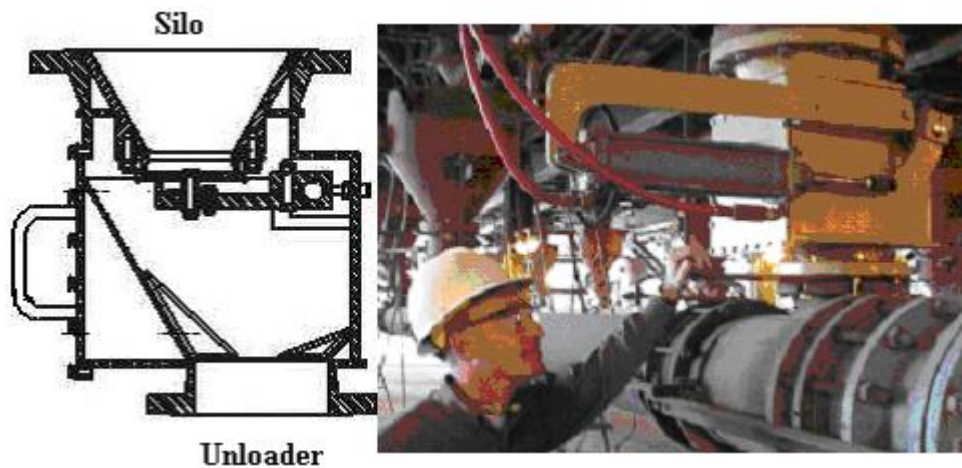
- Accionamiento neumático

- Válvula de compuerta de simple efecto
- tiempo de apertura y cierre aproximadamente 500 [ms]

Válvula General:

- Válvula tipo titan.
- Accionamiento neumático (cilindro de 4")

Figura 32. Válvula General.



Fuente: www.unitedconveyor.com

• Equipo Eléctrico

Motor:

- Características 3 fases, CA 230/460 V, 60 Hz, 10Hp, 230 rpm. 0.4 Kw, 4P

Switches de presión:

- Rango 0-30 pulgadas de Hg.
- Banda muerta 2-8 pulgadas de Hg
- Rango eléctrico 15 A, 250 Vac
- Posee 3 contactos y un tornillo de ajuste (setpoint)

Válvulas solenoide

- Son las válvulas preaccionadoras.
- Son utilizadas para suministrar el aire necesario para el funcionamiento de las válvulas anteriormente mencionadas.
- Señal de control 110 Vac

6.1.4 Documentación adicional. En este apartado corresponde a la etapa 4 de la guía.

Para modelar matemáticamente y tener una mejor comprensión de los fenómenos químicos involucrados con la mezcla de agua y ceniza en el tambor, se consultó con un ingeniero químico, y se concluyó que:

- El modelo matemático para determinar el flujo de agua necesario para obtener una mezcla adecuada de agua y ceniza, es demasiado complicado de realizar debido a la gran cantidad de variables involucradas.
- Es posible reducir el consumo de agua, con la utilización de emulsiones, las cuales encapsulan las partículas de ceniza reduciendo la volatilidad de esta.

6.1.5 Recomendaciones de los operarios. Este apartado corresponde a la etapa 7 de la guía. Las recomendaciones de los operarios en el caso del descargador rotativo fueron las siguientes:

- Hacer la apertura y cierre de las válvulas de control automáticamente ya que los interruptores están sufriendo excesivo desgaste
- Renovar los elementos de mando

Aquí se concluye la etapa de aproximación al proceso propuesta en la guía, se ha determinado la funcionalidad actual del proceso a partir de los diagramas de tiempo y el manual del fabricante, se ha enumerado el equipo disponible para el proyecto y se conocen de manera general los fenómenos implicados en el funcionamiento del precipitador. Para avanzar a la siguiente etapa es necesario

realizar un listado de observaciones que se deben tener en cuenta para la elaboración del diseño.

Observaciones.

- Es necesario regular el flujo de agua para obtener una mezcla adecuada.
- El circuito de control actual no cumple con el ciclo de funcionamiento dado por el fabricante, ya que no se hace el cierre y apertura de las válvulas sugerido (véase apartado 6.1.2).
- No existen medidores para cuantificar el flujo de ceniza y agua.
- Existe una válvula manual de compuerta (analógica) que los operarios manipulan continuamente, con lo cual no se puede establecer el flujo de agua.
- El agua es suministrada de manera remota por una bomba general, de la cual se alimentan otros sistemas esto provoca que la presión de suministro de agua hacia el tambor sea variable.
- El tablero de control tiene demasiados elementos de mando para el proceso, haciéndolo difícil de entender para los operarios nuevos.
- La complejidad del tablero puede conducir a cometer errores en el proceso, por ejemplo se puede arrancar la descarga sin abrir la válvula del agua, con lo que se propaga nuevamente la ceniza en el ambiente.
- El tablero de mando remoto no se opera, ya que está ubicado al lado de una zona de mucha polución, cerca del carro colector.

6.2 DISEÑO

Este apartado corresponde a la macro-etapa M2 de la guía, en la primera parte se enumeran los fallos y las ineficiencias encontradas en el sistema, se plantean las alternativas de solución para luego evaluar y seleccionar las adecuadas. Por otro lado, a partir de la guía GEMMA, de las recomendaciones de los operarios y de las observaciones finales de la etapa de aproximación al proceso, se definen las

características adicionales que se van a incluir en el automatismo. Por último, se define la nueva funcionalidad del automatismo.

6.2.1 Identificación de Ineficiencias y las alternativas de solución. Este apartado corresponde a la etapa 8 de la guía. Se enumeran los fallos e ineficiencias encontradas, junto con las alternativas de solución:

- Control implementado en lógica cableada, el cual no coincide con la documentación debido a cambios realizados por fallas en algunos equipos.

Alternativas.

- Realizar una revisión a profundidad del circuito de control existente, y realizar la documentación del mismo.
- Implementar el control del equipo con un PLC.
- Implementar el control del equipo con un PC dedicado, utilizando un software de control como Labview o Simple Control.

- No presenta indicadores que muestren en que estado se encuentra el proceso.

Alternativas.

- Tomar una señal desde cada uno de los actuadores y llevarlas a un tablero para mostrar en que momento son accionados.
- Realizar un mímico que muestre el estado en que se encuentra cada uno de los actuadores, e implementar indicadores que señalen en que estado se encuentra el proceso.

- No permite la integración a un sistema SCADA.

Alternativas.

- Implementar el control mediante controladores electrónicos como PCs o PLCs, los cuales pueden ser conectados a buses de campo.
-

- Se puede abrir la válvula de ceniza sin que haya flujo de agua, con lo que la ceniza se esparce en el ambiente (experimento realizado), también se puede abrir la válvula de ceniza sin que haya operación del soplador fluidificador, con lo que es posible que el ducto se bloquee por la compactación de la ceniza.

Alternativas.

- Eliminar los interruptores que gobiernan la apertura de las válvulas desde el panel de mando y controlar dichas válvula únicamente desde el circuito de control.
 - Asegurar que exista flujo de aire desde el soplador y flujo de agua hacia el tambor mediante sensores de presión, para permitir la apertura de la válvula de ceniza.
- Cuando el sistema está energizado se puede accionar cualquier equipo o válvula, posibilitando maniobras inadecuadas.

Alternativas.

- Eliminar los interruptores que gobiernan el accionamiento de equipos.
 - Diseñar un panel de control que contenga únicamente los elementos de mando necesarios para la evolución del proceso.
- Los elementos de mando se encuentran ubicados de una manera desordenada, haciendo que la operación del equipo sea confusa, adicionalmente, no existe una línea definida de operación permitiendo que se omita algún paso del proceso.

Alternativas.

- Diseñar un panel de control organizado en el cual se identifique claramente la línea de evolución del proceso.
- No posee un control automático de flujo de ceniza y agua, obligando a que los operarios realicen maniobras de apertura y cierre de las respectivas válvulas.

Alternativas.

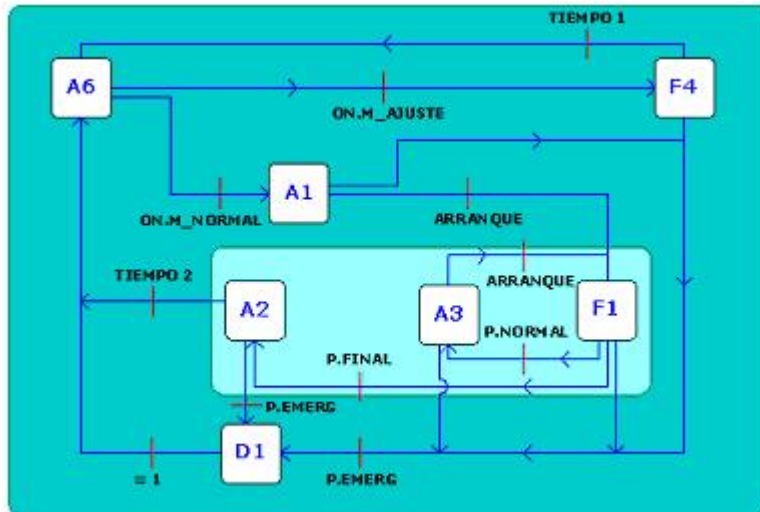
- Adquirir válvulas de control analógicas para regular el flujo de agua y ceniza, adicionando elementos que permitan variar el grado de apertura desde los respectivos tableros.
- Conservar las válvulas actuales y hacer que el proceso de cierre y apertura sea realizado automáticamente desde el circuito de control, dando la posibilidad de variar el ciclo de operación desde el panel de mando.
- Regular únicamente el flujo de agua, mediante ciclos de apertura y cierre de la válvula de drenaje, agregando elementos que permitan variar dicho ciclo desde el panel de mando.

6.2.2 Características adicionales a incluir. Este apartado corresponde a la etapa 9 de la guía.

Esquema GEMMA diseñado. Para este automatismo los estados que se consideran necesarios son los mostrados en la Figura 33, se explica brevemente la evolución del GEMMA diseñado. Los elementos de mando nombrados en cada ítem se encuentran en el panel de control (véase apartado 6.2.7), adicionalmente se puede revisar el anexo 2 para una mejor comprensión de los modos de marcha y parada.

- **A6** En este estado todos los actuadores de la parte operativa se ubica en una posición inicial de reposo (válvulas cerradas y motores desenergizados). Este es el estado inicial del proceso, se llega a él desde el encendido del controlador, desde el estado A2 transcurrido un tiempo determinado (1 min) o directamente desde D1.

Figura 33. GEMMA diseñado para el descargador.



Fuente: Autores.

- **A1** Es el estado en el cual se encuentran posicionados todos los actuadores para el arranque, y se indica que el sistema esta listo para operación. Se llega a este, desde A6 pulsando el botón de energización (ON) y posicionando el interruptor de modo de operación en normal.
- **F1** Es el estado en el cual se realiza todo el proceso de descarga, utilizando los pulsadores para el control de flujo de agua. Se llega a él desde A1 o A3 oprimiendo el botón de arranque.
- **A3** Es un estado en el cual existe parada del descargue debido a que el camión transportador está lleno, y se espera uno próximo para realizar una nueva descarga. Se llega a él desde F1 oprimiendo el botón de parada normal.
- **A2** Este estado corresponde al final de la última descarga del ciclo de operación (último camión cargado o el silo desocupado). Se llega a él desde F1 oprimiendo el botón de parada final.

- **F4** Es el estado en el cual se realiza una verificación de funcionamiento de los actuadores de manera independiente, los cuales se eligen mediante el pulsador de selección utilizando los botones de encendido y apagado. Se llega a este, desde A6 pulsando el botón de energización (ON) y posicionando el interruptor de modo de operación en ajuste.
- **D1** Es el estado en el cual se desenergizan todos los actuadores. Se llega a él oprimiendo el pulsador de parada de emergencia desde los estados A1, A2, A3, F1 o F4.

A continuación se enumeran las nuevas características del automatismo para este equipo:

- Diseñar dos modos de operación asequibles desde el panel de control: modo normal, en el cual se define la línea de evolución del proceso, y modo de ajuste, donde se puede verificar el funcionamiento de cada uno de los componentes.
- Implementar un registro interno de la operación de cada uno de los descargadores e indicar en que momento es aconsejable utilizar cada equipo, de manera que los dos equipos tengan un desgaste similar.

6.2.3 Diagramas de tiempo. En estos diagramas se evidencia la nueva funcionalidad del automatismo para este proceso, En el apartado 6.3.3 se describe la funcionalidad y los elementos de mando necesarios para la operación del automatismo. Los diagramas de tiempo diseñados se encuentran en el anexo 11 y se listan a continuación:

- Línea de tiempo modo normal
- Línea de tiempo durante el proceso
- Línea de tiempo modo ajuste

Con la definición de la nueva funcionalidad (etapa 10 de la guía) finaliza la primera parte del diseño, el siguiente paso es evaluar y seleccionar las opciones tecnológicas para la parte operativa y la parte de mando, así como la metodología de programación, el software de presentación y la interfaz hombre-maquina.

6.2.4 Evaluación y selección de las opciones tecnológicas. Este apartado corresponde a las etapas 11, 12 y 17 de la guía. Con base en el trabajo realizado descrito en el apartado 6.2.1 (etapa 8 de la guía), a continuación se evalúan y seleccionan las opciones tecnológicas tanto de la parte de mando como de la parte operativa, además se nombran los criterios utilizados y las fallas que se corrigen:

- Control realizado por medio de un PLC.
 - La empresa ya posee licencias del software de programación de estos equipos, y además cuentan con un PLC de respaldo, lo que descarta la utilización del control por PC.
 - La implementación de un nuevo circuito de control en lógica cableada, requiere sacar de funcionamiento el descargador durante el tiempo que demore el respectivo montaje.
 - La tendencia actual en la automatización, es llevar un registro en tiempo real de los procesos mediante software de supervisión y control, aprovechando las redes industriales de PLCs.
 - Se puede utilizar el PLC seleccionado para el precipitador de la unidad III, en el cual se tienen disponibles módulos de entrada-salida, de manera que solo es necesario adquirir el modulo correspondiente.
 - Se puede dejar como respaldo del controlador el circuito en lógica cableada existente.
 - Se puede hacer más robusto el algoritmo de control, ya que estos dispositivos permiten incluir opciones adicionales futuras, sin necesidad de realizar cambios radicales de dispositivos electromecánicos.
- Realización de un mímico.

- Al realizar un esquema de la evolución del proceso y de los equipos que lo componen, se puede determinar la actividad de los actuadores y en que etapa se encuentra el proceso.
- Se pueden identificar fácilmente las posibles fallas de funcionamiento.
- Desarrollo de un nuevo panel de control
 - Se realiza un panel centralizado donde se puedan operar cualquiera de los dos descargadores.
 - Se incluye un interruptor independiente para la selección del soplador fluidificador, ya que aunque son dos equipos diferentes, sus ductos convergen, lo que permite que sea indiferente la utilización de uno u otro.
 - Se diseña un panel sencillo de comprender y de operar, donde solo están presentes los pulsadores asociados a cada etapa, de manera que se haga clara la línea de evolución del proceso.
 - Se agregan dos pulsadores para el control de flujo de agua y ceniza, con los cuales se selecciona el ciclo de operación de cada uno de ellos.
- En el control remoto que posee el equipo se dispone de la parada de emergencia.
 - Es necesario contar con un pulsador de emergencia a la mano en caso de algún fallo.
- Se utilizan los switch de presión en el circuito de control.
 - Esto evita la propagación de la ceniza en el ambiente y el taponamiento del ducto de la ceniza.
- Se controla el flujo de agua utilizando la válvula de drenaje.
 - Para conseguir una mezcla adecuada es suficiente con regular el flujo de agua en el tambor.

- Aunque una buena opción para regular el flujo de agua es una válvula de control, el reemplazo resultaría muy costoso, además, su instalación implica sacar de servicio el equipo.
- Para instalar válvulas analógicas es necesario desmontar una gran parte del equipo mecánico, implicando mayores costos y tiempo de implementación.
- La adquisición de una válvula de control requiere la compra de un módulo de salidas analógicas para el PLC.
- El constante abrir y cerrar de las válvulas producen una reducción en su vida útil, con este diseño se reduce el desgaste de las válvulas de paso de agua y ceniza.

Para controlar el flujo de agua se utilizan ciclos de apertura y cierre de la válvula de drenaje, justificándose de la siguiente manera:

Al variar el flujo de salida por la válvula de drenaje, se producen cambios en el flujo neto en los aspersores dentro del tambor, de manera análoga a como ocurre en un circuito como el mostrado en la Figura 34.

Figura 34. Analogía eléctrica para el sistema hidráulico.



Fuente: Autores.

Donde, la fuente de corriente representa el flujo de entrada (bomba), R_1 corresponde a la resistencia al flujo ejercida por los aspersores, R_2 equivale

a la resistencia asociada a la válvula de drenaje, SCR1 representa la válvula de agua, SCR2 representa la válvula de drenaje.

De este circuito se tiene:

$$I = I_d + I_a \quad (1)$$

De (1) y teniendo en cuenta el efecto de apertura y cierre de SCR2

$$I_a \approx I - \frac{ta}{ta + tb} I_d \quad (2)$$

Haciendo $\frac{ta}{ta + tb} = D$

Donde D es el ciclo útil de la señal de control de SCR2 y por lo tanto utilizando la analogía, se puede decir que:

$$\phi_a = \phi - D * \phi_d \quad (3)$$

De esta última ecuación se observa que al variar D se produce un cambio en el flujo entrante a los aspersores. La variación es considerable debido a que $R1 > R2$.

Recomendaciones y Comentarios

- Adquirir una válvula de control analógica para el suministro de agua cuando se requiera la sustitución.
- La determinación de los tiempos adecuados de cierre y apertura (t_a y t_b) de la válvula de drenaje se debe realizar empíricamente, ya que el flujo de ceniza no es constante.

6.2.5 Esquema del circuito de control diseñado. Este apartado corresponde al desarrollo de la macro-etapa M10 de la guía, ya que se eligió Grafcet como metodología de programación. Aquí solo se presenta el circuito de control definitivo para el descargador rotativo (véase Figura 35), el se ajusta a la funcionalidad diseñada.

[Figura 35 Graficet descargador rotativo.](#)

6.2.6 Evaluación de la necesidad de un software de presentación. Este apartado corresponde a la etapa 19 de la guía. Se determinó por parte de la empresa que no se cuenta con los recursos necesarios, además se está estudiando la posibilidad de instalar un sistema de supervisión para toda la planta.

6.2.7 Mímico y panel de control diseñados. Este apartado corresponde a la etapa 21 de la guía. Se determinó la necesidad de implementar nuevos paneles de control y señalización, por las razones presentadas en el apartado 6.2.4. En la Figura 36 se muestra el diseño realizado.

6.2.8 Listado del equipo. Este apartado corresponde a las etapas 13, 22 y 23 de la guía. En el apartado 5.2.8 se presenta la relación del equipo requerido para este proyecto.

Con esto finaliza la etapa de diseño, en la cual se ha definido el circuito de control y la lista definitiva de materiales.

6.3 ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

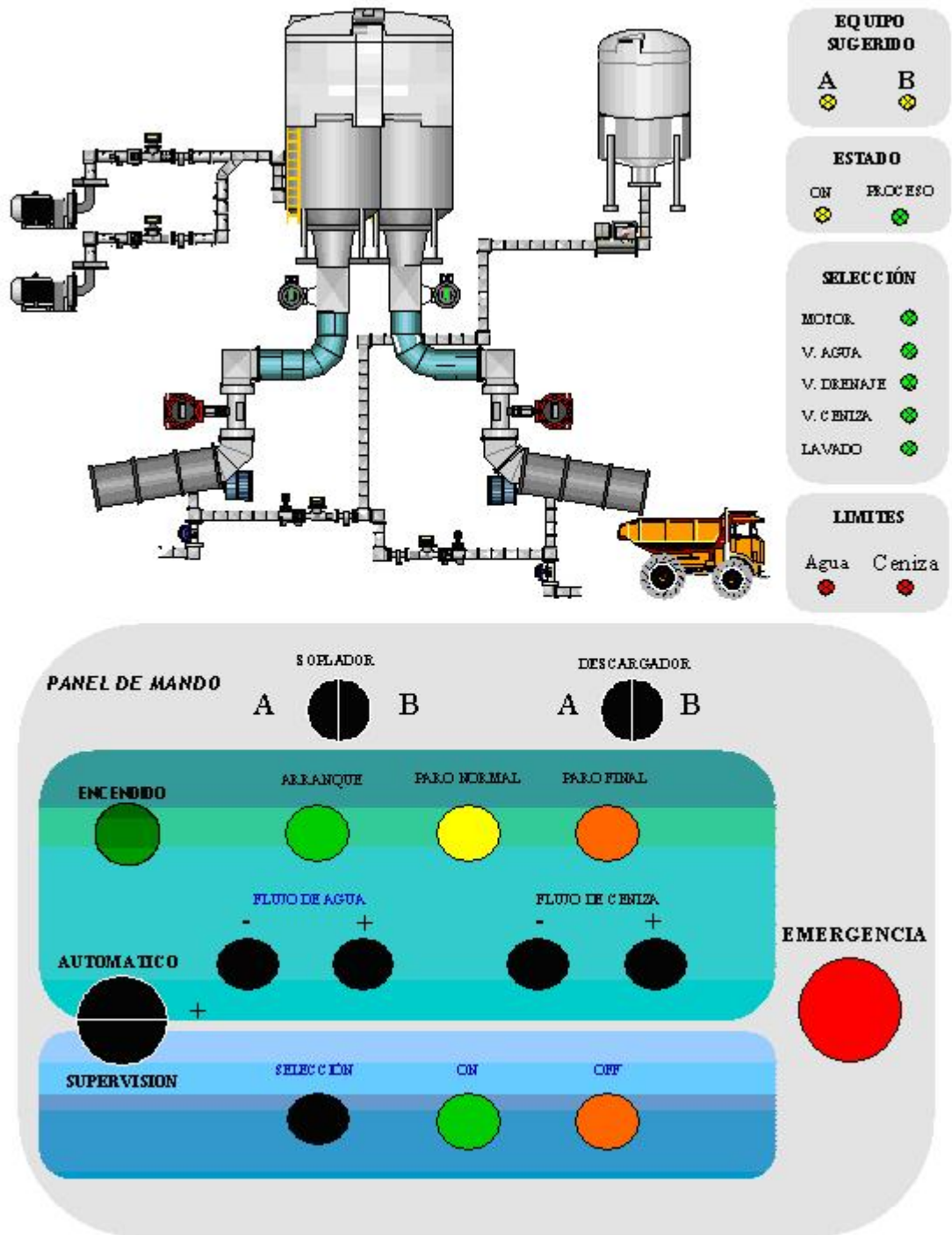
Este apartado corresponde a la macro-etapa M3 de la guía.

6.3.1 Planos Este apartado corresponde a la etapa 24 de la guía. Los planos realizados para este proyecto fueron eléctricos y de ubicación, se encuentran en el anexo 5.

El listado de planos es el siguiente:

- Plano 3: Sala de control del descargador y cabinas del nivel 550
- Plano 4: Detalle de conexión del PLC y diagrama de emplazamiento para relés y PLCs
- Plano 5: Diagrama general multifilar de los proyectos
- Plano 9: Conexión de entradas y salidas descargador, PLC 2
- Plano 15: Estaciones arranque parada sopladores y motores para el descargador

Figura 36. Panel y Mímico para el descargador rotativo.



Fuente: Autores.

6.3.2 Guía para el montaje Este apartado corresponde a la etapa 25 de la guía. Esta guía se presenta en el anexo 6.

6.3.3 Guía de operación del equipo. Este apartado corresponde a la etapa 26 de la guía. Para este proceso se tiene la opción de seleccionar el descargador (*A* o *B*), el soplador fluidificador (*1* o *2*) y el modo de operación (*normal* o *ajuste*). Cuando hay señal de *encendido* se guarda el dato de la posición de estos interruptores, haciendo que durante el proceso no puedan ser modificados. Cuando se desea usar el modo normal el procedimiento es el siguiente:

1. Al inicio se observa encendido un indicador que “sugiere” el uso de uno u otro descargador, dependiendo del número de ciclos de trabajo que haya realizado cada uno. Aquí se debe seleccionar el descargador, el soplador fluidificador y el modo de operación *normal*.
2. Se comienza oprimiendo el pulsador de *encendido*, automáticamente se enciende el soplador fluidificador seleccionado y se abre la respectiva válvula general.
3. Si hay señal en el switch de presión del soplador fluidificador, se habilita el arranque de la descarga, entonces, al presionar el pulsador de *arranque* (comienzo del proceso) se enciende el motor, tres segundos después se abren la válvulas de agua y de drenaje, y pasados 200 ms se abre la válvula de ceniza, si se detecta flujo de agua con ayuda del switch de presión.
4. Durante el proceso se tiene la opción de hacer correcciones si el flujo de agua no es el adecuado, mediante dos pulsadores (*más y menos agua*) con los cuales se cambia el flujo neto por la tubería de drenaje, de esta manera se varía el flujo de agua hacia los aspersores.
5. Si el máximo flujo de agua no es suficiente, se procede a cerrar totalmente la válvula de salida de ceniza mediante el pulsador de *menos ceniza*, para evitar que se propague en el ambiente.

6. Cuando se ha terminado la descarga actual y se necesita realizar una nueva, se oprime el pulsador de *parada normal*, esto produce automáticamente el cierre de las válvulas de agua, drenaje y ceniza, dejando abierta la válvula general y encendido el motor junto con el soplador, esperando a que se posicione el camión, para pulsar nuevamente *arranque* e iniciar una nueva descarga. Este proceso puede realizarse las veces que sea necesario.
7. Cuando se trata de la última descarga, se oprime el pulsador de *parada final*, se cierran las válvulas de agua, ceniza, general y drenaje, luego, durante 20 s permanece en funcionamiento el motor para desocupar los residuos de la mezcla de agua y ceniza, tiempo en el cual se apaga totalmente el sistema.
8. Se tiene un pulsador de parada de emergencia con el cual se desenergizan todos los equipos.

Para el caso del modo de ajuste su funcionamiento es el siguiente:

1. Cuando el equipo está apagado, se selecciona el modo de ajuste y se oprime *encendido*.
2. Con el pulsador de *selección* se cambia entre las siguientes opciones: lavado, motor, válvula de agua, válvula de ceniza, soplador, válvula general y válvula de drenaje, en este modo los interruptores de selección del descargador (*A* o *B*) y soplador fluidificador (*1* o *2*) están disponibles en todo momento.
3. Cuando se ha seleccionado el equipo requerido, se puede encender o apagar en cualquier momento. Esta operación se puede realizar las veces que sea necesario.
4. Para salir de este modo se oprime el pulsador de *parada de emergencia* o después de 5 minutos de inactividad, esto produce que se apaguen todos los equipos que se encuentren encendidos.

6.3.4 Guía de mantenimiento Este apartado corresponde a la etapa 28 de la guía. Esta guía se presenta en el anexo 7.

Con la realización de los documentos anteriores se da por finalizado la etapa de diseño para el proceso de descarga de ceniza de las unidades I, II y III de Termopaipa.

CONCLUSIONES

Se culminó satisfactoriamente el diseño de los automatismos para los procesos asignados por la Empresa de Energía de Boyacá, puesto que los circuitos de control, la nueva funcionalidad de los sistemas y la documentación necesaria para el montaje, fueron aprobados por el departamento de mantenimiento eléctrico de Termopaipa; con base en lo anterior la empresa ha adquirido los equipos seleccionados por los autores de esta practica, y en este momento ha iniciado el montaje de los proyectos diseñados.

Para desarrollar proyectos de automatización no basta conocer la programación de controladores, además se deben tener en cuenta aspectos mas generales como la selección adecuada de los equipos de la parte operativa y de mando, las operaciones de ajuste y mantenimiento que se le pueden llegar a realizar al automatismo, la elaboración de la documentación, la distribución apropiada del tiempo y los recursos disponibles, etc.

La realización de una practica industrial, puede llegar a enfrentar a los estudiantes con los problemas de la industria colombiana, contribuyendo con la experiencia necesaria para la correcta y justificada realización de trabajos o diseños que cubran los requerimientos de dichas industrias.

La experiencia adquirida a nivel de programación, permite comprobar que la metodología de programación Grafcet, es idónea para diseñar el circuito de control de un automatismo secuencial, presenta la ventaja de realizar la depuración de los programas rápidamente, y además facilita la implementación de circuitos de control complementarios.

La interfaz grafica de programación que ofrece el software PL7 micro, facilita la implementación de un algoritmo diseñado con la metodología Grafcet, reduciendo

el tiempo de depuración, gracias a la animación que presenta durante la ejecución del programa. El inconveniente de este software es la necesidad de conexión con el PLC para dicha depuración.

A partir de la guía de los modos de marcha y parada GEMMA, se establecieron los modos de operación necesarios para los sistemas estudiados. Dicha guía describe de manera general los estados en los que puede encontrarse un automatismo, por lo cual es una herramienta valiosa para el diseño de sistemas automatizados.

Además de un software de presentación, es importante centralizar el mando y supervisión de los procesos en un área cercana a los equipos de la parte operativa, para facilitar el manejo de estos y permitir al operario tomar decisiones con mayor rapidez.

Teniendo en cuenta el ambiente de trabajo y la constante manipulación a la que deben ser sometidos, los dispositivos de mando elegidos son adecuados, cumpliendo con las normas Nema e IP correspondientes.

El estado de “*producción no obstante o en fallos*” diseñado para el martilleo en los precipitadores electrostáticos, permite en teoría que la unidad de generación involucrada, no se deba apagar debido a una baja en la eficiencia de recolección del precipitador, causada por la acumulación excesiva de ceniza en uno de los campos.

El estado de “*marcha de verificación en desorden*” diseñado para el descargador rotativo, permite probar el funcionamiento de las válvulas y los motores de manera independiente, facilitando las tareas de mantenimiento.

La regulación del flujo de agua diseñada para el descargador rotativo, evita el desgaste de la válvula de paso de agua, el cual se venía presentando debido a los ciclos de apertura y cierre realizados por los operarios, para controlar el consumo excesivo de agua o la aspersión de ceniza en el ambiente. Es importante recalcar que la regulación propuesta, no implica la compra inmediata de una válvula de control, reduciendo costos.

En el circuito de control diseñado para el descargador rotativo, mediante la utilización de interruptores de presión, asegura que no exista una apertura accidental de la válvula de ceniza, sin presencia de agua en el tambor.

Para el descargador rotativo el ciclo de apertura y cierre de las válvulas de paso de agua y ceniza no se dejó disponible, ya que los tiempos de accionamiento de estas son considerablemente mayores a los tiempos sugeridos por el fabricante para dicho ciclo.

Los tableros diseñados centralizan y facilitan el mando y supervisión de los procesos de martilleo y descarga de ceniza; resaltando que en este último, se diseñó un único tablero de control para dos descargadores, lo que permite dejar como respaldo el tablero antiguo.

El modelo matemático para determinar el flujo de agua necesario para obtener una mezcla adecuada de agua y ceniza, es complejo debido a la gran cantidad de variables involucradas. Se identifica así un interesante problema de control multivariable para ser resuelto en proyectos de grado posteriores que podrían llegar a ser impulsados o patrocinados por Termopaipa.

La guía realizada señala un punto de partida para llevar a cabo proyectos de automatización, y facilita pautas para que estudiantes y egresados de la universidad, puedan encarar con mayor propiedad proyectos en el área de automatización en la industria Colombiana. Esta guía pretende contribuir con la labor de extensión de la universidad, y surge de aplicar los conceptos adquiridos durante la formación profesional, así como de la experiencia adquirida en la práctica industrial.

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

El precipitador electrostático requiere una revisión detallada de los sistemas mecánicos que lo conforman, ya que según afirmaciones de los operarios, las barras de los electrodos de descarga y las laminas de los electrodos colectores, se encuentran llenos de grasa residual acumulada debido a la combustión de fuel-oil, lo que posiblemente produce una reducción de la eficiencia del precipitador. Se sugiere realizar una limpieza a profundidad del equipo, y ajustar nuevamente los electrodos, para que la distancia entre ellos sea la propuesta por el fabricante (300mm), ya que esta afecta la eficiencia del equipo. Si se determina que la causa de la reducción en la eficiencia del precipitador, son los residuos de fuel-oil en los electrodos, se puede pensar en la posibilidad de elaborar un ducto paralelo al precipitador, por donde pasen los gases de la combustión de fuel-oil, permitiendo que a través del precipitador pasen únicamente los residuos resultantes de la combustión del carbón. Lógicamente se deben hacer compuertas de paso que cierren el precipitador cuando está en combustión el fuel-oil, y lo abran cuando el combustible sea carbón.

Según la bibliografía y las páginas de Internet consultadas, se puede lograr una mejor eficiencia en el precipitador golpeando las láminas colectoras en la parte superior, o adicionando otro campo para la recolección.

Se puede realizar un estudio estadístico de cual debe ser la secuencia óptima de ocurrencia de efluvios de contorno dentro de cada campo, y así ajustar el equipo que controla dicho fenómeno.

En el descargador después de realizar el montaje del proyecto, es necesario realizar pruebas con diferentes presiones de entrada de agua, variando el nivel de apertura de la válvula manual, y así determinar la presión óptima necesaria para producir una mezcla adecuada.

Es posible reducir el consumo de agua, con la utilización de emulsiones, las cuales encapsulan las partículas de ceniza reduciendo la volatilidad de esta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GARCÍA ROMERO Emilio, AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES. Alfaomega- Universidad Politécnica de Valencia. 2001
2. BALCELLS Joseph, ROMERAL José Luis. AUTÓMATAS PROGRAMABLES. Alfaomega Marcombo.1998
3. MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES Ltda., Manual de operaciones: precipitador electrostático termopaipa unidades II y III
4. UNITED CONVEYOR CORPORATION, Manual de operación: descargador rotativo de ceniza
5. GÉLVEZ FIGUEREDO Julio Augusto, Curso básico de controladores lógicos programables, 1999
6. GÉLVEZ FIGUEREDO Julio Augusto, Monografía Redes de comunicación industriales. 2002
7. MENESES FLOREZ Jorge Enrique, Controladores lógicos programables (PLCs), UIS, Barrancabermeja, 1998
8. Manual del lenguaje de programación del plc Gould pc0185
9. Manual de referencia Software PL7 micro, 1996
10. PERRY Robert H., Manual del ingeniero Químico. McGraw-Hill. 1992. Tomo V p. (20-124) – (20-136)
11. MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES Ltda., Planos eléctricos de la unidad III
12. FLOWER LEIVA Luis, Controles y automatismos eléctricos, Bogota 1989

13. NIÑO Carlos, BECERRA Álvaro, Redes industriales. modbus y ethernet implementados en autómatas programables trilogi, koyo y modicon-telemecanique, Proyecto de pregrado, UIS 2003
14. RUEDA SANTOS Oscar Rene, Redes industriales: implementación del Scada p-cim para el control y la supervisión de procesos industriales, Proyecto de pregrado, UIS 2003
15. NIÑO Eduar, MONROY Hector, Rediseño del sistema automático para el vaciado de ceniza volátil del precipitador electrostático en la tercera unidad de la central termoeléctrica de Paipa, Proyecto de pregrado, UPTC 2002
16. RONCANCIO Rafael, Curso de instrumentación, Bucaramanga 1997

Paginas consultadas:

- www.automatas.org
- www.plcopen.org
- www.schneider-electric.com.mx
- <http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/enlaces/grafcet.html> (PDF)
- <http://www.lurpa.ens-cachan.fr/grafcet/grafcet.html> (PDF)
- www.conveyorcorporation.com
- www.enven.cz.
- www.eas.asu.edu.
- www.seattle.battelle.org.

ANEXO 1

RESUMEN DE LA NORMA IEC 61131-3

IEC 61131

El estándar IEC 61131 fue desarrollado con la participación de fabricantes, usuarios y académicos.

IEC 61131 consta de cinco partes principales:

1. La información general
2. El equipo y los requisitos experimentales
3. Los lenguajes de programación PLC
4. Las líneas directivas del usuario
5. Las comunicaciones

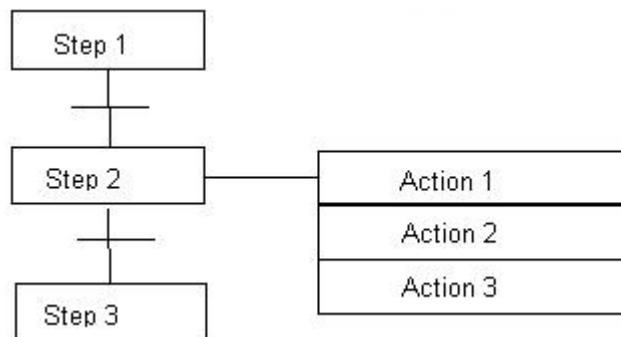
IEC 61131-3

La tercera parte IEC 61131-3, es el estándar internacional para lenguajes de programación de controladores lógicos programables PLC. En este se especifica la sintaxis, la semántica y el despliegue de los lenguajes de programación listados a continuación:

- Gráficas de Función secuencial (SFC)
- El diagrama escalera (LD)
- Diagrama de bloques de función (FBD)
- El texto estructurado (ST)
- La lista de instrucción (ILLINOIS)

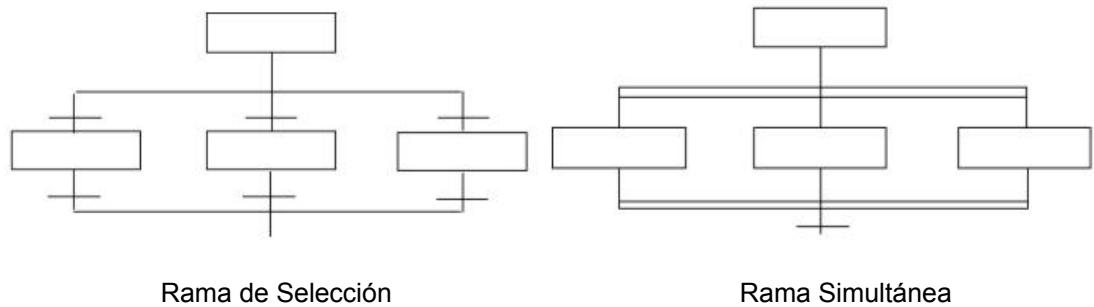
Uno de los beneficios primordiales del estándar es que permite que múltiples lenguajes sean usados dentro del mismo controlador programable. Esto permite al desarrollador del programa seleccionar el lenguaje más conveniente para cada tarea en particular. Por la descomposición en elementos lógicos, la modularización y las modernas técnicas informáticas, cada programa es estructurado, aumentando la posibilidad de utilizarlo nuevamente, reduciendo errores y aumentando eficiencia de programación.

Graficas de Función Secuencial (SFC)



La programación SFC ofrece un método gráfico para organizar el programa. Los tres componentes principales de un SFC son pasos, acciones y transiciones. Los pasos son meramente trozos de lógica, las acciones son los aspectos individuales de esa tarea y las transiciones son los mecanismos usados para mover de una tarea a otra. El control lógico para cada Paso, cada Acción y cada Transición está programado en uno de los otros lenguajes como Ladder o el Texto Estructurado. Como un lenguaje gráfico, la programación SFC le ofrece varias elecciones para ejecutar un programa. En una configuración secuencial, el procesador simplemente ejecuta las acciones en el paso 1 repetidamente, hasta que la lógica de transición se hace verdadera, cambiando al estado 2. En una **rama de selección**, sólo una rama es ejecutada dependiendo cuál transición esté en ejecución. En una **rama simultánea**, todas las ramas son

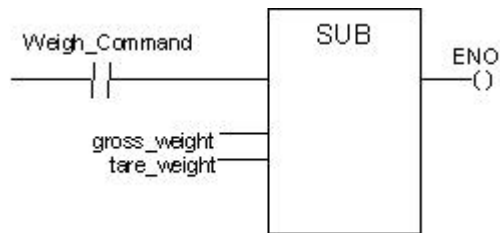
ejecutadas hasta que la transición se active. Además de los tipos diversos de ramas, la operación de acciones individuales dentro de un paso puede ser variada con el uso de calificadores de acción (acciones condicionales).



En la práctica, un paso activo es resaltado para señalar al programador cuál parte del programa es ejecutada, este es un rasgo útil para la localización de fallas.

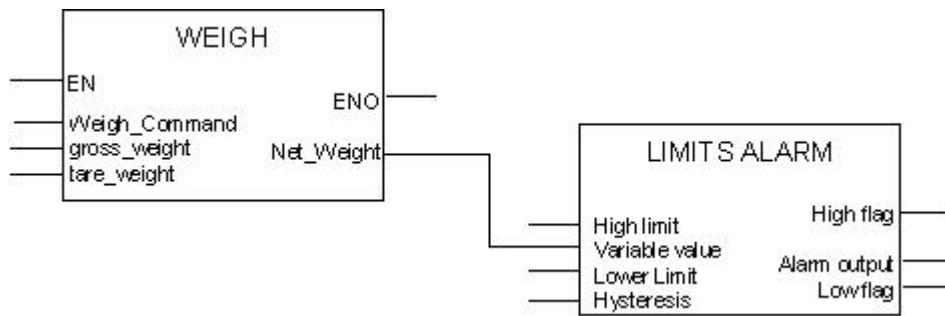
Note que el estándar ofrece la programación SFC como una herramienta de organización. Y puede ser programada en uno de los cuatro lenguajes de programación descritos a continuación.

Diagrama de la Escalera (LD ladder)



Para gente que domina la Lógica Cableada, LD es ventajoso en términos de versatilidad. Aunque es posible programar toda lógica de control en LD, complementarlo con otros lenguajes, lo hace mas adecuado para una tarea particular de control.

Diagrama de bloques de Función (FBD)



Los elementos de programa aparecen como bloques, alambrados semejando un diagrama de circuitos. FBD es más útil en esas aplicaciones que involucran un alto grado de flujo de información entre componentes de control.

Texto Estructurado (ST)

Este lenguaje de alto nivel es similar a Pascal o Basic, y de hecho, la gente instruida en los lenguajes de programación de computadoras, a menudo lo encuentran el lenguaje más fácil de usar, para programar un circuito de control. ST es ideal para tareas que requieren matemáticas complicadas, algoritmos o toma de decisiones.

Lista de Instrucciones

Este lenguaje de bajo nivel es similar al lenguaje Ensamblador y es útil en los casos donde las funciones de control son cortas y repetitivas. Aunque es poderoso, es considerado como un lenguaje difícil de aprender.

GRAFSET

Introducción

La creciente complejidad de los automatismos industriales se traduce en una mayor dificultad para definir de una manera clara y sin ambigüedades, las especificaciones funcionales a las que se debe responder. Esta dificultad se ve agravada por la utilización de un gran número de informaciones de entrada y

salida. Las distintas formas de descripción de un proceso podrían ser clasificadas en diferentes grupos:

- . Una descripción literal resulta larga, incomoda, a veces imprecisa y a menudo incompleta.
- . Una descripción lógica (logigrama) es dirigida exclusivamente a una tecnología determinada.
- . Una representación por organigrama, resulta pobre en el caso de los automatismos secuenciales, debido a que no muestra los funcionamientos simultáneos.

Los trabajos realizados en los últimos años, han conducido a representaciones gráficas de las especificaciones funcionales, totalmente independientes de la realización tecnológica, pudiendo ésta ser cableada (módulos neumáticos, relés electromecánicos o módulos electrónicos) o programada (PLC, ordenador o microprocesador).

Estas nuevas formas de representación se basan en los conceptos de etapa y de receptividad, que simplifican en gran medida la síntesis de automatismos secuenciales, puesto que se considera que entre el gran número de informaciones disponibles, pocas son significativas en un determinado momento.

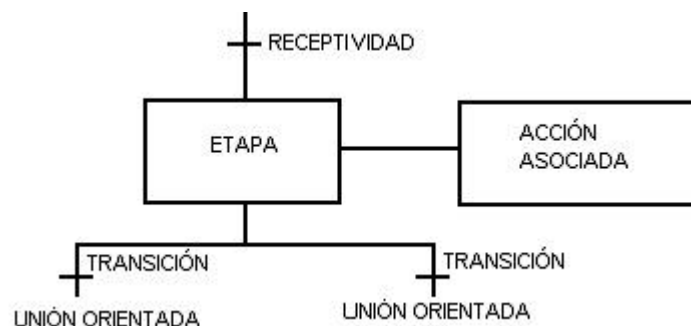
A partir de estas ideas, los trabajos efectuados por las comisiones de AFCET. (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique, Asociación Francesa para la cibernética económica y técnica) y de ADEPA, (Agence Nationale pour le Developpment de la Production Automatisée, Agencia nacional para el desarrollo de la producción automatizada) han dado como resultado la definición de un diagrama funcional: el GRAFCET, (Graphe de Comands Etape/Transition, gráfico de mando etapa/transición).

Este diagrama funcional permite describir los comportamientos del automatismo en relación a las informaciones que recibe, imponiendo un funcionamiento riguroso, evitando de esta forma incoherencias, bloqueos o conflictos en el funcionamiento.

Conceptos básicos

El Grafcet se compone básicamente de un conjunto de:

- **Etapas:** define un estado en el que se encuentra el automatismo. Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.
- **Acciones Asociadas:** define la acción que va a realizar la etapa, por ejemplo conectar un contactor, desconectar una bobina, etc.
- **Transiciones:** indican la posibilidad de evolución entre etapas.
- **Receptividad:** es la condición o condiciones que, conjuntamente con la etapa anterior, hacen evolucionar el Grafcet de una etapa a la siguiente, por ejemplo un pulsador, un detector, un temporizador, etc.
- **Uniones Orientadas:** son las líneas que unen las etapas a las transiciones y las transiciones a las etapas.



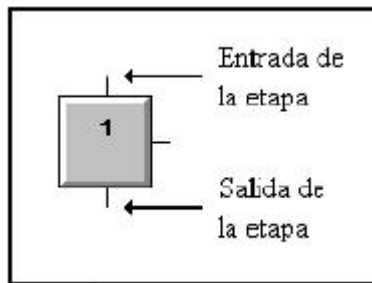
Etapas

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

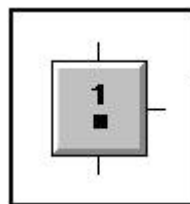
En un momento determinado, y según sea la evolución del sistema:

- Una **etapa** puede estar **activa** o **inactiva**.
- El conjunto de las **etapas activas** definen 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 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**:

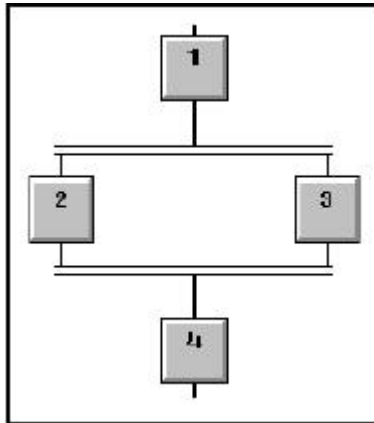


Cuando es necesario determinar la situación del Grafcet en un momento determinado, es muy cómodo identificar todas las etapas activas en ese momento, mediante un punto en la parte inferior de los símbolos de las etapas activas:



Las etapas de inicio se marcan con un doble cuadrado.

Cuando varias transiciones van unidas a una misma etapa, las uniones orientadas correspondientes se reagrupan antes o después de la etapa:

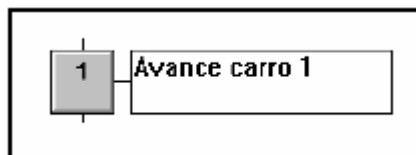


Acciones asociadas

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. Tanto las acciones asociadas a las etapas como las receptividades asociadas a las transiciones se pueden describir a tres niveles:

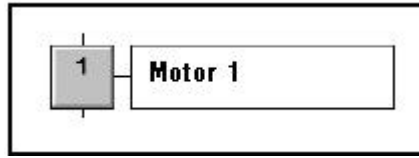
Nivel 1 descripción funcional: Se trabaja con las especificaciones funcionales del automatismo, de forma independiente a la tecnología que lo llevará a la práctica.

Describe las acciones que se deben efectuar y los elementos de control que intervendrán, sin indicar los elementos concretos que serán utilizadas.



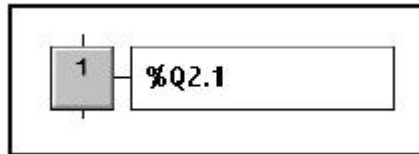
Acción asociada a la etapa 1 (nivel 1): Avance del carro 1

Nivel 2 descripción tecnológica: Se especifican los aspectos relacionados con la parte operativa y de mando, detallando los elementos tecnológicos que intervendrán.



Acción asociada a la etapa 1 (nivel 2): Motor 1

Nivel 3 descripción operativa: Deben especificarse todos los elementos, con los distintivos propios de las entradas y salidas del controlador, así como las marcas internas que serán utilizadas.



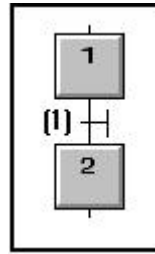
Acción asociada a la etapa 1 (nivel 3): %Q2.1

Cuando las acciones están descritas en forma simbólica, debe haber una tabla con la relación entre cada símbolo utilizado y la acción a ejecutar. Para el ejemplo anterior debería existir algo como:

Avance del Carro 1: Motor 1: %Q2.1

Transición

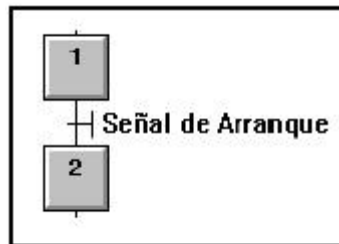
Una transición indica la posibilidad de evolución entre etapas. Esta evolución se consume al producirse el **franqueo** de la **transición**. El franqueo de una transición provoca el paso en la parte de mando de una situación a otra. Una **transición** puede estar **validada** o **no validada**. Se dice que está validada cuando todas las etapas inmediatamente unidas a esta transición están activas. 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. Para facilitar la comprensión del Grafset cada transición puede ir numerada a la izquierda de la línea perpendicular.



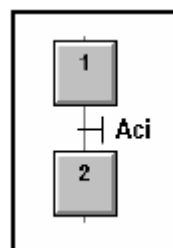
Transición que une la etapa 1 con la etapa 2

Receptividad asociada a la transición

A cada transición va asociada una proposición lógica llamada receptividad que puede ser verdadera o falsa. 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). Las entradas de la parte de mando corresponden a las informaciones externas provenientes de la parte operativa, de consignas dadas por el operador, o de informaciones de otros sistemas. La receptividad va escrita literal o simbólicamente, preferentemente a la derecha del símbolo de la transición.



Representación literal de la receptividad



Representación simbólica de la receptividad

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

Aci: Señal Arranque

Cuando no hay condición asociada a una transición, se dice que la receptividad es verdadera siempre y se escribe =1.

Uniones orientadas

Las uniones orientadas unen las etapas a las transiciones y las transiciones a las etapas. Señalan el camino de las evoluciones. Las uniones orientadas se representan mediante líneas horizontales o verticales. Las líneas oblicuas pueden ser empleadas excepcionalmente siempre que añadan claridad al diagrama. Por convenio, el sentido de las evoluciones en un Grafcet es de arriba hacia abajo.

Las flechas se utilizan para señalar la orientación de las uniones:

- Cuando no se respeta el convenio.
- En casos especiales, siempre que su presencia aporte claridad y facilite la comprensión de las evoluciones del Grafcet.

REGLAS DE EVOLUCIÓN

Situación Inicial

La situación inicial del Grafcet caracteriza el comportamiento inicial de la parte de mando en relación a la parte operativa, y corresponde a las etapas activas al comienzo del funcionamiento. Si esta situación es siempre la misma, caso de los automatismos cíclicos, estará caracterizada por las etapas iniciales. Este caso corresponde a un comportamiento de reposo. En el caso de automatismos no cíclicos, la situación de partida depende del estado del proceso en el momento de

la puesta en marcha de la parte de mando. La forma de establecer la situación inicial debe ser definida en el Grafcet o en documentación adjunta.

Franqueo de una Transición

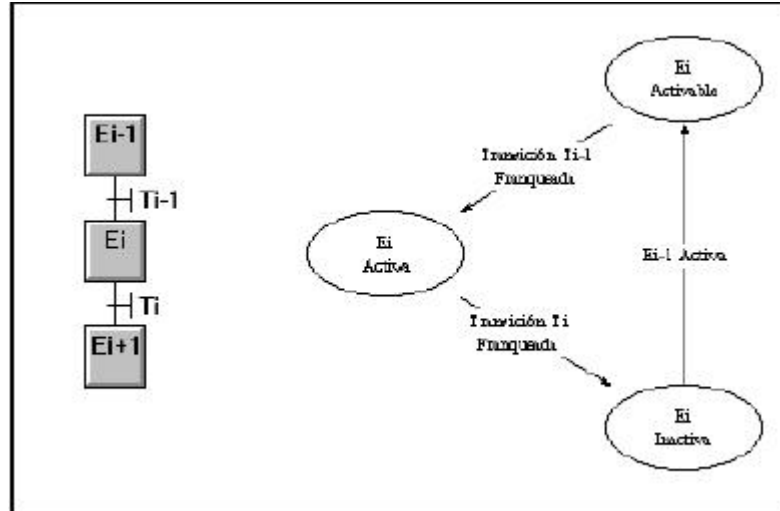
La evolución de la situación del Grafcet correspondiente al franqueo de una transición no puede producirse más que:

- cuando esta transición está validada y
- cuando la receptividad asociada a esa transición es cierta.

Cuando estas dos condiciones se cumplen, la transición es franqueable y entonces es franqueada **obligatoriamente**.

Evolución de las Etapas activas

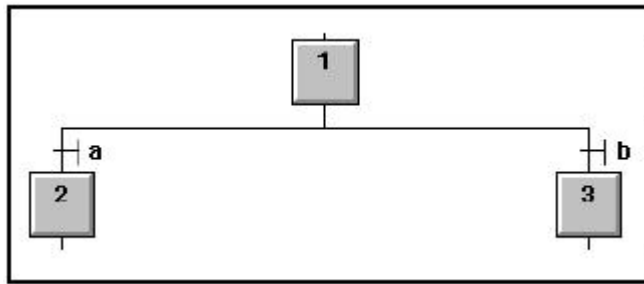
El franqueo de una transición trae como consecuencia la activación simultánea de todas las etapas inmediatamente posteriores y la desactivación de todas las etapas inmediatamente anteriores.



Estados posibles de la etapa Ei y sus transiciones

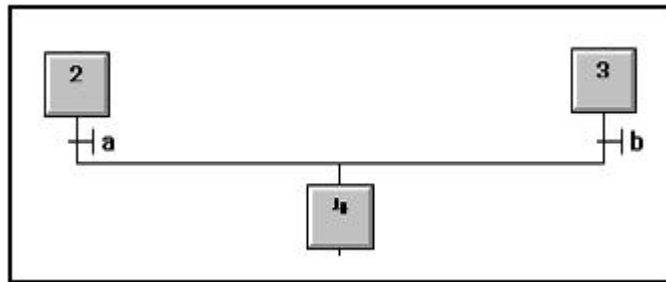
Reglas de estructuras de uso frecuente

- **Divergencia en O.** Se representa mediante el esquema:



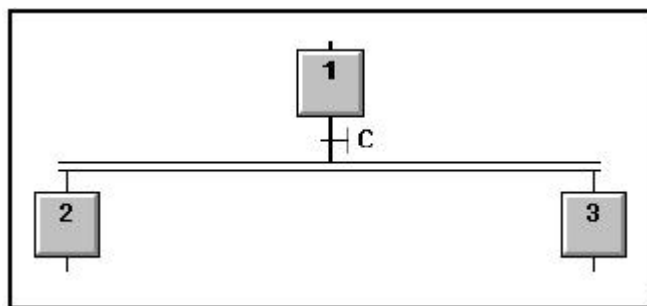
Cuando la etapa 1 está activa, según se cumpla la receptividad asociada a la transición **a** o la receptividad asociada a la transición **b**, pasará a ser activa la etapa 2 o bien la etapa 3 respectivamente.

- **Convergencia en O.** Se representa mediante el esquema:



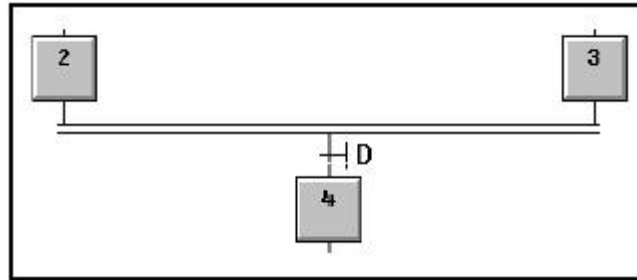
Si la etapa activa es la 2 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **a** para pasar a la etapa 4. Si la etapa activa es la 3 debe cumplirse la receptividad asociada a la transición **b**, para que la etapa 4 pase a estar activa.

- **Divergencia en Y.** Viene dada por el esquema:



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

- **Convergencia en Y.** Viene dada por el siguiente esquema:



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

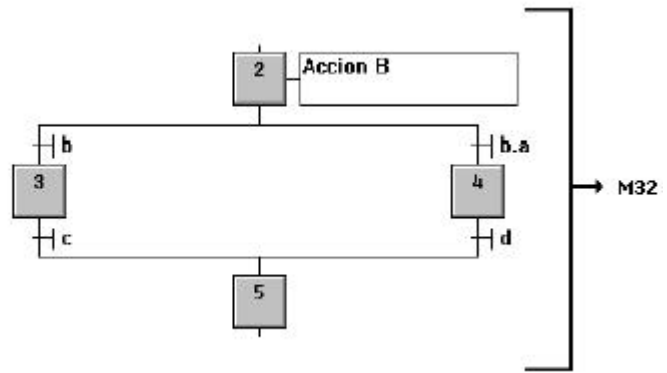
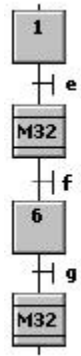
Evoluciones Simultáneas

Varias transiciones que son franqueables simultáneamente, son simultáneamente franqueadas. Esta regla de franqueo simultáneo permite descomponer el Grafset en varios diagramas, especificando claramente sus interconexiones. En este caso, es indispensable hacer intervenir, en las receptividades los estados activos de las etapas.

Activación y Desactivación Simultánea

Si en el curso del funcionamiento de un automatismo una etapa debe ser desactivada y activada simultáneamente, ésta seguirá activa.

Reutilización de la misma Secuencia. Cuando una misma secuencia se utiliza varias veces, puede ser organizada de forma parecida a un subprograma. Las secuencias utilizadas como subprograma se representan mediante un rectángulo cuyos lados superior e inferior van duplicados.



ANEXO 2

GEMMA (GUÍA DE MODOS DE MARCHA Y PARADA)

GEMMA es una metodología complementaria a Grafcet, la cual define un vocabulario preciso para los modos de marchas y paradas de un automatismo. GEMMA considera los distintos macroestados por los que puede desembocar el funcionamiento del proceso. Es una lista de todos los estados que pueden ser necesarios para el buen funcionamiento de un automatismo y las relaciones entre ellos.

GEMMA se representa mediante una tabla que agrupa una serie de rectángulos denominados rectángulos de estado. Estos se clasifican en tres grupos F, A, y D, cuyo objetivo es describir cada modo de marcha o de parada. En muchas ocasiones es posible que un problema solo requiera el uso de unos cuantos rectángulos o etapas de GEMMA.

CLASIFICACIÓN DE LOS MODOS DE MARCHA Y PARADA.

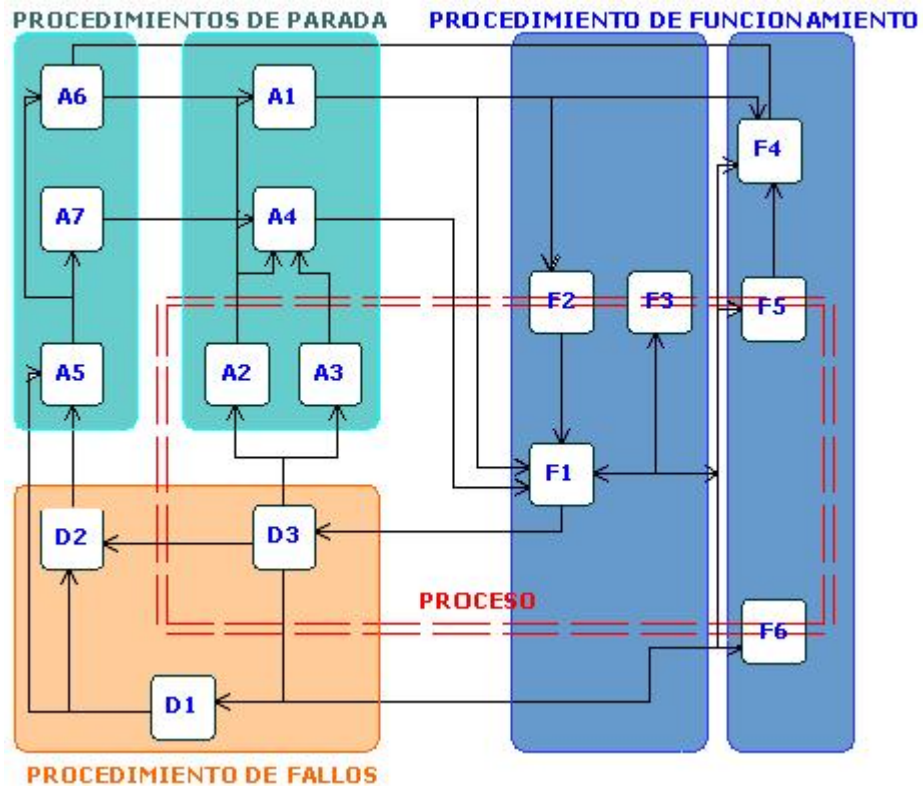
Grupo F (Procedimientos de funcionamiento)

En este grupo se ubican todos los estados que son necesarios para la producción, también incluyen los estados que conciernen a las fases de preparación o final de ciclo de producción, y las fases de prueba.

F1 (Producción normal) En este estado se encuentra el modo de producción normal. Generalmente corresponde con el GRAFCET básico del proceso.

F2 (Marcha de preparación) En este estado se realizan todas las maniobras necesarias (manuales o automáticas) para poder comenzar con el proceso.

F3 (Marcha de cierre) En este estado se ejecutan las acciones que se deben cumplir para detener la ejecución del proceso.



F4 (Marcha de verificación en desorden) Este estado permite verificar el funcionamiento del sistema sin importar el orden de ejecución.

F5 (Marcha de verificación bajo orden) En este estado se desarrolla el ciclo de producción a un ritmo controlado por el operario, es decir que para cada paso de evolución del automatismo, es necesaria una condición adicional producida por el operario desde el panel de control.

F6 (Marcha de test) Es un modo de marcha sobre el cual se realizan paralelamente operaciones de ajuste o calibraciones de sensores y actuadores.

Grupo A (Procedimientos de parada)

En este grupo se encuentran los estados que corresponden a las paradas del proceso por razones exteriores al sistema, por ejemplo, la falta de aprovisionamiento de materia prima, o paro por el final de la jornada de trabajo. El modo de parada A identifica los procesos de paro, relacionados con el funcionamiento normal y no a eventos generados por el proceso.

A1 (Parada estado inicial) Es el estado previo del inicio de la producción, en este se encuentran posicionados todos los elementos de la parte operativa para el arranque del ciclo. Corresponde generalmente al estado inicial de Grafset por ello se dibuja con una doble línea.

A2 (Parada solicitada en fin de ciclo) Se activa esta etapa cuando estando el funcionamiento se solicita fin de ciclo, es posible que el proceso no se detenga ya que tiene que realizar la respectiva marcha de cierre.

A3 (Parada solicitada en un estado determinado) Es una parada transitoria hacia A4 y sucede por congelación de la situación actual de la parte de control, produciendo una parada en una situación diferente al fin de ciclo.

A4 (Parada obtenida) Es una posición de paro diferente al estado A1.

A5 (Preparación para la reposición en marcha después de fallo) En este estado se procede a realizar todas las operaciones (desbloques, limpieza, etc.) necesarias para reanudar la marcha del sistema después de un fallo.

A6 (Puesta de la parte operativa en el estado inicial) En este estado la parte operativa se ubica en una posición de referencia, bien sea manual o automáticamente. La puesta en referencia puede hacerse de forma secuencial o de forma simultánea.

A7 (puesta de la parte operativa en un estado determinado después de parada de emergencia) En este estado se ubica la parte operativa en la posición que se encontraba en el momento de la parada de emergencia (diferente a la de referencia).

Grupo D (Procedimientos de fallos de la parte operativa)

Este grupo comprende los modos de intervención, manuales o lógicos, que permitan remediar fallos de la parte operativa.

D1 (Parada de emergencia) Es el estado que se toma después de una parada de emergencia, donde se prevén no solo las paradas, sino también los ciclos de desbloqueo, los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a los fallos. Una parada de emergencia puede ser originada por el operario (acción manual) o por la aparición de una señal de seguridad.

Los tipos de parada de emergencias según el grado de seguridad exigida pueden ser:

- Corte de la parte de control y la parte operativa
- Corte de la parte de control
- Corte de la parte de control con realización de un ciclo de desbloqueo

D2 (Diagnostico y/o tratamiento de fallos) En este estado el automatismo puede ser examinado después de un fallo y en él se puede realizar un tratamiento que permita el reinicio del sistema. Se procede a examinar el sistema, se establece un diagnóstico y en función de este, se decide cual es el procedimiento a ejecutar para posicionar el sistema en producción normal o en estado de producción no obstante o producción en fallo.

D3 (Producción no obstante o en fallo) Contempla el caso en el cual se continua la producción ante la eventualidad de ocurrencia de un fallo de carácter leve que no amerite detener el proceso.

ANEXO 3 NORMAS IP Y NEMA



Estándares de protección "IP" y "NEMA"

(Línea: Varias)

Los equipos diseñados para trabajo en ambientes hostiles deben cumplir con ciertos estándares que aseguren su robustez y permitan a la gente saber hasta dónde pueden llegar en su utilización. Para saber si un equipo, tal como una terminal portátil, un indicador de peso, un lector de código de barras o un monitor son los adecuados para una aplicación que funcionará bajo condiciones extremas, es necesario revisar sus especificaciones mecánicas, donde generalmente encontraremos grados IP, NEMA o IEC. Seguramente ha leído estas especificaciones y sabe que, por ejemplo, un indicador con NEMA 4X ó un lector con IP 69 son muy robustos, pero ¿son realmente apropiados para la aplicación que tiene en mente? A continuación se explican brevemente los fundamentos de éstos estándares.



IP (Ingress Protection). El sistema de clasificación IP proporciona un medio de clasificar el grado de protección de sólidos (como polvo) y líquidos (como agua) que el equipo eléctrico y gabinetes deben reunir. El sistema es reconocido en la mayoría de los países y está incluido en varios estándares, incluyendo el IEC 60529.

Los números IP son frecuentemente indicados en gabinetes, conectores, etc. El tercer dígito, referente a la protección contra impactos mecánicos es generalmente omitido.

CORPORATIVO

Dr. Márquez No 19, Col. Doctores
C.P. 06720 México, D.F.
Tel.: (55) 5638 7003. Fax: (55) 5030 2291
tecmxco@tec-mex.com.mx

SUCURSAL BAJIO

Ignacio Pérez Sur No. 28-16, Col. Centro.
C.P. 76000. Querétaro, Qro.
Tel.: (442) 215 3052. Fax: (442) 215 5853
tecbajo@tec-mex.com.mx

SUCURSAL OCCIDENTE

José Gpe. Montenegro No. 1942, Col. Barrera
C.P. 44150. Guadalajara, Jal.
Tel.: (33) 3827 2500. Fax: (33) 3827 2501
tec_occidente@tec-mex.com.mx

www.tec-mex.com.mx

1



TEC ELECTRONICA S.A. DE C.V.

Filial del grupo **TOSHIBA TEC CORPORATION**



TABLA DE GRADOS IP

	Primer Número - Protección contra sólidos		Segundo Número - Protección contra líquidos		Tercer Número - Protección contra impactos mecánicos (generalmente omitido)
0	Sin Protección	0	Sin Protección	0	Sin Protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	1	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	1	Protegido contra impactos de 0.225 joules
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	2	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical	2	Protegido contra impactos de 0.375 joules
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	3	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical	3	Protegido contra impactos de 0.5 joules
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida	4	Protegido contra impactos de 2.0 joules
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	5	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida	5	Protegido contra impactos de 6.0 joules
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida	6	Protegido contra impactos de 20.0 joules
7		7	Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m	7	
8		8	Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	8	

Así, por ejemplo, una terminal con IP-64 está totalmente protegida contra la entrada de polvo y contra rocíos directos de agua de todas las direcciones.

CORPORATIVO

Dr. Márquez No 19, Col. Doctores.
C.P. 06720, México, D.F.
Tel: (55) 5638 7063. Fax: (55) 5530 2291
tec_mexico@tec-mex.com.mx

SUCURSAL BAJIO

Ignacio Pérez Sur No. 28-16, Col. Centro.
C.P. 76600, Querétano, Qro
Tel: (442) 215 3092. Fax: (442) 215 5853
tec_bajio@tec-mex.com.mx

SUCURSAL OCCIDENTE

José Gpe. Montenegro No. 1942, Col. Barrera
C.P. 44150, Guadalajara, Jal.
Tel: (33) 3627 2500. Fax: (33) 3627 2001
tec_occidente@tec-mex.com.mx

www.tec-mex.com.mx

2



NEMA (National Electrical Manufacturers Association).

Este es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (E.U.). Los estándares más comúnmente encontrados en las especificaciones de los equipos son los siguientes:

NEMA 4. Sellado contra el agua y polvo. Los gabinetes tipo 4 están diseñados especialmente para su uso en interiores y exteriores, protegiendo el equipo contra salpicaduras de agua, filtraciones de agua, agua que caiga sobre ellos y condensación externa severa. Son resistentes al granizo pero no a prueba de granizo (hielo). Deben tener ejes para conductos para conexión sellada contra agua a la entrada de los conductos y medios de montaje externos a la cavidad para el equipo.

NEMA 4X. Sellado contra agua y resistente a la corrosión. Los gabinetes tipo 4X tienen las mismas características que los tipo 4, además de ser resistentes a la corrosión.

NEMA 12. Uso industrial. Un gabinete diseñado para usarse en industrias en las que se desea excluir materiales tales como polvo, pelusa, fibras y filtraciones de aceite o líquido enfriador. El resto de los tipos de NEMA pueden denominarse a grandes rasgos:

Tipo 1	Para propósitos generales
Tipo 2	A prueba de goteos
Tipo 3	Resistente al clima
Tipo 3R	Sellado contra la lluvia
Tipo 3S	Sellado contra lluvia, granizo y polvo
Tipo 5	Sellado contra polvo
Tipo 6	Sumergible
Tipo 6P	Contra entrada de agua durante sumersiones prolongadas a una profundidad limitada
Tipo 7 (A, B, C o D)*	Locales peligrosos, Clase I - Equipo cuyas interrupciones ocurren en el aire.
Tipo 8 (A, B, C o D)*	Locales peligrosos, Clase I - Aparatos sumergidos en aceite.
Tipo 9 (E, F o G)*	Locales peligrosos, Clase II
Tipo 10	U.S. Bureau of Mines - a prueba de explosiones (para minas de carbón con gases)
Tipo 11	Resistente al Acido o a gases corrosivos - sumergido en aceite
Tipo 13	A prueba de polvo

* Las letras que siguen al número indican el grupo o grupos particulares de locales peligrosos según se definen en el National Electrical Code para el que se diseñó el gabinete en cuestión. La designación de este tipo de NEMA está incompleta sin una o varias letras de sufijo.

CORPORATIVO

Dr. Márquez No. 19, Col. Doctores
C.P. 06720, México, D.F.
Tel.: (52) 5538 7003. Fax: (55) 5530 2291
tecMexico@tec-mex.com.mx

SUCURSAL BAJIO

Ignacio Pérez Sur No. 28-16, Col. Centro.
C.P. 76000, Querétaro, Qro.
Tel.: (442) 215 3092. Fax: (442) 215 5853
tecbajo@tec-mex.com.mx

SUCURSAL OCCIDENTE

José Gpe. Montenegro No. 1942, Col. Barrera
C.P. 44150, Guadalajara, Jal.
Tel.: (33) 3827 2500. Fax: (33) 3827 2501
tec_occidente@tec-mex.com.mx

www.tec-mex.com.mx



TEC ELECTRONICA S.A. DE C.V.

Filial del grupo **TOSHIBA TEC CORPORATION**



NEMA VS IP

La siguiente es una referencia cruzada para comparar los estándares IP y NEMA. Es una comparación aproximada solamente y es la responsabilidad del usuario verificar el nivel de protección necesario para cada aplicación.

NEMA/IP	IP23	IP30	IP32	IP55	IP64	IP65	IP66	IP67
1	X							
2		X						
3					X			
4							X	
4X							X	
6								X
12				X		X		
13						X		

TEC Electrónica cuenta con una gran variedad de equipos con protección para ambientes demandantes, tales como las terminales portátiles [Dolphin 7200](#) y [7400](#), con IP64; el lector RF [IT-3870](#), con IP54; o los indicadores de peso [FNTEC-I-1700E](#) con sellado NEMA 4X. Si su aplicación requiere equipos con un grado de protección especial, por favor consulte con nuestros Ejecutivos de Ventas.

Todas las marcas y nombres de productos aquí contenidos están registrados en favor de sus respectivos propietarios.

© TEC Electrónica, S.A. de C.V. 2002

CORPORATIVO

Dr. Márquez No 19, Col. Doctores.
C.P. 06720. México, D.F.
Tel.: (55) 5638 7063. Fax: (55) 5030 2291
tecMexico@tec-mex.com.mx

SUCURSAL BAJIO

Ignacio Pérez Sur No. 28-16, Col. Centro.
C.P. 76000. Querétano, Qro.
Tel.: (442) 215 3092. Fax: (442) 215 5853
tecbajio@tec-mex.com.mx

SUCURSAL OCCIDENTE

José Gpe. Montenegro No. 1942, Col. Barrera
C.P. 44150. Guadalajara, Jal.
Tel.: (33) 3827 2500. Fax: (33) 3827 2501
tec_occidente@tec-mex.com.mx

www.tec-mex.com.mx

ANEXO 4

GUÍA PARA PROGRAMACIÓN DE PLCs

FAMILIARIZACIÓN CON EL PLC

Después de haber adquirido el PLC, se debe estudiar el manual del usuario, para conocer el tipo de alimentación, la localización de entradas-salidas, el terminal de programación, los racks de expansión de memoria, y en general la forma de conexión de cada uno de sus componentes. Adicionalmente se debe examinar el software de programación, ya que cada fabricante tiene su propia semántica y sintaxis para el manejo de los elementos, como el direccionamiento de entradas-salidas, nomenclatura de marcas de usuario, lenguajes de programación, etc.

LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Los lenguajes de programación comúnmente encontrados en los diferentes tipos de PLC son:

- Lista de instrucciones (IL)
- Texto estructurado (ST)
- Ladder o diagrama de contactos (LD)
- Diagrama de bloques funcionales (FBD)

Los dos primeros son literales y los últimos de tipo gráfico. A continuación se describen brevemente y se muestra un ejemplo que realiza la operación $C = A * \overline{B}$.

El lenguaje de lista de instrucciones (véase Figura 1), es un modelo del lenguaje ensamblador, y está basado en la utilización de un acumulador.

Figura 1. Ejemplo de lista de instrucciones.

LISTA DE INSTRUCCIONES (IL)

LD	A
ANDN	B
ST	C

Fuente: Autores.

El lenguaje de Texto Estructurado (véase Figura 2) es un lenguaje de alto nivel con orígenes en el Pascal y “C”; puede ser utilizado para codificar expresiones complejas, e instrucciones anidadas, dado que dispone de estructuras para bucles (Repeat-Until; While-Do), además de ejecuciones condicionales (If-Then-Else;Case) y Funciones (Sqrt, Sin, etc.).

Figura 2. Ejemplo de texto estructurado.

TEXTO ESTRUCTURADO (ST)

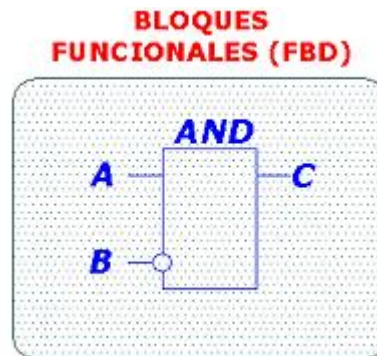
C=A AND NOT B

Fuente: Autores.

El Diagrama de Bloques Funcionales (véase Figura 3), es muy común en aplicaciones que implican flujo de datos entre componentes de control. Como se observa las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados,

esto lo hace más fácil de comprender por parte de un ingeniero Electrónico, este lenguaje de programación es ampliamente usado en Europa.

Figura 3. Ejemplo de bloques funcionales.



Fuente: Autores.

El Diagrama de Contactos (véase Figura 4) esta basado en la representación grafica de la lógica cableada, siendo más comprensible por parte de un ingeniero electricista. En la actualidad la gran mayoría de los PLCs incluyen este lenguaje, haciéndolo uno de los más utilizados por programadores de automatismos.

Figura 4. Ejemplo de Diagrama de contactos o Ladder.



Fuente: Autores.

Existe un lenguaje de programación basado en la metodología Grafcet, que permite realizar el esquema o una lista de instrucciones que lo represente, dicho

lenguaje no se encuentra en todos las marcas de PLCs, por lo tanto, se presenta una ayuda para programar el automatismo diseñado con metodología Grafcet, en lenguaje Ladder.

Grafcet en lenguaje Ladder. Inicialmente se recomienda separar la parte secuencial que rige la evolución del automatismo, de la parte combinacional que gobierna las acciones asociadas a cada etapa.

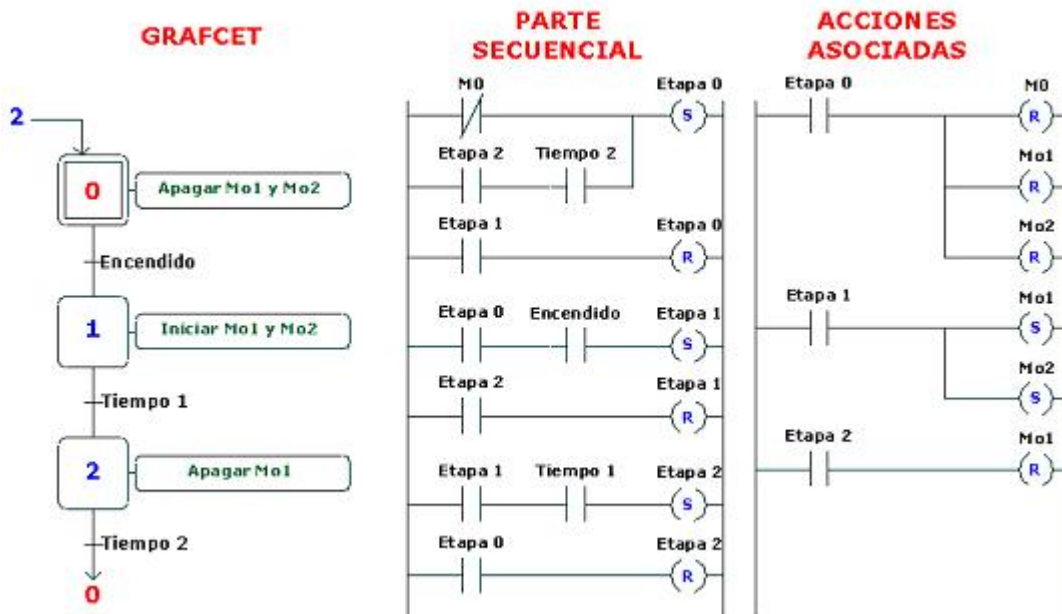
En la programación de la parte secuencial, se emplean marcas internas que representan cada una de las etapas, la activación (set) de una etapa cualquiera ocurre cuando la etapa o etapas previas están activas y se cumplen las condiciones de transición entre dichas etapas (receptividades), la desactivación (reset) de la etapa ocurre cuando la etapa o etapas posteriores se activan.

En la programación de la parte combinacional, se realizan todas las acciones que debe cumplir el automatismo, como encender un motor, abrir una válvula, encender una alarma etc. Entonces cada una de estas operaciones, se ejecuta solamente cuando la etapa (marca elegida) correspondiente esta activa.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo del método mencionado.

El anterior programa permite iniciar dos motores (Mo1 y Mo2) con el pulsador de *encendido*, después de un tiempo 1 se desenergiza el motor 1 (Mo1) y un tiempo 2 mas tarde se desenergiza el motor 2 (Mo2), por ultimo los motores quedan preparados para ser arrancados nuevamente.

Figura 5. Ejemplo de Grafcet implementado en Ladder.



Fuente: Autores.

PRUEBAS Y DEPURACIÓN

Después de tener lista la programación de la aplicación en el PLC, se deben realizar las pruebas de funcionamiento. Dependiendo del PLC elegido y el software disponible se tienen las siguientes opciones.

Simulación. Para esto se requiere disponer de un software de simulación de los programas del PLC. Para la depuración del programa se diseña un tablero de entradas-salidas en dicho software, se corre el programa, luego se simula el accionamiento de las entradas, y se observa el comportamiento de las salidas verificando que todo este acorde a lo diseñado, si el resultado no es el esperado se procede a realizar las correcciones necesarias. Este procedimiento se realiza repetidamente hasta lograr la depuración total.

Las ventajas de este método son: demanda menos trabajo y tiempo de ejecución ya que todo se maneja a nivel de software, no se requiere tener el PLC, el programa se puede correr paso a paso. Los inconvenientes son: el tiempo de ejecución del programa puede no corresponder al tiempo real del PLC, la adquisición de dicho software eleva el costo del proyecto, ya que generalmente viene en un paquete adicional al de programación.

Uso de un banco de pruebas. En algunos casos se cuenta con un banco que permite realizar la depuración de cualquier programa, este consiste en una serie de pulsadores e interruptores que se conectan a las entradas del PLC, y un conjunto de indicadores que se conectan a las salidas. El procedimiento de depuración es el mismo que con el software de simulación.

La ventaja de este método es que el programa se corre directamente en el PLC, con lo que se observa el tiempo real de ejecución, el cual puede ser crítico para el proceso a controlar. La desventaja radica en que se necesita poseer el PLC.

Uso de un Mímico. Es un banco de pruebas diseñado para una aplicación específica, incluye un esquema que refleja el proceso a controlar, haciéndolo mas didáctico.

La ventaja de este método es que sirve como base para el diseño de un mímico para el panel de control, adicionalmente se facilita la depuración del programa, debido a que se pueden identificar claramente cada uno de los elementos que componen el proceso. Las desventajas son: es utilizado únicamente para realizar la depuración de un programa en particular, y el tiempo que implica la elaboración del mímico puede ser extenso.

ANEXO 5

PLANOS

Los planos diseñados para los dos proyectos se listan a continuación:

Plano 1: Sala y cabina del precipitador de la unidad II

Plano 2: Sala y cabina del precipitador de la unidad III

Plano 3: Sala de control del descargador y cabinas del nivel 550

Plano 4: Detalle de conexión del PLC y diagrama de emplazamiento para relés y PLCs

Plano 5: Diagrama general multifilar de los proyectos

Plano 6: Conexión de entradas martilleo unidad II, PLC 1

Plano 7: Conexión de salidas martilleo unidad II, PLC 1

Plano 8: Conexión de entradas y salidas martilleo unidad III, PLC 2

Plano 9: Conexión de entradas y salidas descargador, PLC 2

Plano 10: Estaciones arranque parada precipitador A unidad II campos 1 y 2

Plano 11: Estaciones arranque parada unidad II precipitador A campo 3 precipitador B campo 1

Plano 12: Estaciones arranque parada unidad II precipitador B campos 2 y 3

Plano 13: Estaciones arranque parada precipitador unidad III campos 1 y 2

Plano 14: Estaciones arranque parada precipitador unidad III campo 3

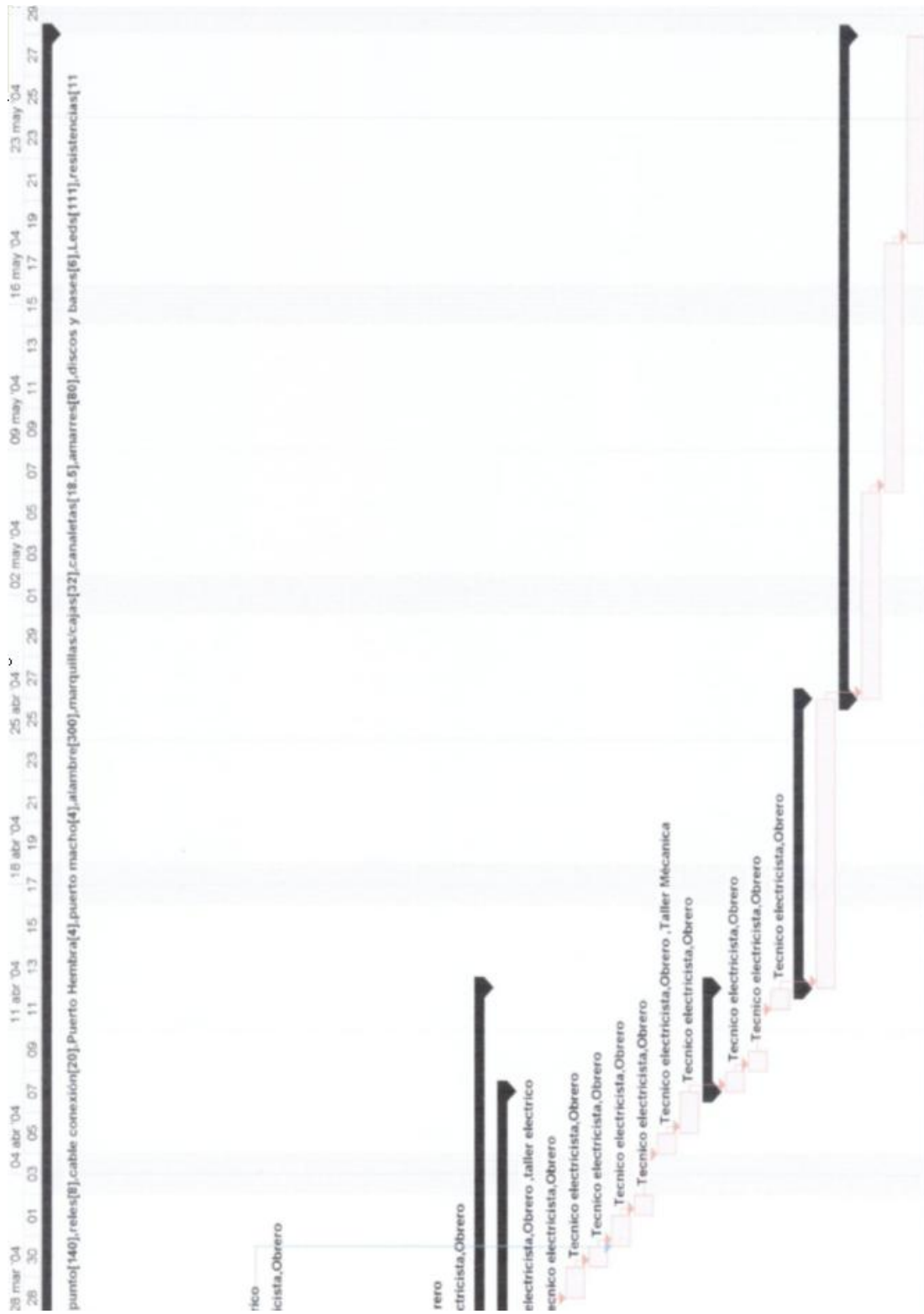
Plano 15: Estaciones arranque parada sopladores y motores para el descargador

Plano 16: Montaje sensor inductivo

ANEXO 6
RECOMENDACIONES PARA EL MONTAJE

Lista de recursos necesarios para el montaje del proyecto.

Nombre del recurso	Costos	Unidades	Total
INGENIERO	\$ 140.000,00/día		\$ 9.100.000,00
Técnico electricista	\$ 20.000,00/día		\$ 620.000,00
Obrero	\$ 20.000,00/día		\$ 620.000,00
Fotograbado	\$ 50.000,00	6	\$ 300.000,00
Impreso	\$ 40.000,00	3	\$ 120.000,00
Tapa protección	\$ 30.000,00	3	\$ 90.000,00
Taller Mecánica	\$ 10.000,00/día		\$ 40.000,00
rieles	\$ 5.000,00	5	\$ 25.000,00
regletas/punto	\$ 1.700,00	140	\$ 238.000,00
relés	\$ 40.000,00	8	\$ 320.000,00
cable conexión	\$ 2.000,00	20	\$ 40.000,00
taller eléctrico	\$ 10.000,00/día		\$ 20.000,00
Puerto Hembra	\$ 4.000,00	4	\$ 16.000,00
puerto macho	\$ 4.000,00	4	\$ 16.000,00
alambre	\$ 470,00	300	\$ 141.000,00
marquillas/cajas	\$ 2.500,00	32	\$ 80.000,00
canaletas	\$ 5.000,00	18,5	\$ 92.500,00
amarres	\$ 37,00	80	\$ 2.960,00
discos y bases	\$ 50.000,00	6	\$ 300.000,00
Leds	\$ 500,00	111	\$ 55.500,00
resistencias	\$ 100,00	111	\$ 11.100,00
tubo protección	\$ 120.000,00	1	\$ 120.000,00
indicadores	\$ 1.200,00	6	\$ 7.200,00
cable encauchetado	\$ 9.500,00	80	\$ 760.000,00
Computador e Impresora	\$ 20.000,00/día		\$ 480.000,00



ANEXO 7

Manual de mantenimiento

Precipitador de la Unidad II

- Lista y ubicación de los puntos de prueba

NOMBRE	CONTACTO DEL RELÉ PREACCIONADOR	BOBINA DEL CONTACTOR	CONTACTOR
Salida Motor M11a	D00-D01 **	D01-GND (42)*	(42)* Plano 10
Salida Motor M12a	D02-D03 **	D03-GND (42)*	(42)* Plano 10
Salida Motor M21a	D04-D05 **	D05-GND (42)*	(42)* Plano 10
Salida Motor M22a	D06-D07 **	D07-GND (42)*	(42)* Plano 10
Salida Motor M31a	D08-D09 **	D09-GND (42)*	(42)* Plano 11
Salida Motor M32a	D10-D11 **	D11-GND (42)*	(42)* Plano 11
Salida Motor M11b	D12-D13 **	D13-GND (42)*	(42)* Plano 11
Salida Motor M12b	D14-D15 **	D15-GND (42)*	(42)* Plano 11
Salida Motor M21b	D16-D17 **	D17-GND (42)*	(42)* Plano 12
Salida Motor M22b	D18-D19 **	D19-GND (42)*	(42)* Plano 12
Salida Motor M31b	D20-D21 **	D21-GND (42)*	(42)* Plano 12
Salida Motor M32b	D22-D23 **	D23-GND (42)*	(42)* Plano 12

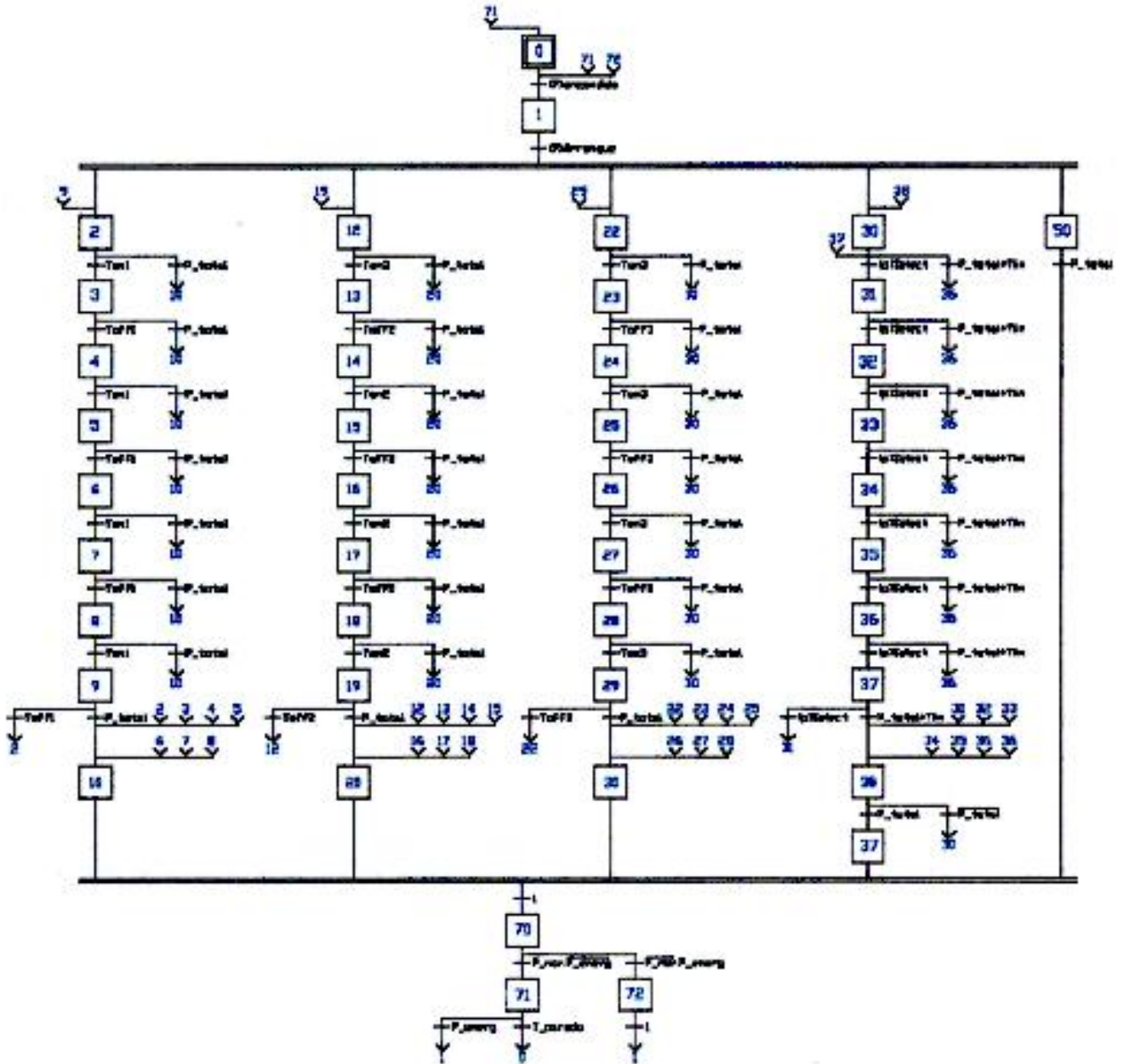
*Notación planos de la empresa.

** Numeración respectiva de los cables presentes en los planos.

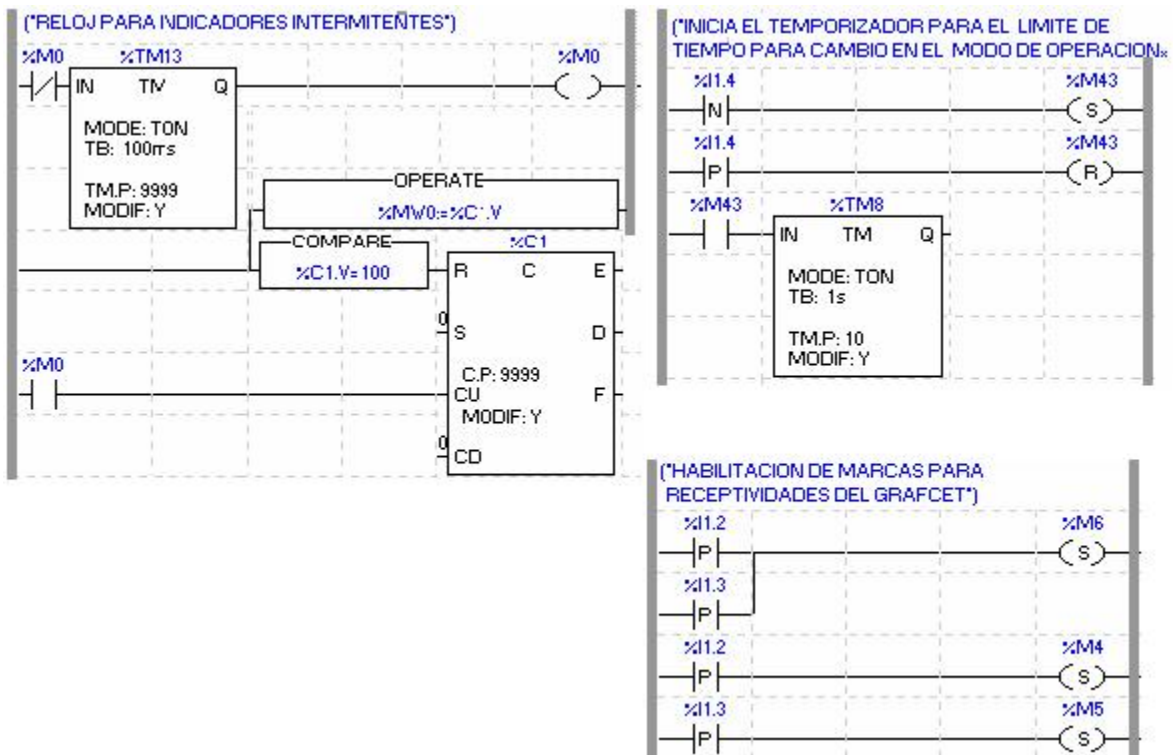
- Relés recomendados como repuesto en caso de fallo

Reles	Referencia	Marca	Características
Tipo 1	RXN 41G11 B	Telemecanique	Bobina 24[V]DC, dos contactos NC.y dos NA.
Tipo 2	RXN 41G11 F7	Telemecanique	Bobina 110[V]AC, dos contactos NC.y dos NA.
Base	RXZ 7G	Telemecanique	Compatible con los dos tipos anteriores

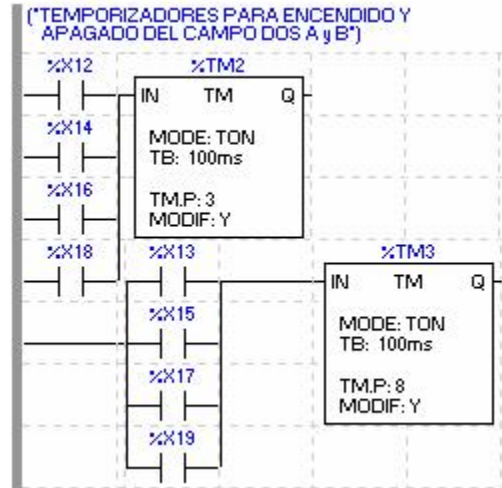
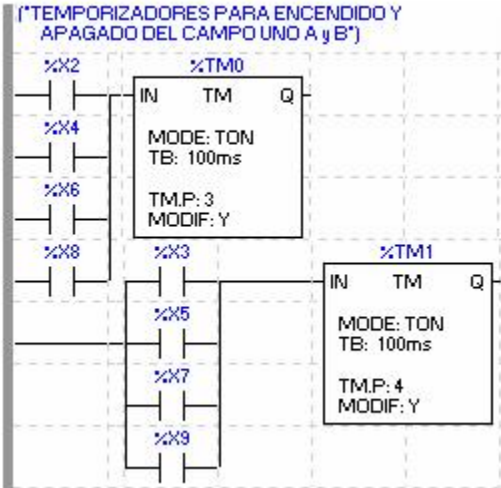
- Circuitos de control utilizando software pl7 micro
 - Grafcet

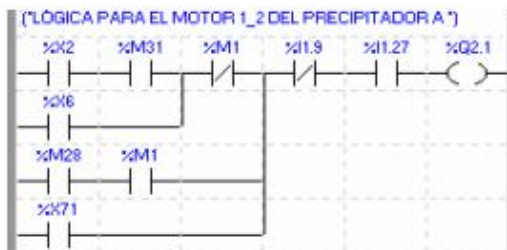
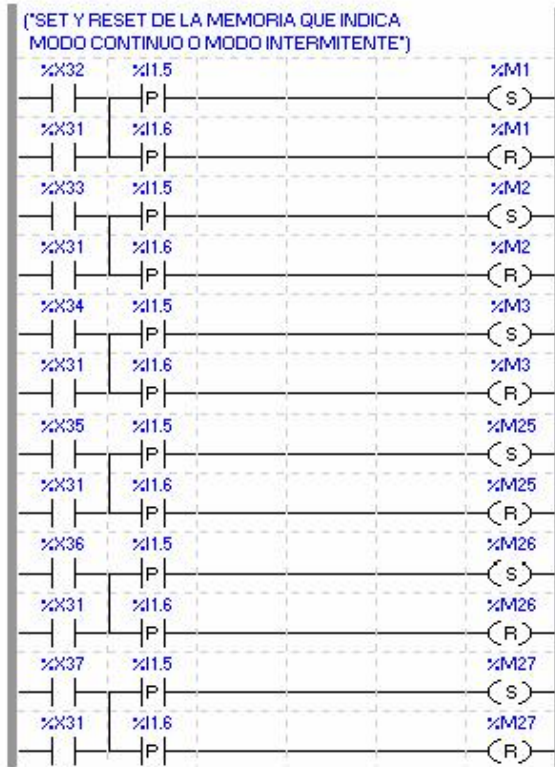
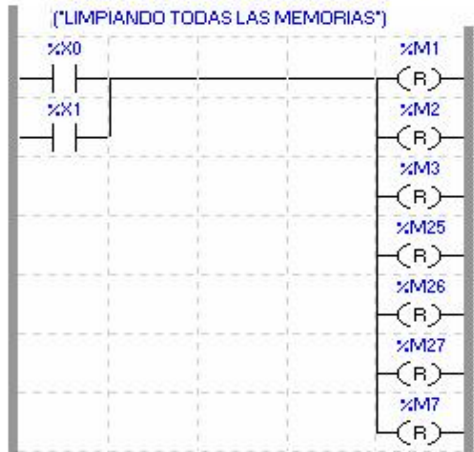
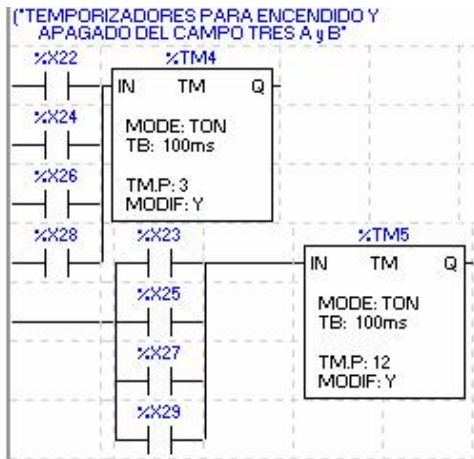


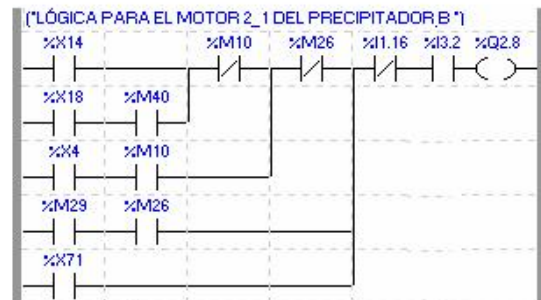
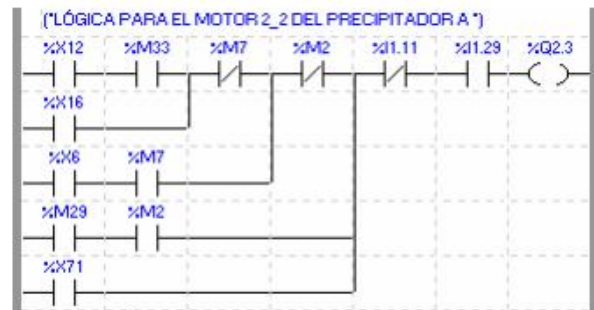
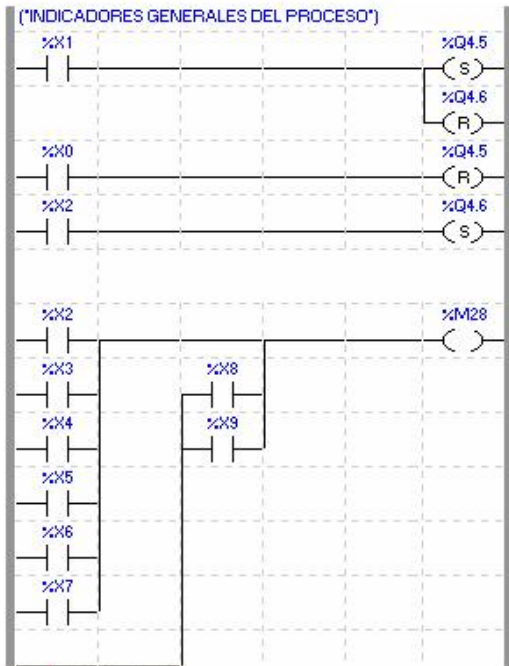
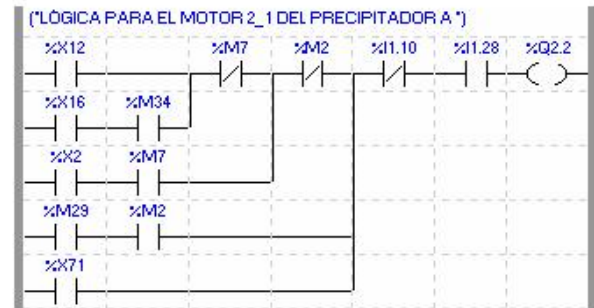
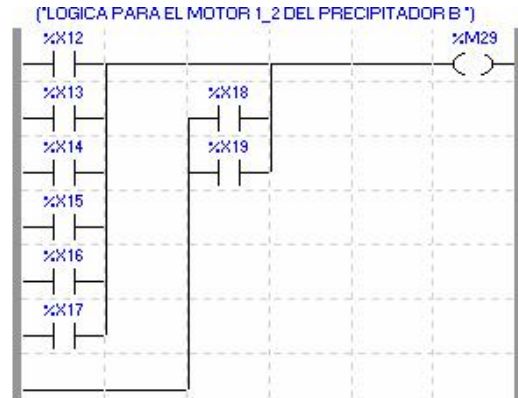
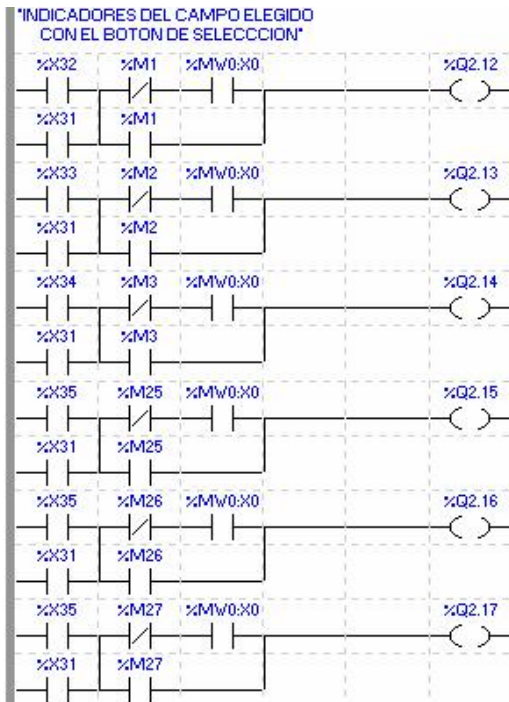
➤ Programa Preliminar

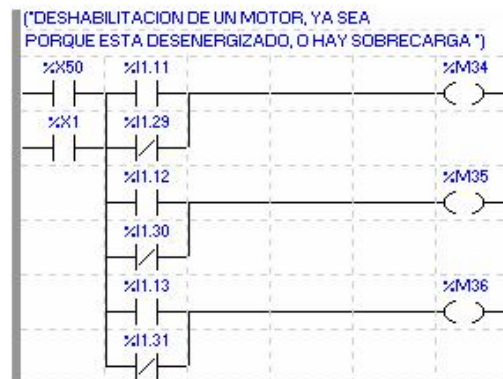
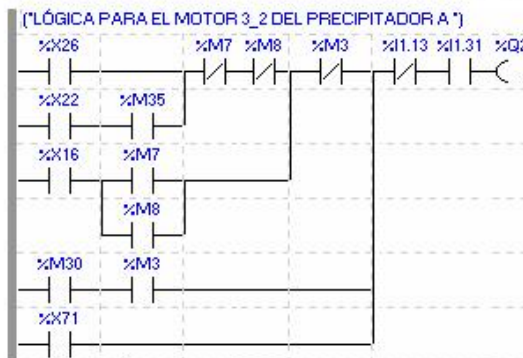
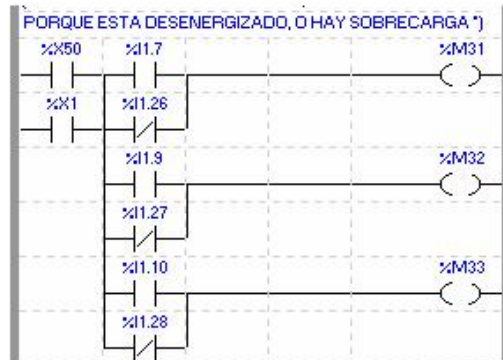
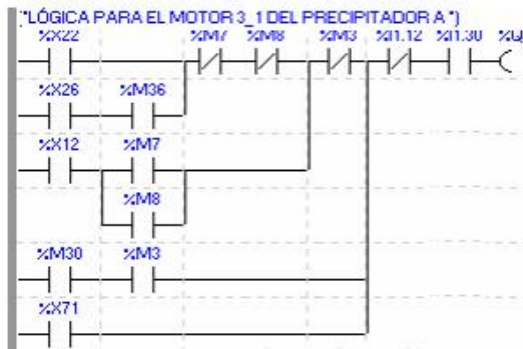
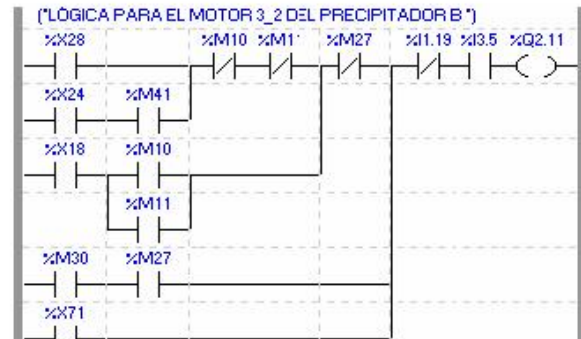
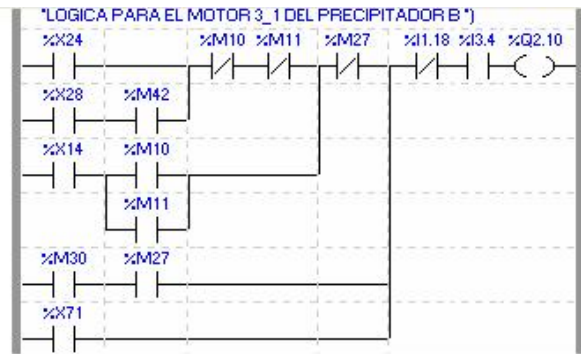


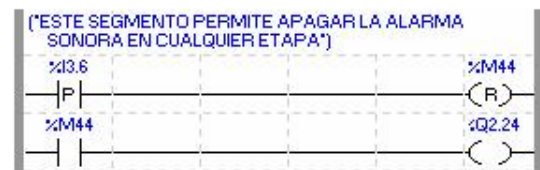
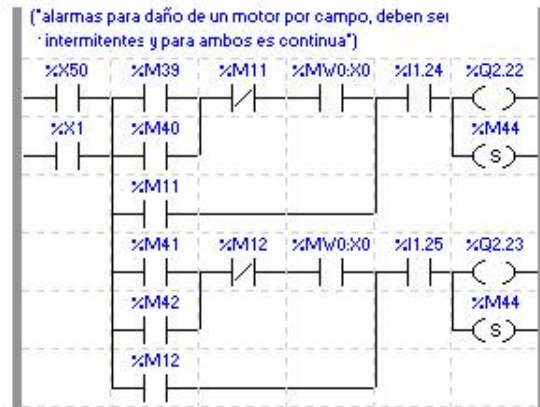
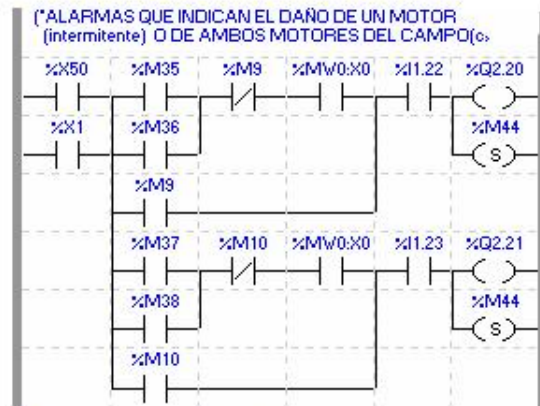
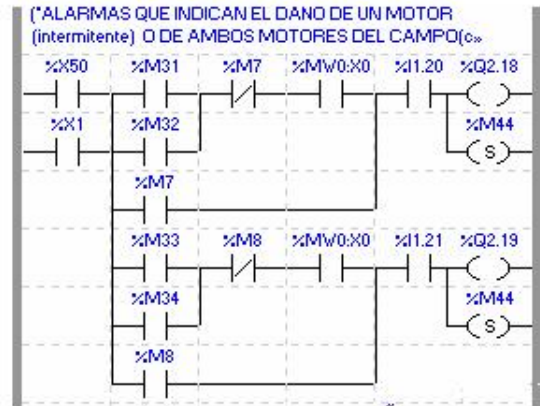
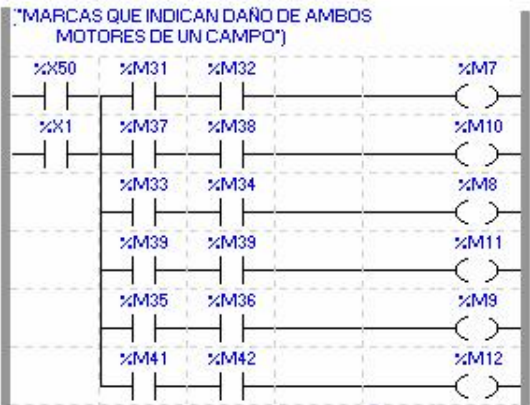
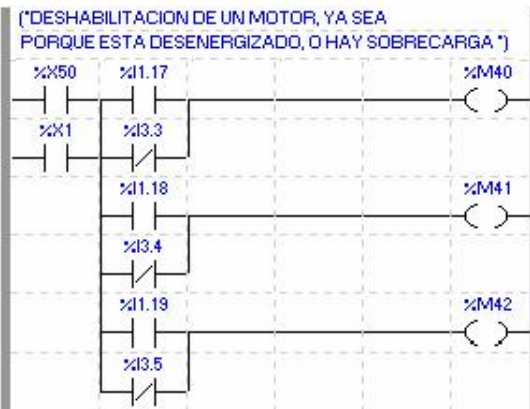
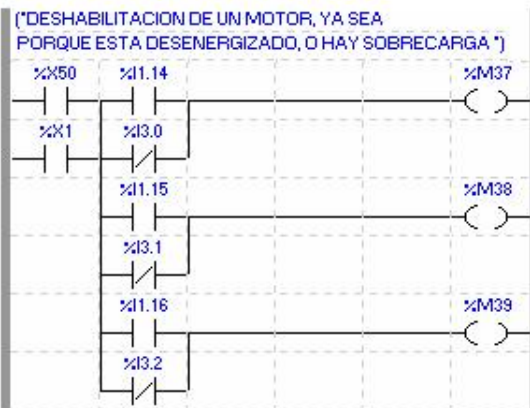
➤ Programa Post

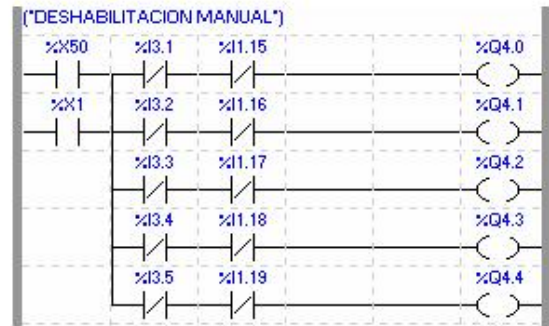
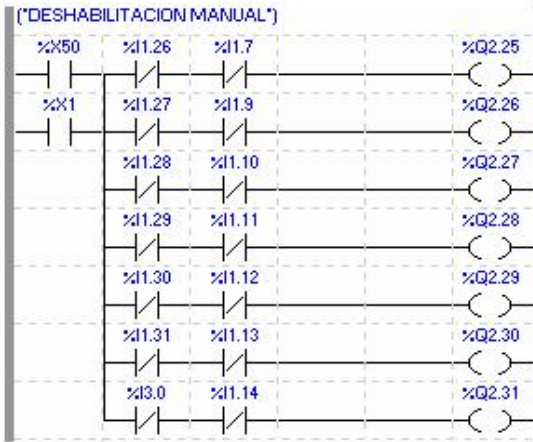












➤ Lista de variables utilizadas

Entradas	Simbolos
1.0 Encendido	Encendido
1.1 Arranque	Arranque
1.2 Parada Normal	P_n
1.3 Parada Emergencia	P_e
1.4 Selección	Selección
1.5 Continuo	Continuo
1.6 Intermitente	Intermi
1.7 Overload M11a	OI11
1.8 RUN/STOP	
1.9 Overload M12a	OI12a
1.10 Overload M21a	OI21a
1.11 Overload M22a	OI22a
1.12 Overload M31a	OI31a
1.13 Overload M32a	OI32a
1.14 Overlobd M11b	OI11b
1.15 Overlobd M12b	OI12b
1.16 Overlobd M21b	OI21b
1.17 Overlobd M22b	OI22b
1.18 Overlobd M31b	OI31b
1.19 Overlobd M32b	OI32b
1.20 Energía Campo F1a	En_f1a
1.21 Energía Campo F2a	En_f2a
1.22 Energía Campo F3a	En_f3a
1.23 Energía Campo F1b	En_f1b
1.24 Energía Campo F2b	En_f2b
1.25 Energía Campo F3b	En_f3b
1.26 On/Off Motor M11a	On_m11a
1.26 On/Off Motor M12a	On_m12a
1.28 On/Off Motor M21a	On_m21a
1.29 On/Off Motor M22a	On_m22a
1.30 On/Off Motor M31a	On_m31a
1.31 On/Off Motor M32a	On_m32a
3.0 On/Off Motor M11b	On_m11b
3.1 On/Off Motor M12b	On_m12b
3.2 On/Off Motor M21b	On_m21b
3.3 On/Off Motor M22b	On_m22b
3.4 On/Off Motor M31b	On_m31b
3.5 On/Off Motor M32b	On_m32b
3.6 Off Alarma Sonora	Off_Alsonora

Salidas	Simbolos
2.0 Salida Motor M11a	Mo11a
2.1 Salida Motor M12a	Mo12a
2.2 Salida Motor M21a	Mo21a
2.3 Salida Motor M22a	Mo22a
2.4 Salida Motor M31a	Mo31a
2.5 Salida Motor M32a	Mo32a
2.6 Salida Motor M11b	Mo11b
2.7 Salida Motor M12b	Mo12b
2.8 Salida Motor M21b	Mo21b
2.9 Salida Motor M22b	Mo22b
2.10 Salida Motor M31b	Mo31b
2.11 Salida Motor M32b	Mo32b
2.12 Indicador Sel. Campo F1a	Luz_f1a
2.13 Indicador Sel. Campo F2a	Luz_f2a
2.14 Indicador Sel. Campo F3a	Luz_f3a
2.15 Indicador Sel. Campo F1b	Luz_f1b
2.16 Indicador Sel. Campo F2b	Luz_f2b
2.17 Indicador Sel. Campo F3b	Luz_f3b
2.18 Alarma Campo F1a	Alar_f1a
2.19 Alarma Campo F2a	Alar_f2a
2.20 Alarma Campo F3a	Alar_f3a
2.21 Alarma Campo F1b	Alar_f1b
2.22 Alarma Campo F2b	Alar_f2b
2.23 Alarma Campo F3b	Alar_f3b
2.24 Alarma Sonora	Alar_son
2.25 Inhabili. Manual/FC M11a	Inh_11a
2.26 Inhabili. Manual/FC M12a	Inh_12a
2.26 Inhabili. Manual/FC M21a	Inh_21a
2.28 Inhabili. Manual/FC M22a	Inh_22a
2.29 Inhabili. Manual/FC M31a	Inh_31a
2.30 Inhabili. Manual/FC M32a	Inh_32a
2.31 Inhabili. Manual/FC M11b	Inh_11b
4.0 Inhabili. Manual/FC M12b	Inh_12b
4.1 Inhabili. Manual/FC M21b	Inh_21b
4.2 Inhabili. Manual/FC M22b	Inh_22b
4.3 Inhabili. Manual/FC M31b	Inh_31b
4.4 Inhabili. Manual/FC M32b	Inh_32b
4.5 Indicador Encendido	Energizado
4.6 Indicador Proceso	Proceso

Contadores	Preselección
1 indicadores intermitentes	XX
2 deshabilitar sensado (FCs)	XX

Temporizadores	Preselección
0 on F1	3 * 1s
1 off F1	77 * 100ms
2 on F2	3 * 1s
3 off F2	184*100ms
4 on F3	3 * 1s
5 off F3	452*100ms
12 parada Final (continuo)	720 * 1min
13 intermitencia visualizadores	2 * 100ms

Marcas	Simbolos
8 daño total de F2a	Df2a
9 daño total de F3a	Df3a
10 daño total de F1b	Df1b
11 daño total de F2b	Df2b
12 daño total de F3b	Df3b
25 indica paso a continuo de F1b	Con_f1b
26 indica paso a continuo de F2b	Con_f2b
27 indica paso a continuo de F3b	Con_f3b
28 auxiliar de paso a modo continuo	M_continua1
29 auxiliar de paso a modo continuo	M_continua2
30 auxiliar de paso a modo continuo	M_continua3
31 sobrecarga o desenergizacion m11a	Dm11a

Temporizador	Preselección
20 limite cambio de modo	5 * 1min

Marcas	Simbolos
0 el reloj de intermitencia	reloj
1 paso a continuo de F1a	Con_f1a
2 paso a continuo de F2a	Con_f2a
3 paso a continuo de F3a	Con_f3a
4 una parada normal	P_nor
5 una parada de emergencia	P_emerg
6 una parada del sistema	P_total
7 daño total de F1a	Df1a

Marcas	Simbolos
32 sobrecarga o desenergizacion m12a	Dm12a
33 sobrecarga o desenergizacion m21a	Dm21a
34 sobrecarga o desenergizacion m22a	Dm22a
35 sobrecarga o desenergizacion m31a	Dm31a
36 sobrecarga o desenergizacion m32a	Dm32a
37 sobrecarga o desenergizacion m11b	Dm11b
38 sobrecarga o desenergizacion m12b	Dm12b
39 sobrecarga o desenergizacion m21b	Dm21b
40 sobrecarga o desenergizacion m22b	Dm22b
41 sobrecarga o desenergizacion m31b	Dm31b
42 sobrecarga o desenergizacion m32b	Dm32b

- Operación de los equipos

A continuación se explica el proceso que se lleva a cabo por parte del operario y las acciones que realiza el control diseñado. Inicialmente se supone que cada uno de los motores sacudidores de los electrodos colectores se encuentran energizados.

1. Se oprime el botón de *encendido* en el panel de control, para energizar el sistema. Inmediatamente se inicia la etapa de supervisión del sistema donde se observa el estado de cada uno de los motores, y si estos se encuentran disponibles. En esta etapa el indicador de *ON* se enciende.
2. Al verificar en el mímico que los campos se encuentran energizados, se puede oprimir el pulsador de *arranque*, con lo cual el control inicia el ciclo de golpe intermitente y se enciende la luz de *proceso*. En esta etapa pueden ocurrir las siguientes eventualidades:
 - Si un motor falla el motor compañero del mismo campo asume su trabajo, es decir, la frecuencia de golpe de este ultimo se duplica
 - Si los dos motores del primer campo fallan, los motores del segundo campo funcionarán a la frecuencia correspondiente al primer campo y los motores del tercer campo sustituyen al segundo
 - De manera similar a lo anterior, si los motores del segundo campo fallan, los motores del campo tres asumen el trabajo que estos realizaban y los del campo uno no varían su frecuencia de golpe

- Los casos nombrados anteriormente disparan las alarmas del sistema.

3. Funciones de Alarma ante las eventualidades.

- La *alarma sonora* se activa en cualquiera de los casos de falla, existe un pulsador para desactivar dicha alarma.
- En el *mímico* se muestran las alarmas por cada campo, estas encienden intermitentemente si solo un motor se encuentra inhabilitado, o de manera continua si ambos motores están fuera de funcionamiento.
- En el *panel de señalización* se identifica, cual o cuales motores están fallando o no se encuentran energizados y cual es la posible causa del fallo, permitiendo al operario proceder a realizar maniobras de corrección apropiadas:
 - Si el indicador de *inhabilitado manual* se encuentra encendido, indica que el motor no esta energizado el los auxiliares de 440 (Estación arranque-parada).
 - Si el indicador de *inhabilitado de sobrecarga* se encuentra encendido, indica que se ha disparado la protección de sobrecarga del motor en los auxiliares de 440 (falla por sobrecarga).

- ### 4. Durante el proceso es posible cambiar el modo de golpe de intermitente a continuo o viceversa, para esto se utiliza el pulsador de *selección*, que al oprimirlo continuamente ubica el campo deseado (observar indicadores de selección), luego se oprime el pulsador de modo *continuo* o el de modo intermitente para realizar el cambio requerido. Existe un tiempo límite para realizar estos cambios, si no se oprime ningún botón durante dicho tiempo, el programa sale de esta etapa y apaga los indicadores de selección.

5. Cuando la caldera es apagada y se requiere hacer la limpieza de los electrodos colectores, se oprime el pulsador de *parada normal*, en este punto el control pasa a realizar el martilleo continuo de los electrodos por un periodo de 12 horas, luego desenergiza automáticamente el sistema y apagan los indicadores de *ON* y *proceso*.

6. En cualquier momento del proceso se pueden parar todos los motores utilizando el pulsador de parada de emergencia.

Notas:

Los planos diseñados se encuentran en el anexo 5.

Las especificaciones detalladas de los equipos de la parte operativa se encuentran en el manual del precipitador.

Precipitador de la Unidad III

- Lista y ubicación de los puntos de prueba

NOMBRE	CONTACTO DEL RELÉ PREACCIONADOR	BOBINA DEL CONTACTOR	CONTACTOR
Salida Motor M11	F13-F14 **	F14-GND (42) *	(42) * plano 4
Salida Motor M12	F15-F16 **	F16-GND (42) *	(42) * plano 4
Salida Motor M21	F17-F18 **	F18-GND (42) *	(42) * plano 4
Salida Motor M22	F19-F20 **	F20-GND (42) *	(42) * plano 4
Salida Motor M31	F21-F22 **	F22-GND (42) *	(42) * plano 5
Salida Motor M32	F23-F24 **	F24-GND (42) *	(42) * plano 5

*Notación planos de la empresa.

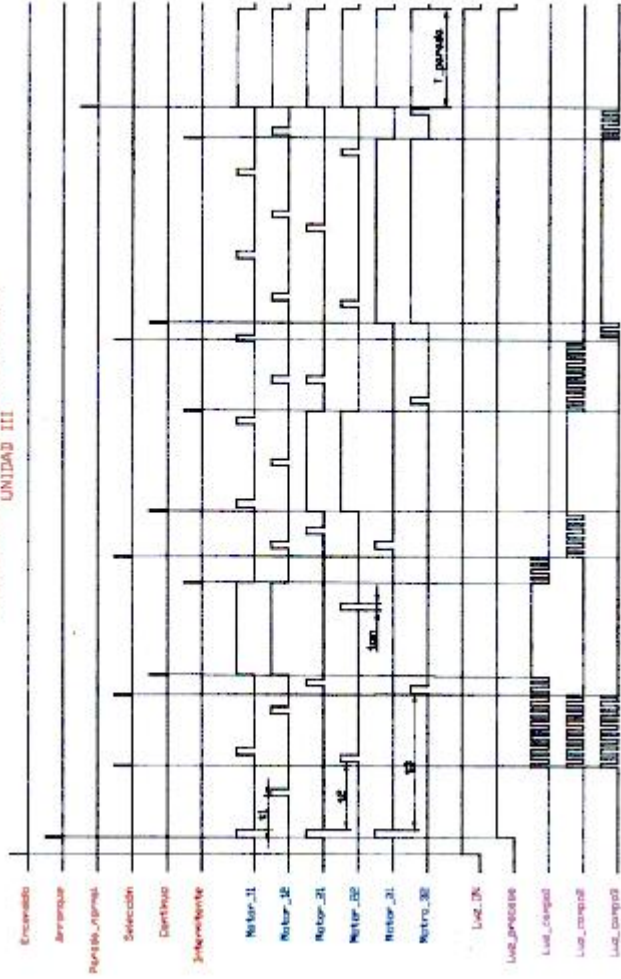
** Numeración respectiva de los cables presentes en los planos.

- Relés recomendados como repuesto en caso de fallo

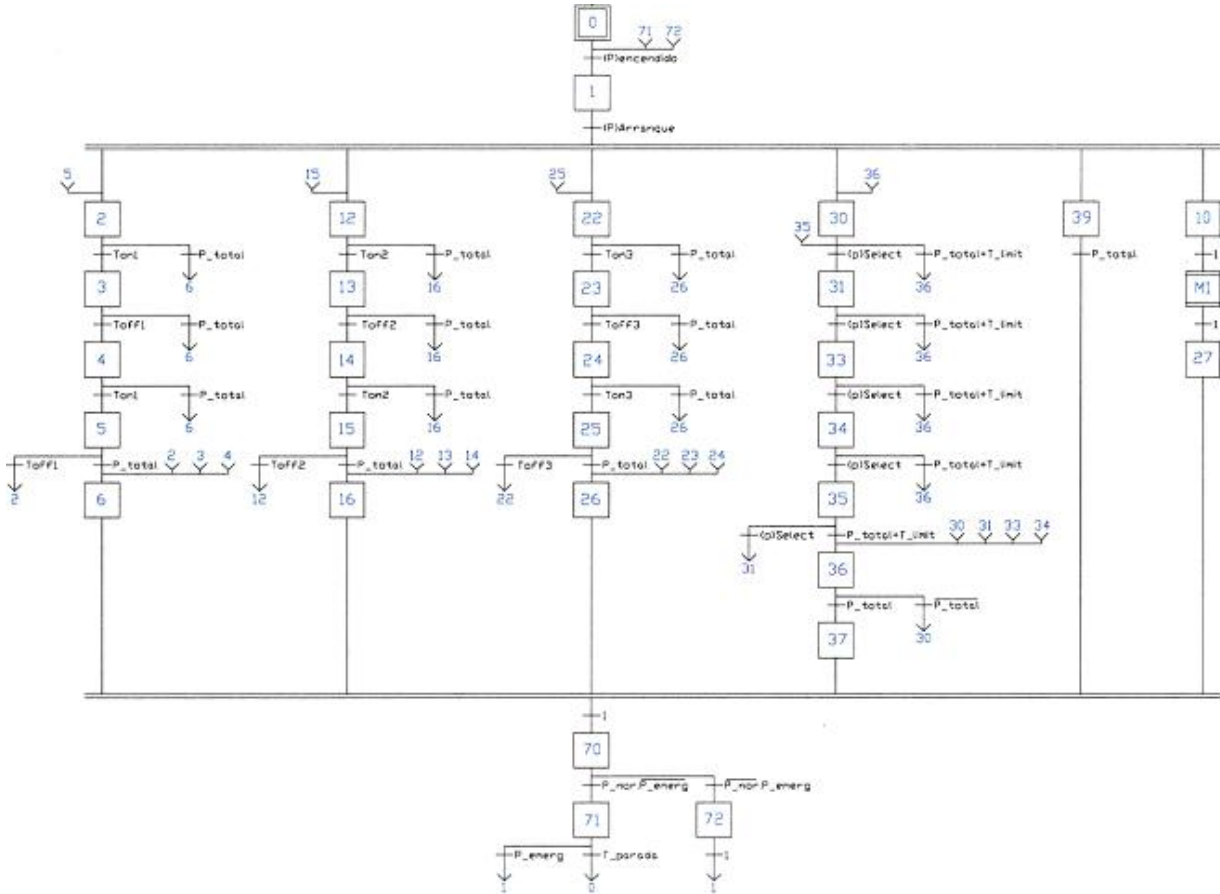
Reles	Referencia	Marca	Características
Tipo 1	RXN 41G11 B	Telemecanique	Bobina 24[V]DC, dos contactos NC.y dos NA.
Tipo 2	RXN 41G11 F7	Telemecanique	Bobina 110[V]AC, dos contactos NC.y dos NA.
Base	RXZ 7G	Telemecanique	Compatible con los dos tipos anteriores

- Diagrama de tiempos

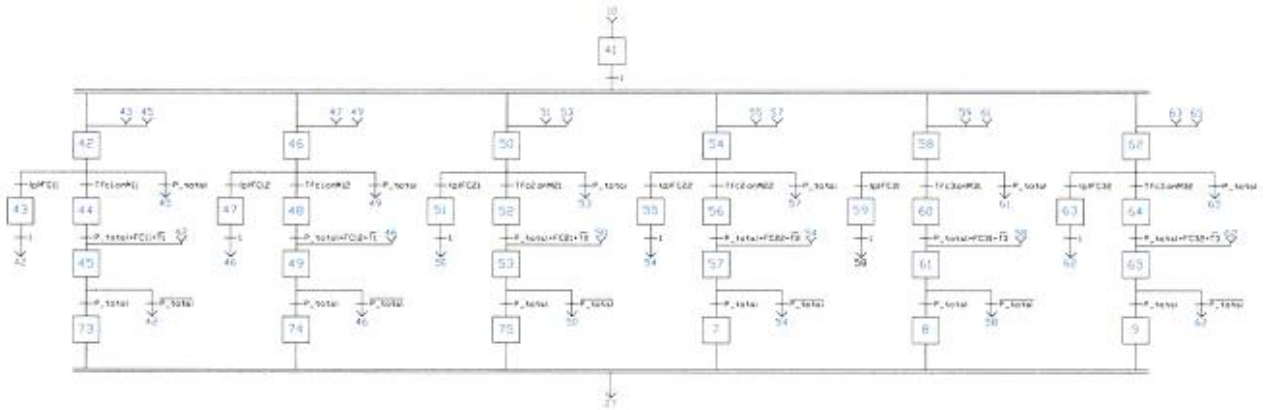
FUNCIONAMIENTO PRINCIPAL MARTILLED
 UNIDAD III



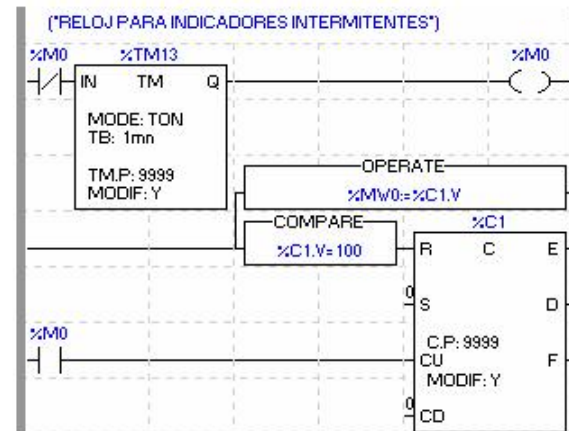
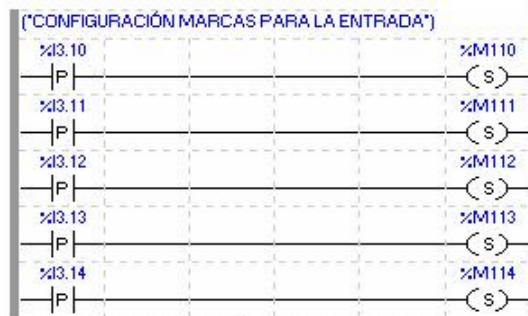
- Circuitos de control utilizando software p17 micro
 - Grafcet



MACROETAPA 1 (M1)

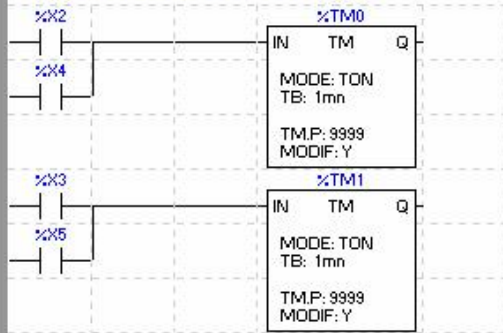


➤ Programa Preliminar

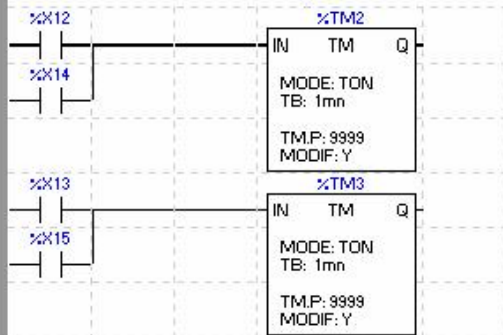


➤ Programa Post

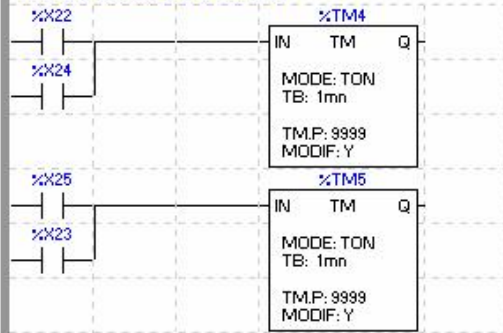
(*TEMPORIZADORES PARA ENCENDIDO Y APAGADO DEL CAMPO UNO*)



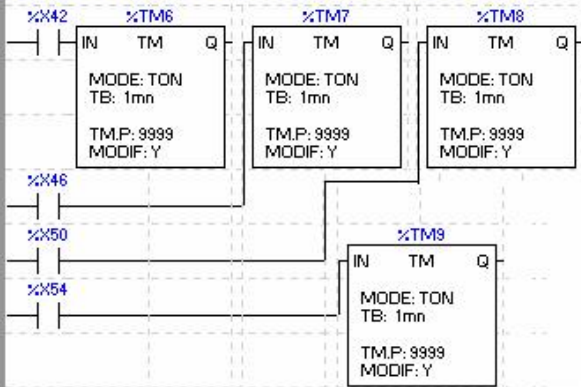
(*TEMPORIZADORES PARA ENCENDIDO Y APAGADO DEL CAMPO DOS*)



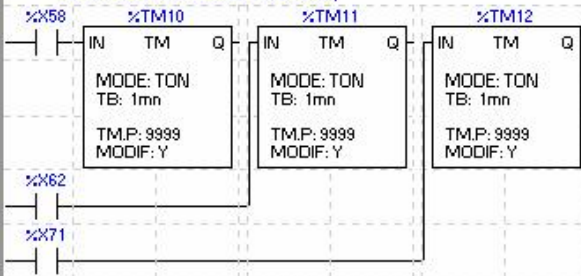
(*TEMPORIZADORES PARA ENCENDIDO Y APAGADO DEL CAMPO TRES*)



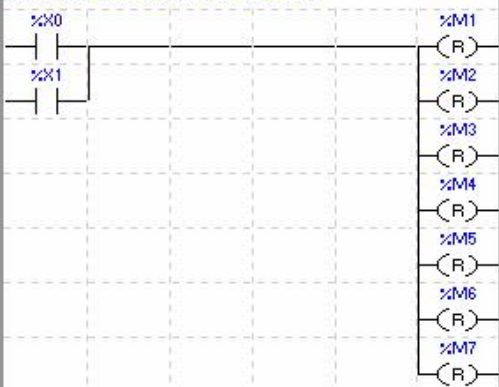
(*TIEMPOS ASIGNADOS PARA LOS FINALES DE CARRERA*)

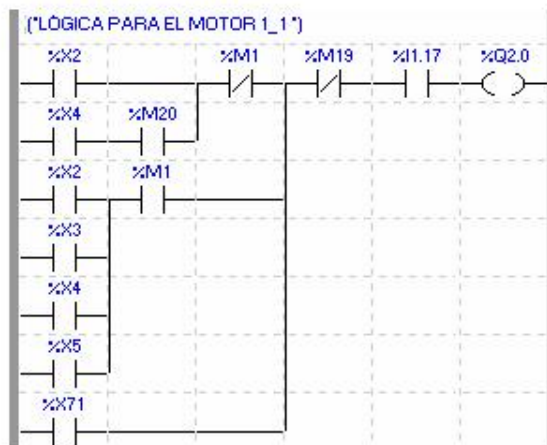
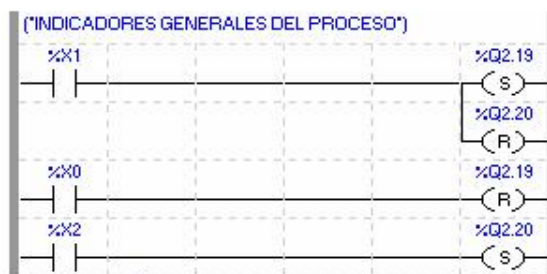
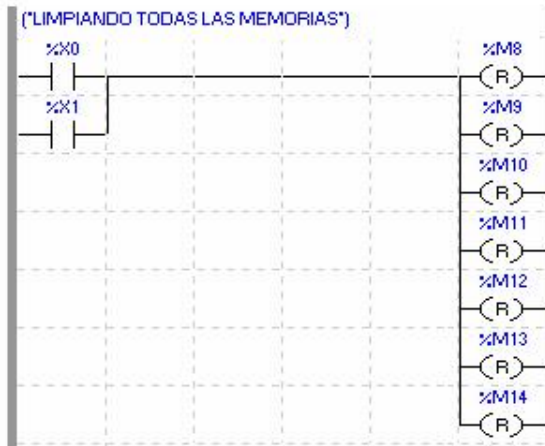


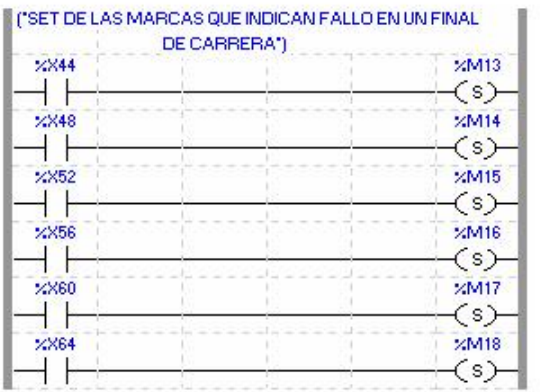
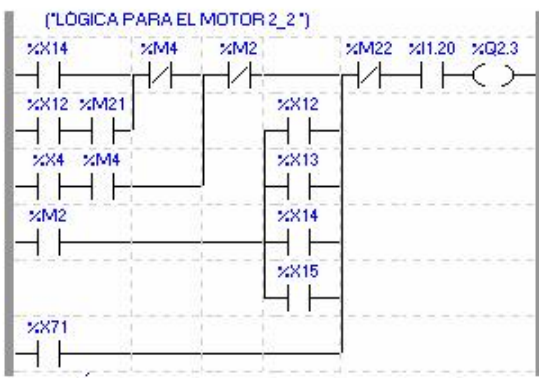
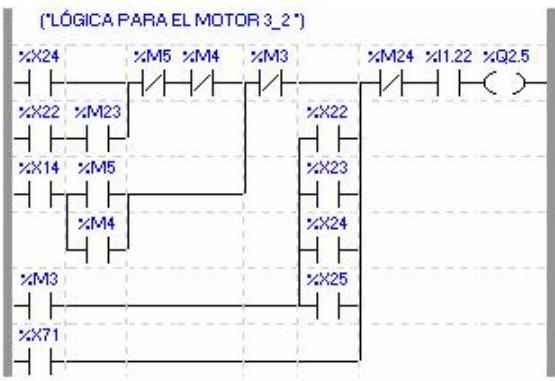
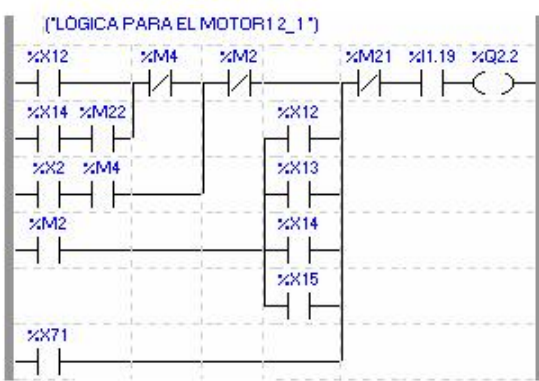
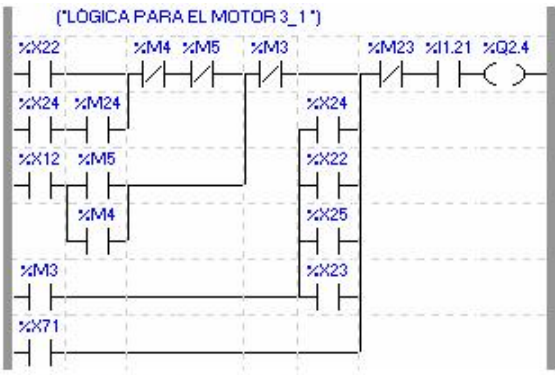
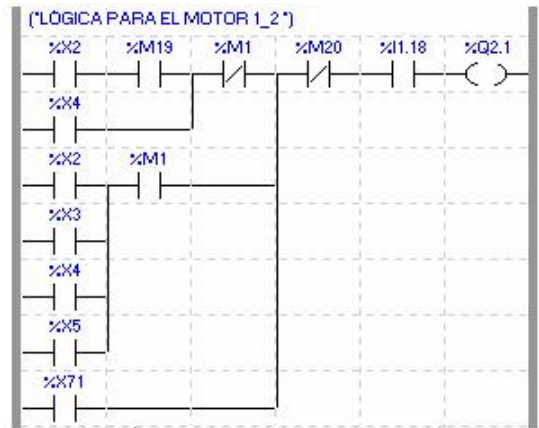
(*TIEMPOS ASIGNADOS PARA LOS FINALES DE CARRERA Y T12 PARA LA PARADA NORMAL*)

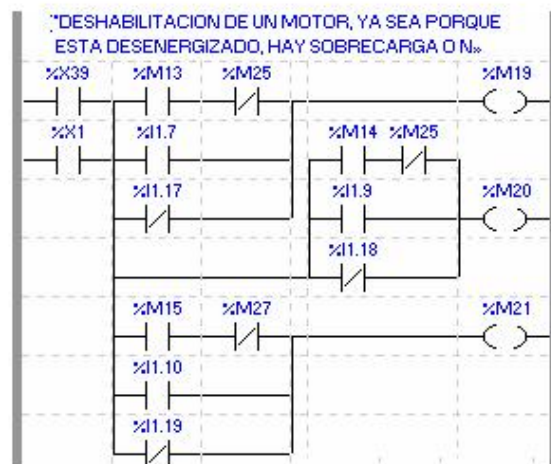
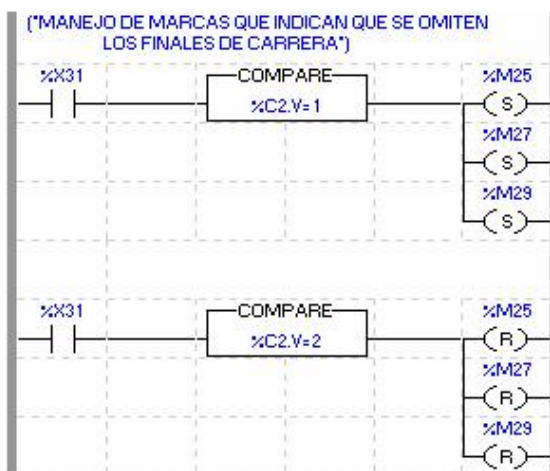
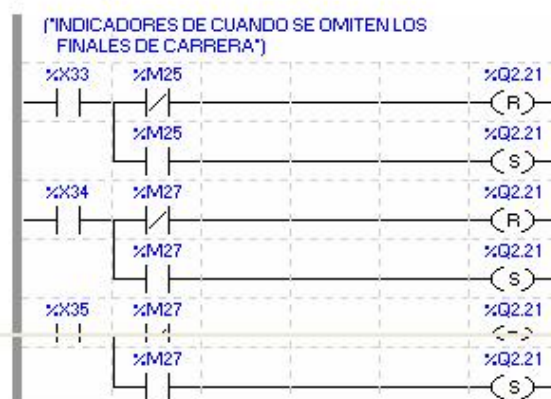
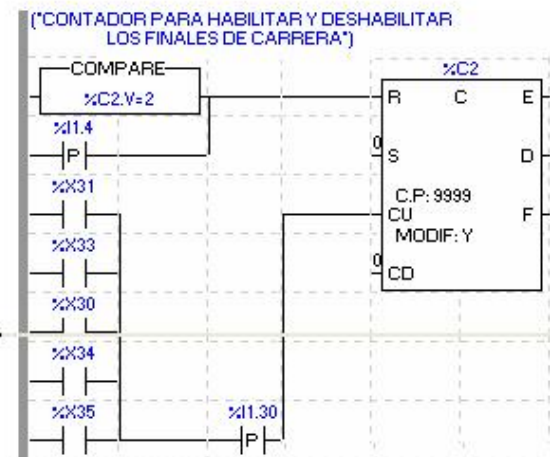
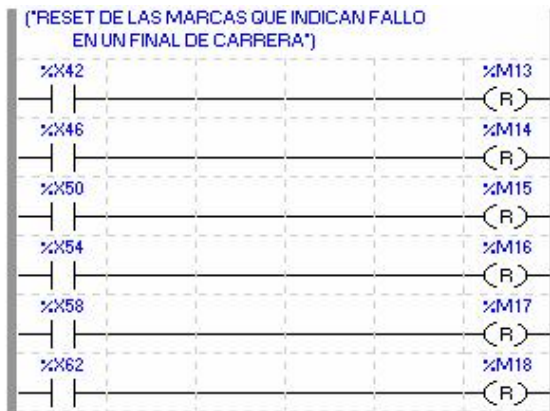


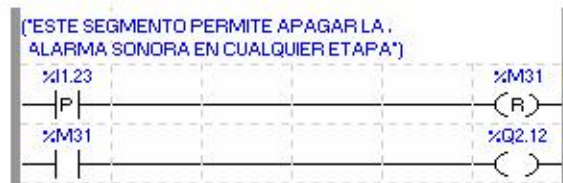
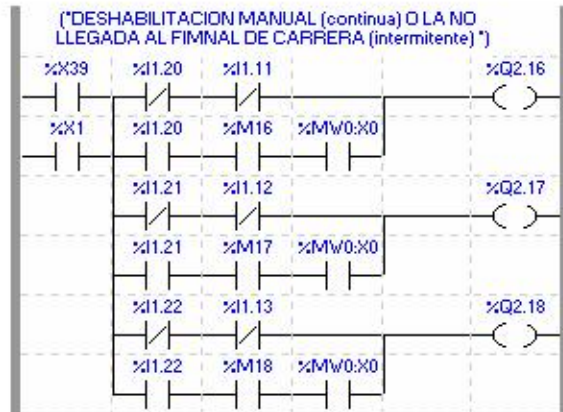
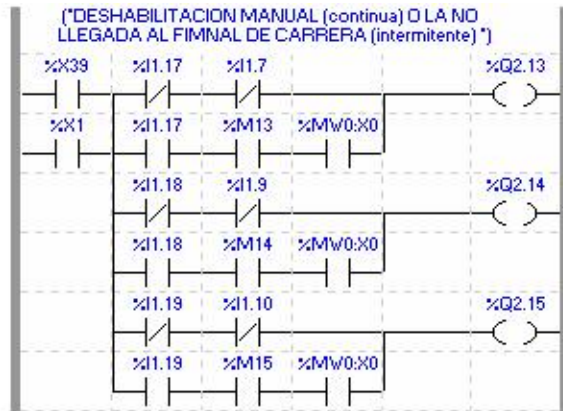
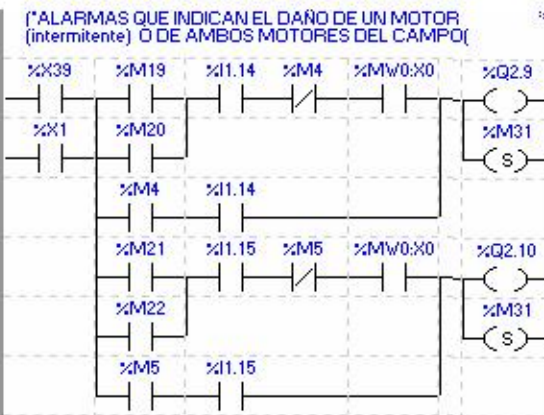
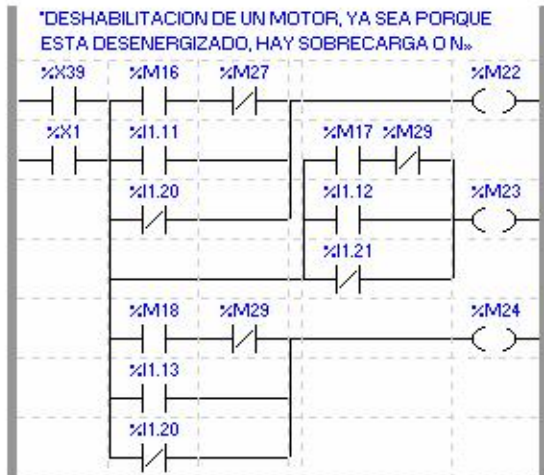
(*LIMPIANDO TODAS LAS MEMORIAS*)











➤ Lista de variables utilizadas

Entradas	simbolos
1.0 Encendido	Encendido
1.1 Arranque	Arranque
1.2 Parada Normal	P_n
1.3 Parada Emergencia	P_e
1.4 Selector Campo	Selección
1.5 Continuo	Continuo
1.6 Intermitente	Intermi
1.7 Overload M11a	OI11
1.8 RUN_STOP	
1.9 Overload M12a	OI12
1.10 Overload M21a	OI21
1.11 Overload M22a	OI22
1.12 Overload M31a	OI31
1.13 Overload M32a	OI32
1.14 Energía Campo F1a	En_f1a
1.15 Energía Campo F2a	En_f2a
1.16 Energía Campo F3a	En_f3a
1.17 On/Off Motor M11a	Onf_11
1.18 On/Off Motor M12a	Onf_12
1.19 On/Off Motor M21a	Onf_21
1.20 On/Off Motor M22a	Onf_22
1.21 On/Off Motor M31a	Onf_31
1.22 On/Off Motor M32a	Onf_32
1.23 Off Alarma Sonora	Off_Alsonora
1.24 Final de Carrera M11a	Fc11
1.25 Final de Carrera M12a	Fc12
1.26 Final de Carrera M21a	Fc21
1.27 Final de Carrera M22a	Fc22
1.28 Final de Carrera M31a	Fc31
1.29 Final de Carrera M32a	Fc32

Salidas	Simbolos
2.0 Salida Motor M11a	Mo11
2.1 Salida Motor M12a	Mo12
2.2 Salida Motor M21a	Mo21
2.3 Salida Motor M22a	Mo22
2.4 Salida Motor M31a	Mo31
2.5 Salida Motor M32a	Mo32
2.6 Indicador Sel. Campo F1a	Luz_f1
2.7 Indicador Sel. Campo F2a	Luz_f2
2.8 Indicador Sel. Campo F3a	Luz_f3
2.9 Alarma Campo F1a	Alar_f1
2.10 Alarma Campo F2a	Alar_f2
2.11 Alarma Campo F3a	Alar_f3
2.12 Alarma Sonora	Alar_son
2.13 Inhabili. Manual/FC M11a	Inh_11
2.14 Inhabili. Manual/FC M12a	Inh_12
2.15 Inhabili. Manual/FC M21a	Inh_21
2.16 Inhabili. Manual/FC M22a	Inh_22
2.17 Inhabili. Manual/FC M31a	Inh_31
2.18 Inhabili. Manual/FC M32a	Inh_32
2.19 Indicador Encendido	Energizado
2.20 Indicador Proceso	Proceso
2.21 Indicador Omitir FC	Omite

Temporizadores	Preselección
0 Tiempo on F1	18 * 100ms
1 Tiempo off F1	11 * 1 s
2 Tiempo on F2	18 * 100ms
3 Tiempo off F2	237 * 100ms
4 Tiempo on F3	18 * 100ms
5 Tiempo off F3	556 * 100ms
6 Tiempo Fallo de Final de Carrera 11a	6 * 1min
7 Tiempo Fallo de Final de Carrera 12a	6 * 1min
8 Tiempo Fallo de Final de Carrera 21a	11 * 1min
9 Tiempo Fallo de Final de Carrera 22a	11 * 1min
10 Tiempo Fallo de Final de Carrera 31a	16 * 1min
11 Tiempo Fallo de Final de Carrera 32a	16 * 1min
12 Tiempo parada Final (continuo)	720 * 1min
13 Tiempo para intermitencia visualizadores	2 * 100ms
20 Tiempo limite para cambio de modo	5 * 1min

Marcas	simbolos
0 para el reloj de intermitencia	
1 indica paso a continuo de F1	Con_f1
2 indica paso a continuo de F2	Con_f2
3 indica paso a continuo de F3	Con_f3
4 daño total de F1	Df1
5 daño total de F2	Df2
6 daño total de F3	Df3
7 indica una parada del sistema	P_total
8 indica una parada normal	P_nor
9 indica una parada de emergencia	P_emerg
10 indica sobrecarga en m11 y m12	Olf1
11 indica sobrecarga en m21 y m22	Olf2
12 indica sobrecarga en m31 y m32	Olf3
13 daño en FC11	Dfc11
14 daño en FC12	Dfc12
15 daño en FC21	Dfc21
16 daño en FC22	Dfc22
17 daño en FC31	Dfc31
18 daño en FC32	Dfc32
19 daño en FC11 o OL11	D11
20 daño en FC12 o OL12	D12
21 daño en FC21 o OL21	D21
22 daño en FC22 o OL22	D22
23 daño en FC31 o OL31	D31
24 daño en FC32 o OL32	D32
25 transparente el daño en FCs campo 1	T1
27 transparente el daño en FCs campo 2	T2
29 transparente el daño en FCs campo 3	T3
30 inicia tiempo limite de cambio de modo	T_limit

Contadores	Preselección
1 indicadores intermitentes	XX
2 deshabilitar sensado (FCs)	XX

- Operación de los equipos

A continuación se explica el proceso que se lleva a cabo por parte del operario y las acciones que realiza el control diseñado. Inicialmente se supone que cada uno de los motores sacudidores de los electrodos colectores se encuentran energizados.

1. Se oprime el botón de *encendido* en el panel de control, para energizar el sistema. Inmediatamente se inicia la etapa de supervisión del sistema donde se observa el estado de cada uno de los motores, y si estos se encuentran disponibles. En esta etapa el indicador de *ON* se enciende.
2. Al verificar en el mímico que los campos se encuentran energizados, se puede oprimir el pulsador de *arranque*, con lo cual el control inicia el ciclo de golpe intermitente y se enciende la luz de *proceso*. En esta etapa pueden ocurrir las siguientes eventualidades:
 - Si un motor falla el motor compañero del mismo campo asume su trabajo, es decir, la frecuencia de golpe de este último se duplica.
 - Si los dos motores del primer campo fallan, los motores del segundo campo funcionarán a la frecuencia correspondiente al primer campo y los motores del tercer campo sustituyen al segundo.
 - De manera similar a lo anterior, si los motores del segundo campo fallan, los motores del campo tres asumen el trabajo que estos realizaban y los del campo uno no varían su frecuencia de golpe.
 - Los casos nombrados anteriormente disparan las alarmas del sistema.
3. Funciones de Alarma ante las eventualidades.
 - La *alarma sonora* se activa en cualquiera de los casos de falla, existe un pulsador para desactivar dicha alarma.
 - En el *mímico* se muestran las alarmas por cada campo, estas encienden intermitentemente si solo un motor se encuentra

inhabilitado, o de manera continua si ambos motores están fuera de funcionamiento.

- En el *panel de señalización* se identifica, cual o cuales motores están fallando o no se encuentran energizados y cual es la posible causa del fallo, permitiendo al operario proceder a realizar maniobras de corrección apropiadas:
 - Si el indicador de *inhabilitado manual/fc* esta parpadeando, indica que el sensor no esta detectando movimiento del motor respectivo (falla de final de carrera).
 - Si el indicador de *inhabilitado manual/fc* se encuentra encendido de manera continua indica que el motor no esta energizado el los auxiliares de 440 (Estación arranque-parada).
 - Si el indicador de *inhabilitado de sobrecarga* se encuentra encendido indica que se ha disparado la protección de sobrecarga del motor en los auxiliares de 440 (falla por sobrecarga).

- 4. Durante el proceso es posible cambiar el modo de golpe de intermitente a continuo o viceversa, para esto se utiliza el pulsador de *selección*, que al oprimirlo continuamente ubica el campo deseado (observar indicadores de selección), luego se oprime el pulsador de modo *continuo* o el de modo intermitente para realizar el cambio requerido. Existe un tiempo límite para realizar estos cambios, si no se oprime ningún botón durante dicho tiempo, el programa sale de esta etapa y apaga los indicadores de selección.

- 5. Cuando la caldera es apagada y se requiere hacer la limpieza de los electrodos colectores, se oprime el pulsador de *parada normal*, en este punto el control pasa a realizar el martilleo continuo de los electrodos por un periodo de 10 horas, luego desenergiza automáticamente el sistema y apagan los indicadores de *ON* y *proceso*.

6. En cualquier momento del proceso se pueden parar todos los motores utilizando el pulsador de parada de emergencia.

Opcional: En el panel de control se cuenta con un pulsador que permite deshabilitar de manera independiente para cada campo, las acciones del control que tienen que ver con los sensores inductivos, es decir la detección de fallos de final de carrera, haciendo uso del pulsador de *selección* y un indicador que se muestra encendido cuando los sensores están activos.

Notas:

Los planos diseñados se encuentran en el anexo 5.

Las especificaciones detalladas de los equipos de la parte operativa se encuentran en el manual del precipitador, (Libro X de la Empresa de Energía de Boyacá).

Descargador Rotativo

- Lista y ubicación de los puntos de prueba

NOMBRE	CONTACTO DEL RELÉ PREACCIONADOR	BOBINA DEL CONTACTOR	CONTACTOR
Soplador A	G40-G41 **	G41-GND (42)*	(42)* Plano 6
Motor del Tambor A	G42-G43 **	G43-GND (42)*	(42)* Plano 6
Válvula Agua A	G16-G17 **	G17(4B+)-GND	
Válvula Ceniza A	G18-G19 **	G19(7C+)-GND	
Soplador B	G44-G45 **	G45-GND (42)*	(42)* Plano 6
Motor del Tambor B	G46-G47 **	G47-GND (42)*	(42)* Plano 6
Válvula Agua B	G20-G21 **	G21(4B+)-GND	
Válvula Ceniza B	G22-G23 **	G23(7C+)-GND	
Válvula General A	G24-G25 **	G25(3B+)-GND	
Válvula de Drenaje A	G26-G27 **	G27(4C+)-GND	
Válvula General B	G28-G29 **	G29(3B+)-GND	
Válvula de Drenaje B	G30-G31 **	G31(4C+)-GND	

*Notación planos de la empresa.

** Numeración respectiva de los cables presentes en los planos.

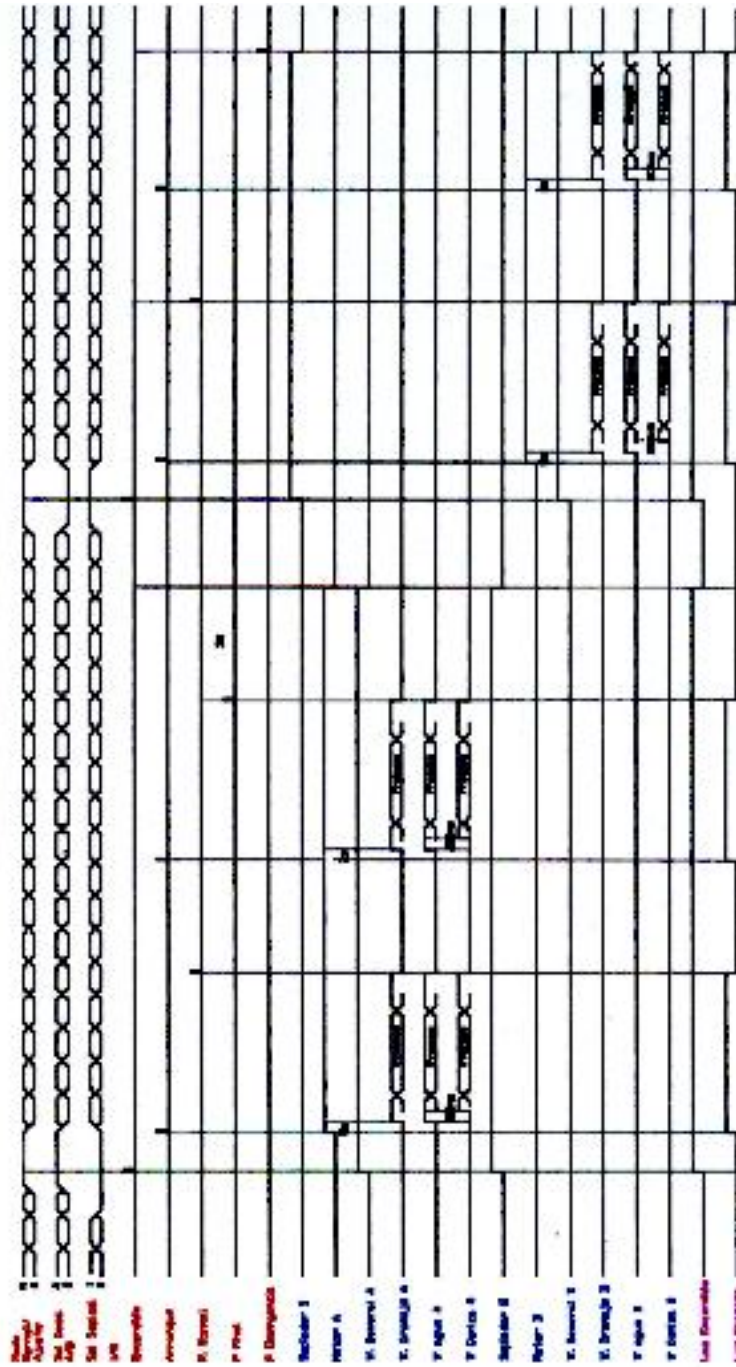
+ Punto en el plano 514-55283-10 manual de UCC.

- Relés recomendados como repuesto en caso de fallo

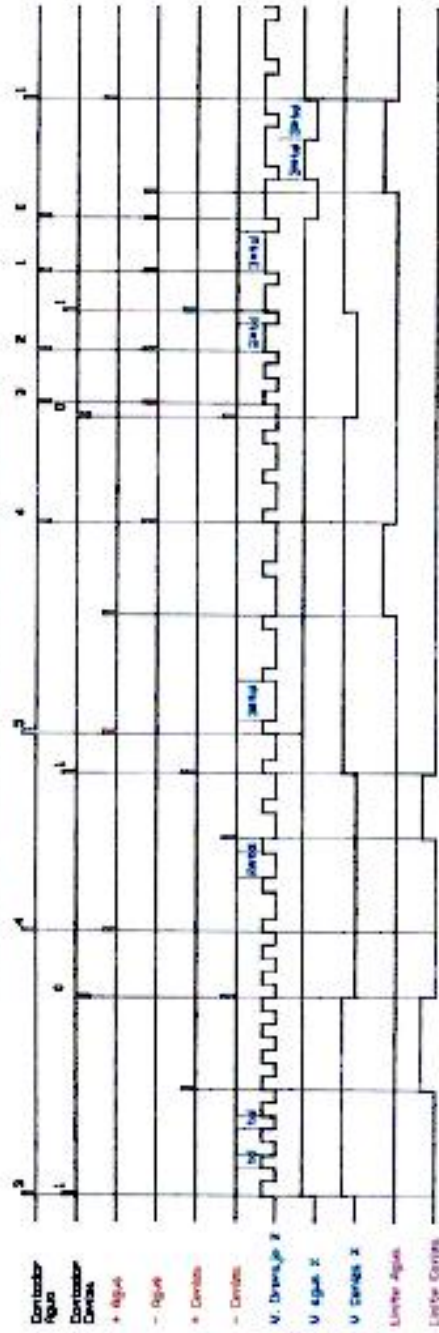
Reles	Referencia	Marca	Características
Tipo 1	RXN 41G11 B	Telemecanique	Bobina 24[V]DC, dos contactos NC.y dos NA.
Tipo 2	RXN 41G11 F7	Telemecanique	Bobina 110[V]AC, dos contactos NC.y dos NA.
Base	RXZ 7G	Telemecanique	Compatible con los dos tipos anteriores

- Diagrama de tiempos

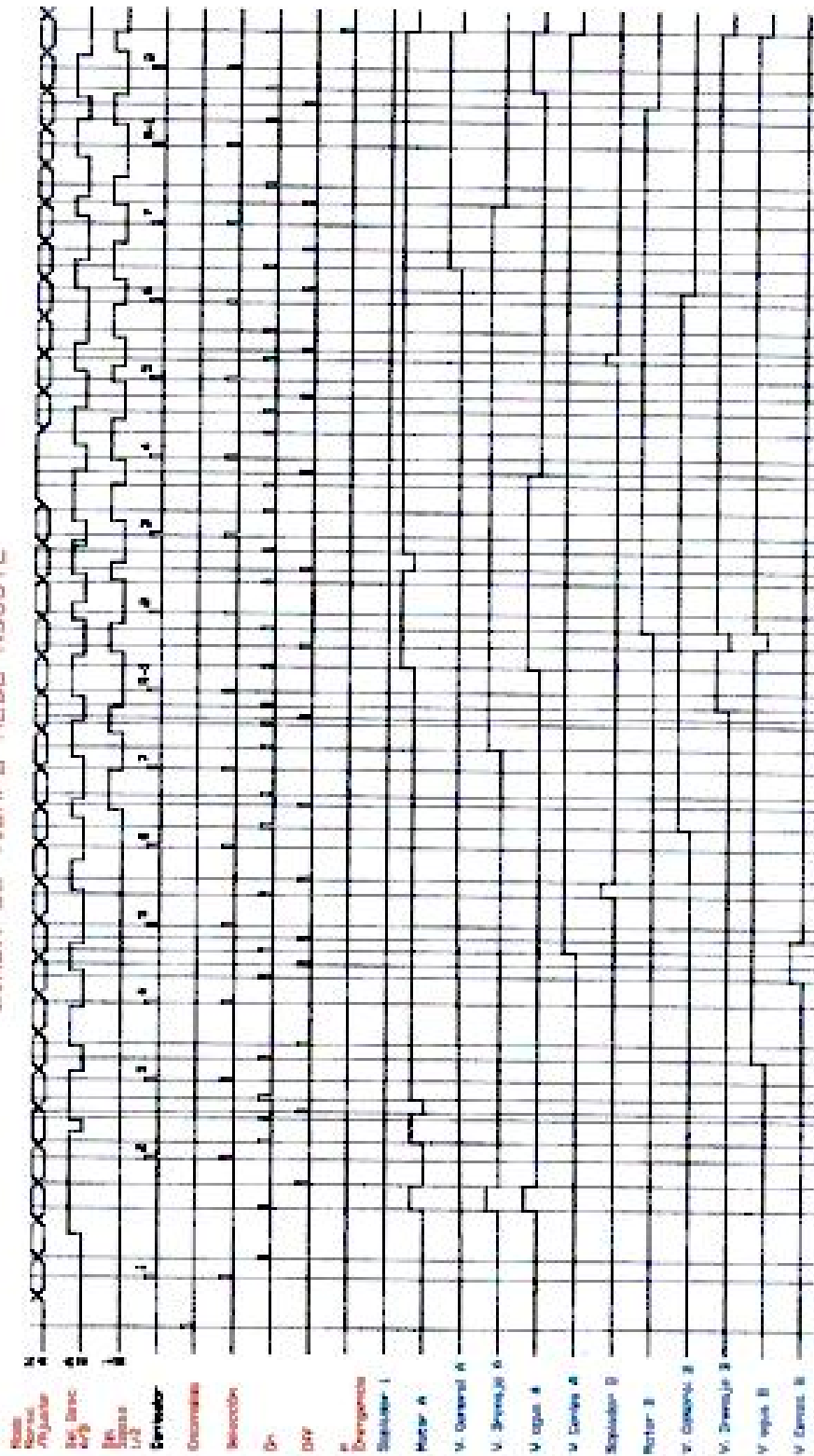
LÍNEA DE TIEMPO MODO NORMAL



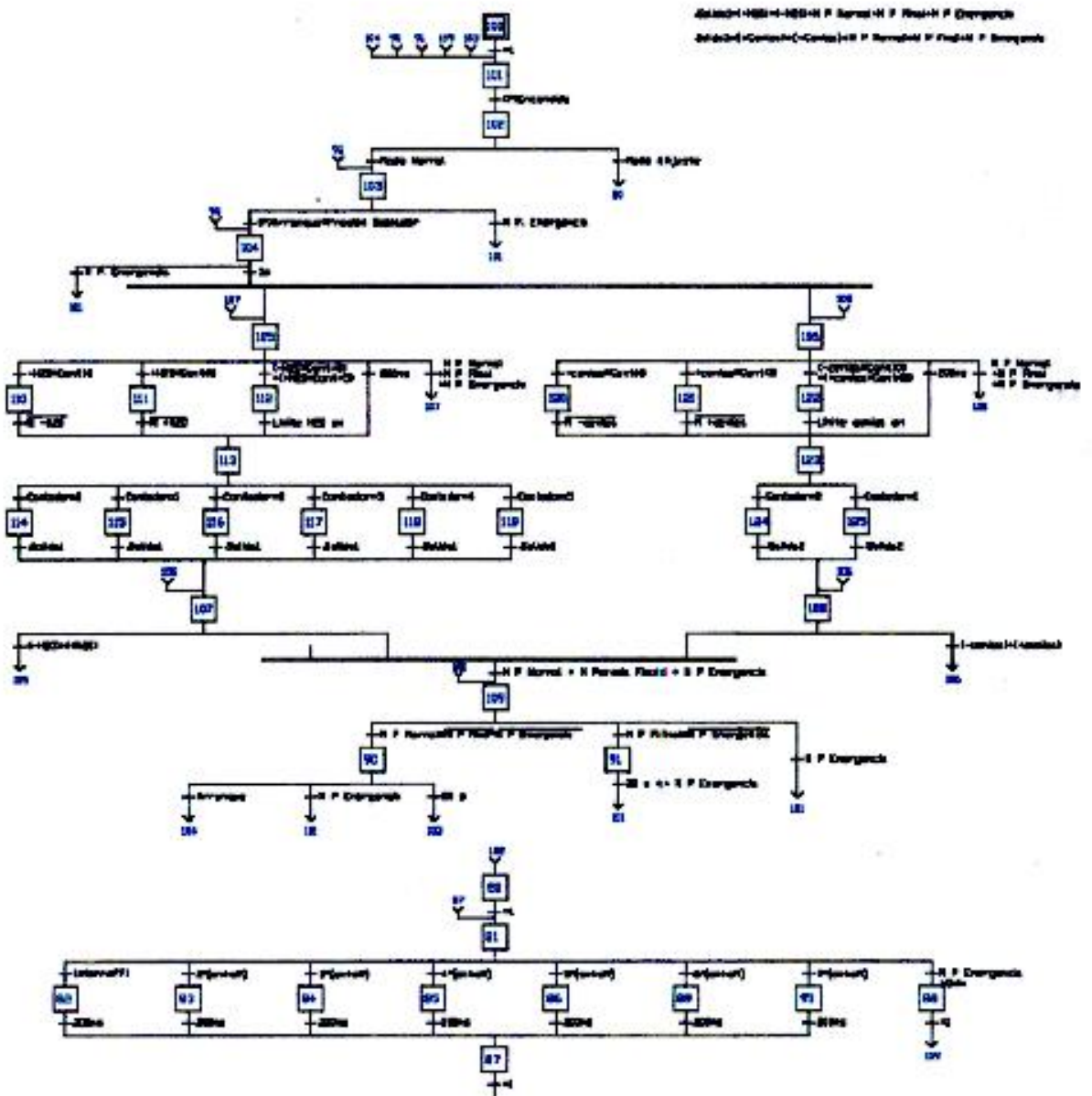
LINEA DE TIEMPO DURANTE EL PROCESO



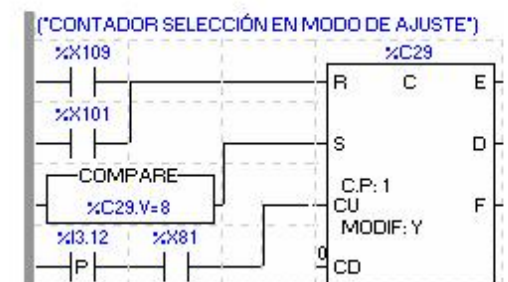
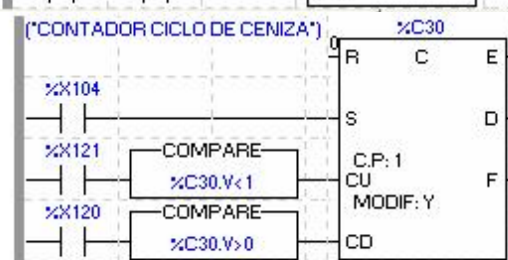
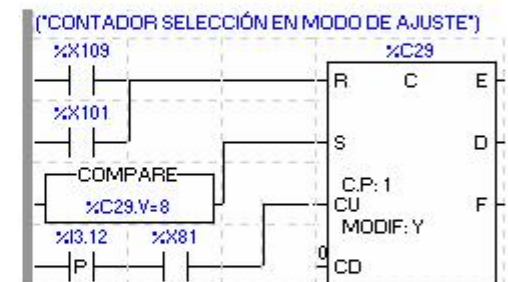
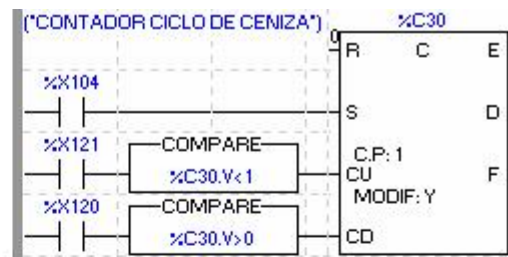
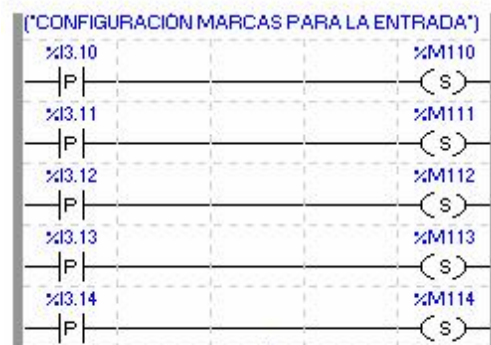
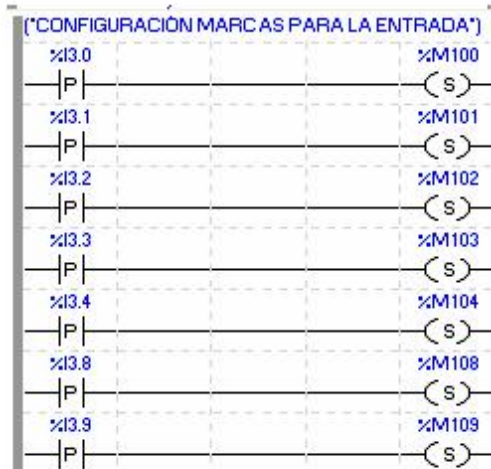
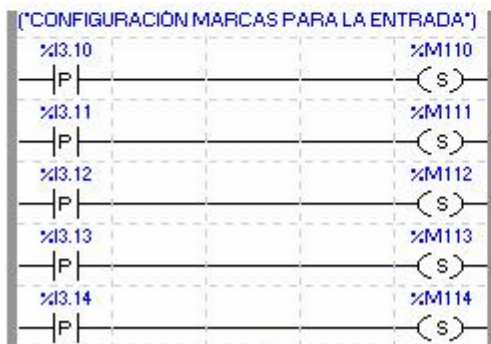
LINEA DE TIEMPO MODO AJUSTE

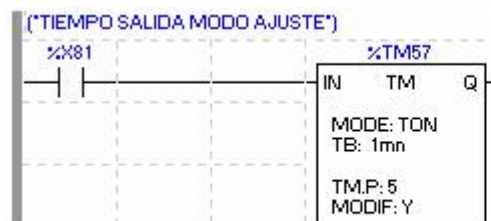
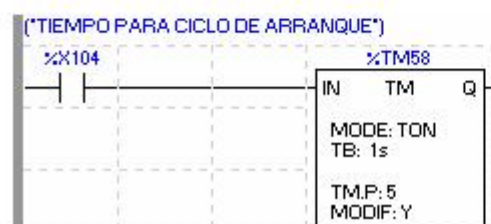
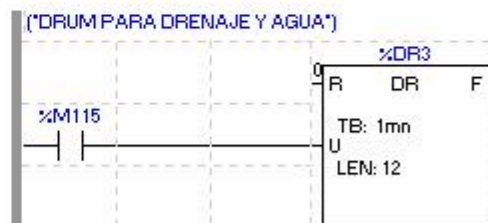
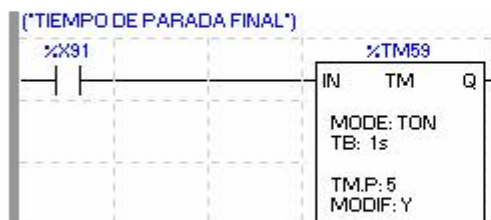
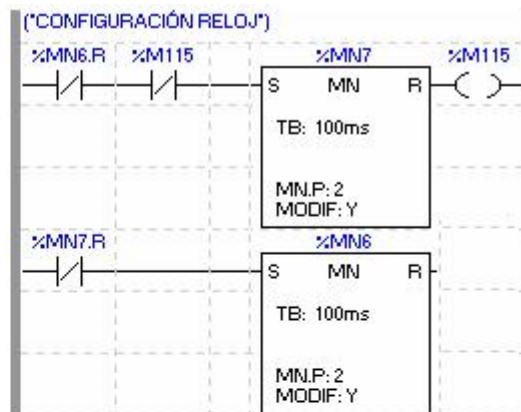
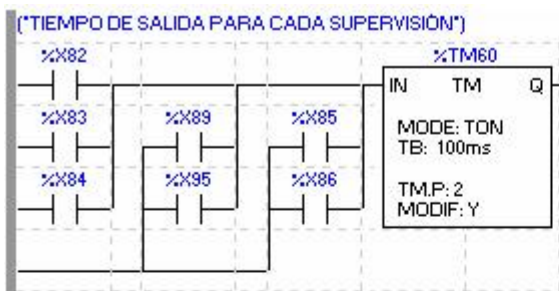


- Circuitos de control utilizando software pl7 micro
 - Grafcet



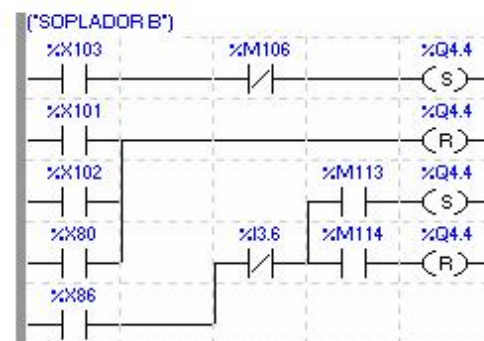
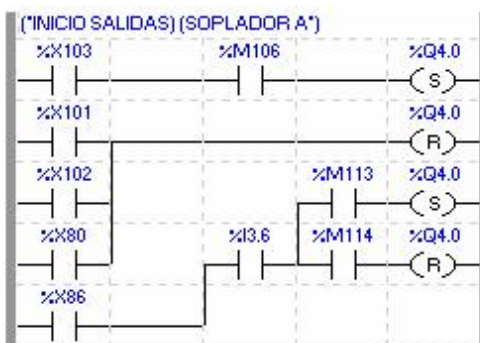
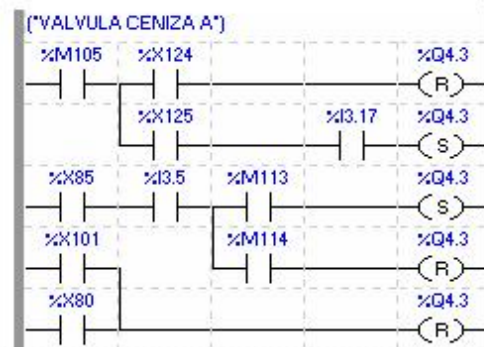
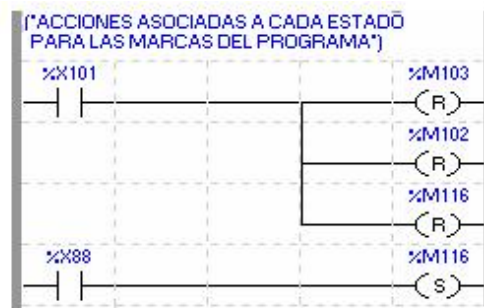
➤ Programa Preliminar

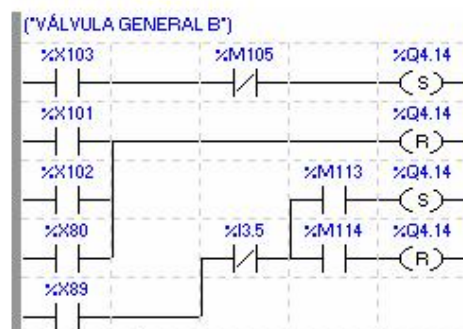
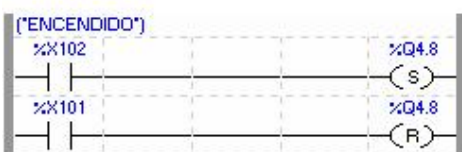
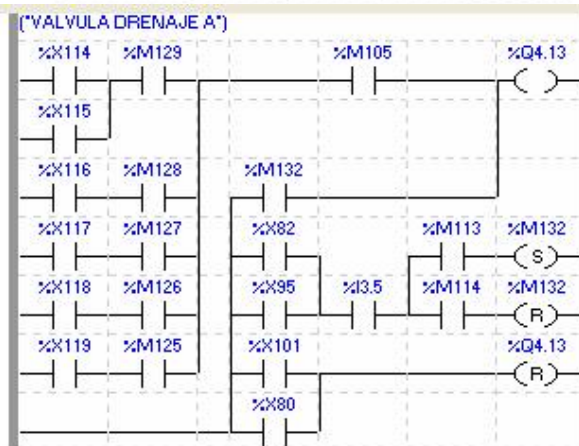
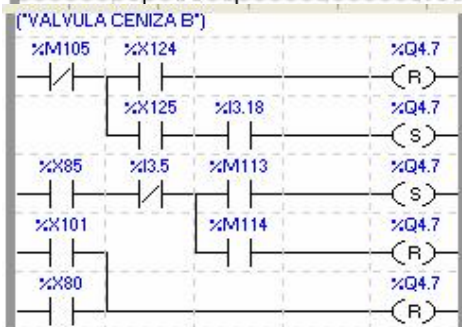
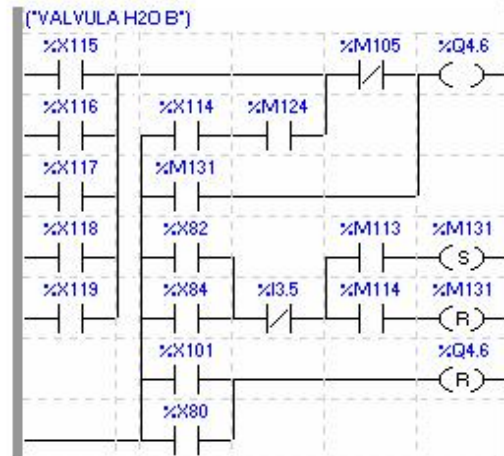
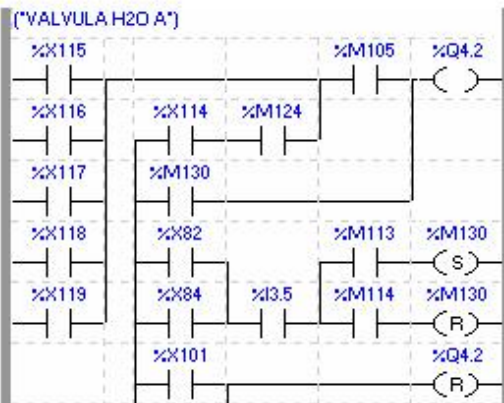
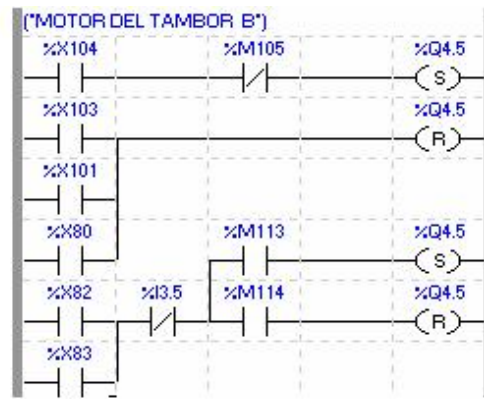
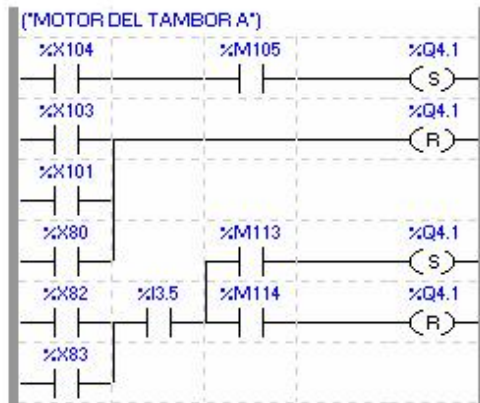


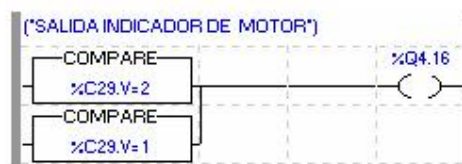
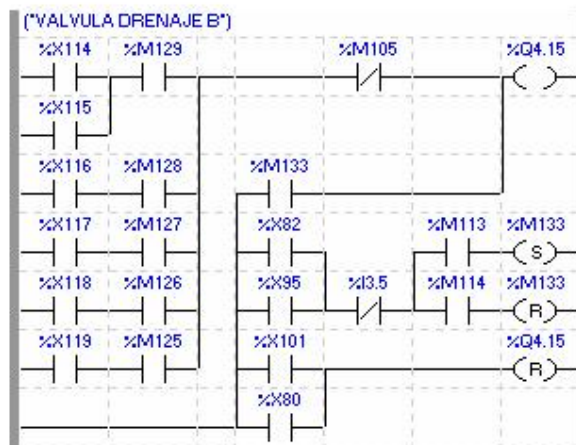
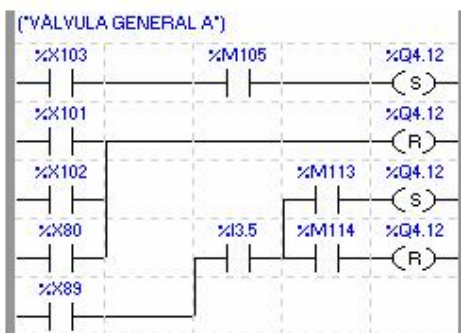
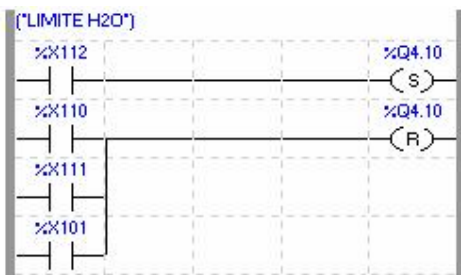


*DR3Número de pasos: 12													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Variable
0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	%M129
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	%M128
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	%M127
3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	%M126
4	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	%M125
5	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	%M124

➤ Programa Post







➤ Lista de variables utilizadas

Entradas	
3.0	Encendido
3.1	Arranque
3.2	Parada Normal
3.3	Parada Final
3.4	Parada Emergencia
3.5	Selección Descargador A/B
3.6	Selección Soplador 1/2
3.7	Selección Modo Normal/Ajuste
3.8	menos agua
3.9	mas agua
3.10	menos ceniza
3.11	mas ceniza
3.12	Selector de equipo
3.13	On Equipo
3.14	Off Equipo
3.15	Switch de Presión Soplador A
3.16	Switch de Presión Soplador B
3.17	Switch de Presión Válvula Agua A
3.18	Switch de Presión Válvula Agua B

Salidas	
4.0	Soplador A
4.1	Motor del Tambor A
4.2	Válvula Agua A
4.3	Válvula Ceniza A
4.4	Soplador B
4.5	Motor del Tambor B
4.6	Válvula Bgua B
4.7	Válvula Ceniza B
4.8	Indicador Encendido
4.9	Indicador Proceso
4.10	Indicador Límite Agua
4.11	Indicador Sugerencia Descargador
4.12	Válvula General A
4.13	Válvula de Drenaje A
4.14	Válvula General B
4.15	Válvula de Drenaje B
2.16	Indicador Sel. Motor del Tambor
4.17	Indicador Sel. Válvula Agua
2.18	Indicador Sel. Válvula Ceniza
2.19	Indicador Sel. Soplador
2.20	Indicador Sel. Válvula General
2.21	Indicador Sel. Válvula de Drenaje

Drum	
3	Drum ciclo Agua y drenaje

Marcas	
100	Encendido
101	Arranque
102	Parada Normal
103	Parada Final
104	Parada Emergencia
105	Descargador A/B
106	Soplador 1/2
107	Modo normal/ajuste
108	menos agua
109	Más agua
110	Menos Ceniza
111	Más ceniza
112	Selección de Equipo
113	ON de Equipo
114	Off de Equipo
115	Reloj del drum
116	Indicador Salida de Ajuste
124	Cliclo de H2O Drum Contador = 0
125	Cliclo de Drenaje Drum Contador=5
126	Cliclo de Drenaje Drum Contador=4
127	Cliclo de Drenaje Drum Contador=3
128	Cliclo de Drenaje Drum Contador=2
129	Cliclo de Drenaje Drum Contad=1y0
130	Set-Reset Válvula de agua A
131	Set-ResetVálvula de agua B
132	Set-Reset Válvula de Ceniza A
133	Set-Reset Válvula de Ceniza B

Temporizadores		Preselección
63	Tiempo Parada normal	1 * 1min
62	Tiempo apertura válvula Agua (105)	2 * 100ms
61	Tiempo apertura válvula ceniza (106)	3 * 1s
60	Tiempo evolución etapas (82-86)	2 * 100ms
59	Tiempo Parada final	1 * 1min
58	Tiempo del ciclo de arranque	9 * 1s
57	Tiempo de salida de modo de ajuste	5 * 1min

Contadores		Preselección
31	Contador ciclo H2O	3
30	Contador ciclo ceniza	1
29	Contador selección de equipo	XX

Monoestables		Preselección
7	Configuración Reloj	250 * 1ms
6	Configuración Reloj	250 * 1ms

- Operación de los equipos

Para este proceso se tiene la opción de seleccionar el descargador (A o B), el soplador fluidificador (1 o 2) y el modo de operación (*normal* o *ajuste*). Cuando hay

señal de *encendido* se guarda el dato de la posición de estos interruptores, haciendo que durante el proceso no puedan ser modificados. Cuando se desea usar el modo normal el procedimiento es el siguiente:

1. Al inicio se observa encendido un indicador que “sugiere” el uso de uno u otro descargador, dependiendo del número de ciclos de trabajo que haya realizado cada uno, aquí se debe seleccionar el descargador, el soplador fluidificador y el modo de operación *normal*.
2. Se comienza oprimiendo el pulsador de *encendido*, automáticamente se enciende el soplador fluidificador seleccionado y abre la respectiva válvula general.
3. Si hay señal en el switch de presión del soplador fluidificador, se habilita el arranque de la descarga, entonces, al presionar el pulsador de *arranque* (comienzo del proceso), se enciende el motor, tres segundos después se abren la válvulas de agua y de drenaje, esta última de manera intermitente como se puede ver en el diagrama de tiempos. Pasados 200 ms se abre la válvula de ceniza si se detecta flujo de agua con ayuda del switch de presión.
4. Durante el proceso se tiene la opción de hacer correcciones, si el flujo de agua no es el adecuado, mediante dos pulsadores (*más y menos agua*) con los cuales se cambia el ciclo útil de salida de agua por la tubería de drenaje, de esta manera variar el flujo de agua dentro del tambor; en el caso extremo que el flujo sea demasiado (a criterio del operador), se inicia con un proceso de encendido y apagado de la válvula de agua.
5. Si el máximo flujo de agua no es suficiente, se procede a cerrar totalmente la válvula de salida de ceniza, mediante el pulsador de *menos ceniza*, para evitar que se propague en el ambiente.
6. Cuando se ha terminado la descarga actual y se necesita realizar una nueva, se oprime el pulsador de *parada normal*, esto produce automáticamente el cierre de las válvulas de agua, drenaje y ceniza, mientras se deja abierta la válvula general y encendido el motor, esperando a que se posicione el camión,

para pulsar nuevamente *arranque* e iniciar una nueva descarga, este proceso puede realizarse las veces que sea necesario.

7. Cuando se trata de la ultima descarga, se oprime el pulsador de *parada final*, se cierran las válvulas de agua, ceniza, general y drenaje, luego, durante 20 s permanece en funcionamiento el motor, para desocupar los residuos de la mezcla de agua y ceniza del tambor, tiempo en el cual se apaga totalmente el sistema.
8. Se tiene un pulsador de parada de emergencia, con el cual se desenergizan todos los equipos.

Para el caso del modo de ajuste su funcionamiento es el siguiente:

9. Cuando el equipo esta apagado, se selecciona el modo de ajuste y se oprime *encendido*.
10. Con el pulsador de *selección* se cambia entre las siguientes opciones: lavado, motor, válvula de agua, válvula de ceniza, soplador, válvula general y válvula de drenaje, en este modo los interruptores de selección del descargador (*A* o *B*) y soplador fluidificador (*1* o *2*) están disponibles en todo momento,
11. Cuando se ha seleccionado el equipo requerido, se puede encender o apagar en cualquier momento, esta operación se puede realizar las veces que sea necesario.
12. Para salir de este modo se oprime el pulsador de *parada de emergencia* o después de 5 minutos de inactividad, esto produce que se apaguen todos los equipos que se encuentren encendidos.

Notas:

Los planos diseñados se encuentran en el anexo 5.

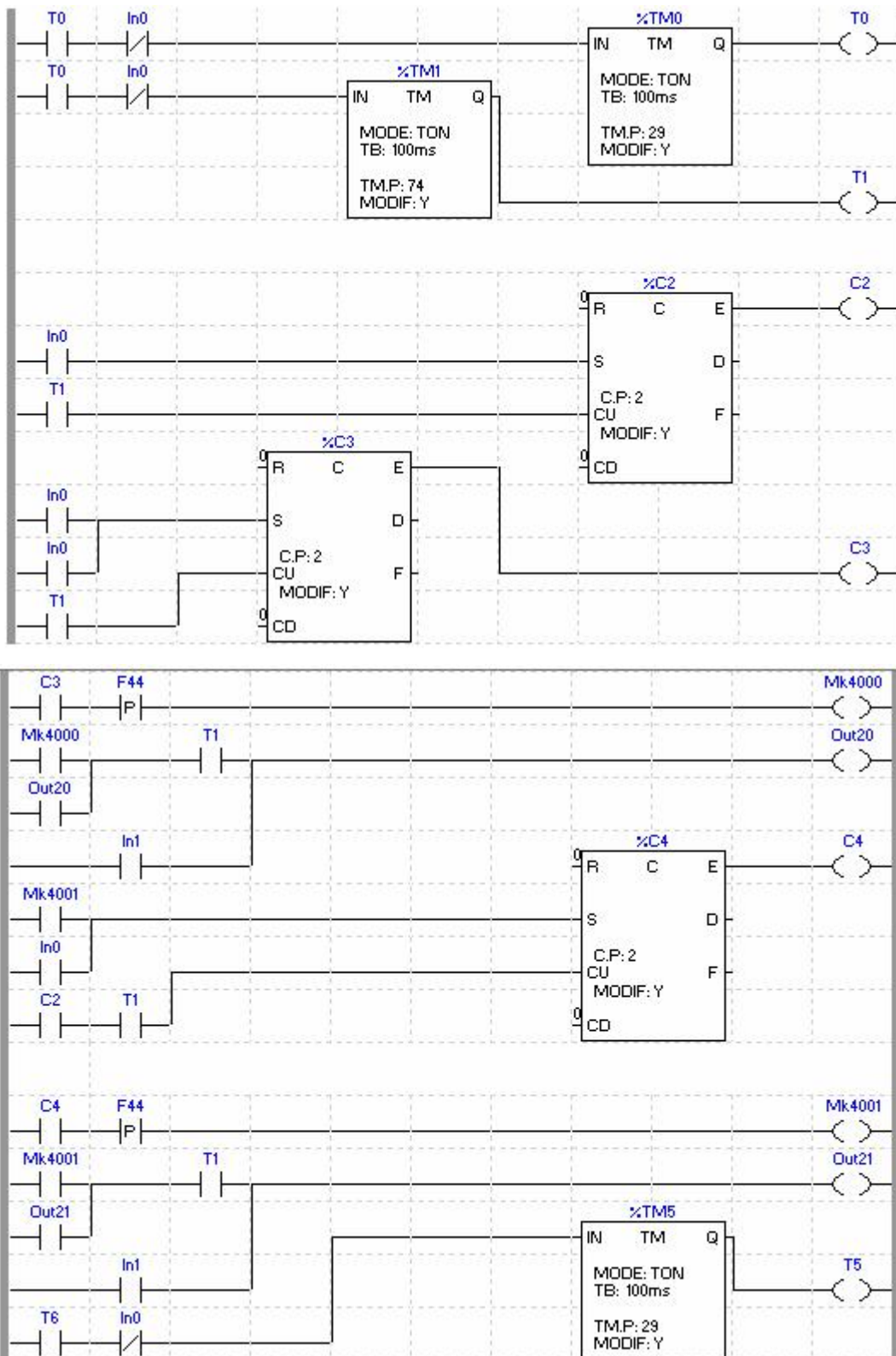
Las especificaciones detalladas de los equipos de la parte operativa se encuentran en el manual de United Conveyor Corporation.

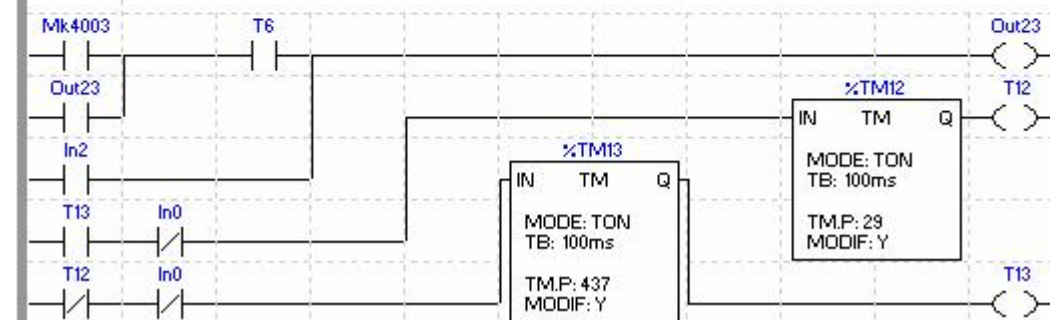
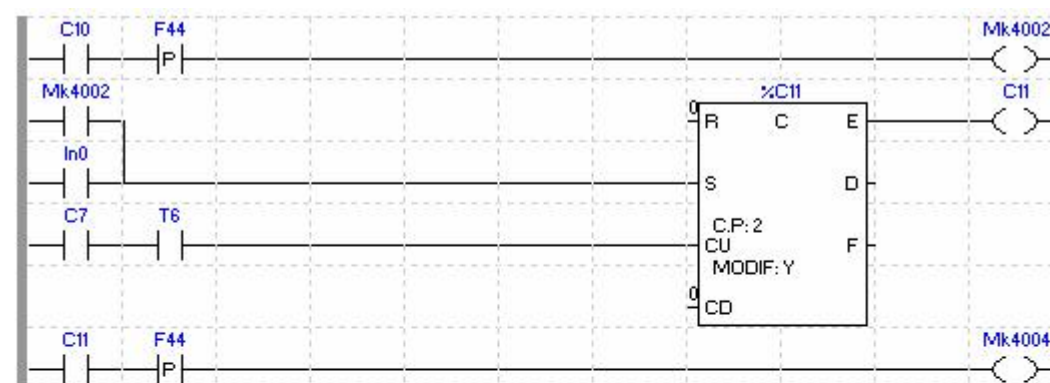
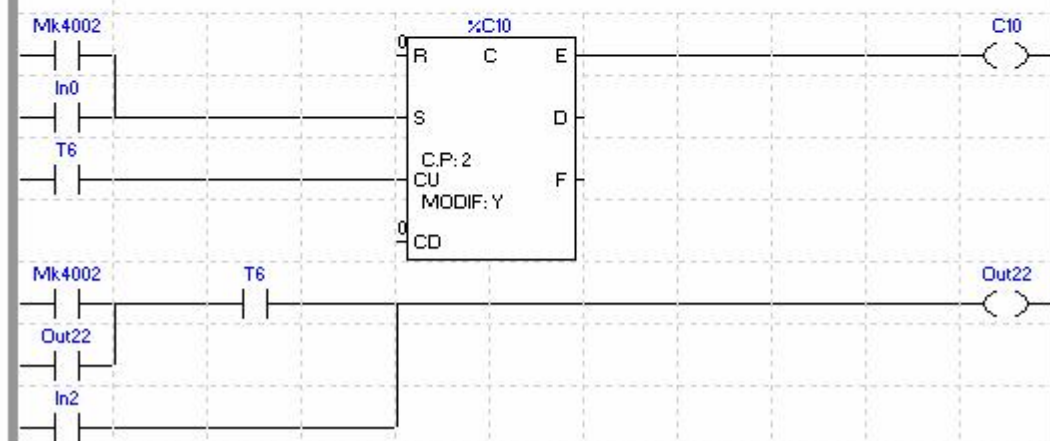
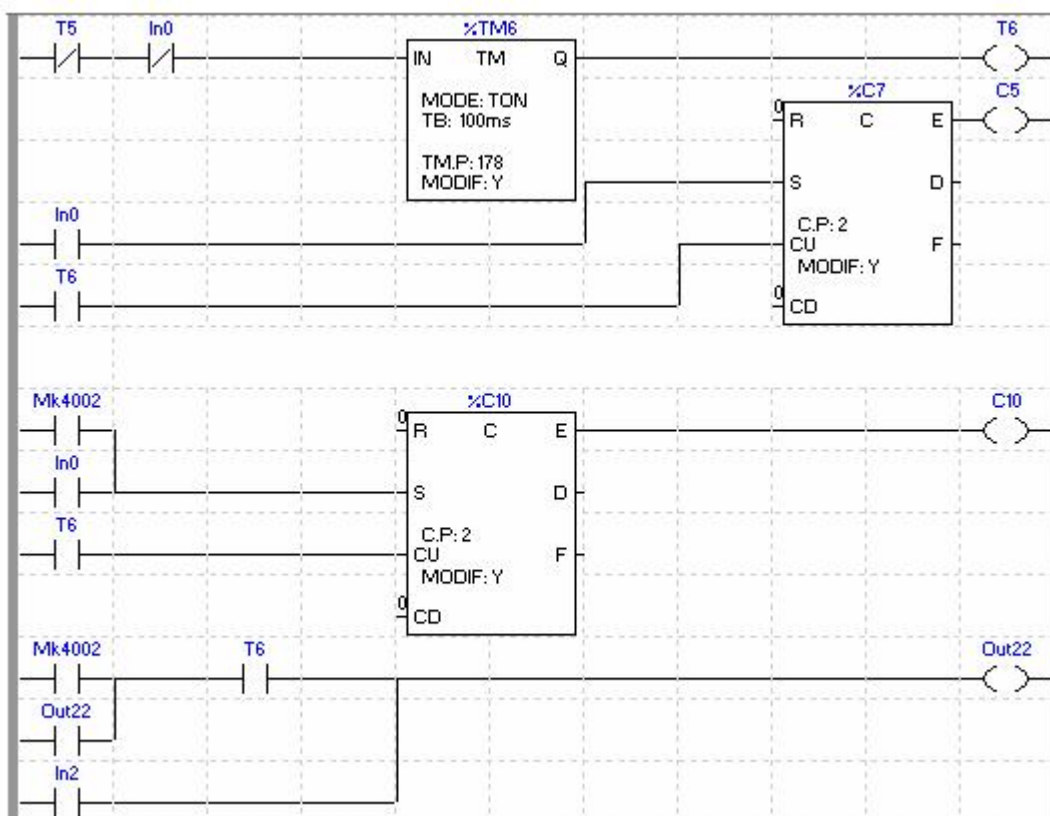
ANEXO 9

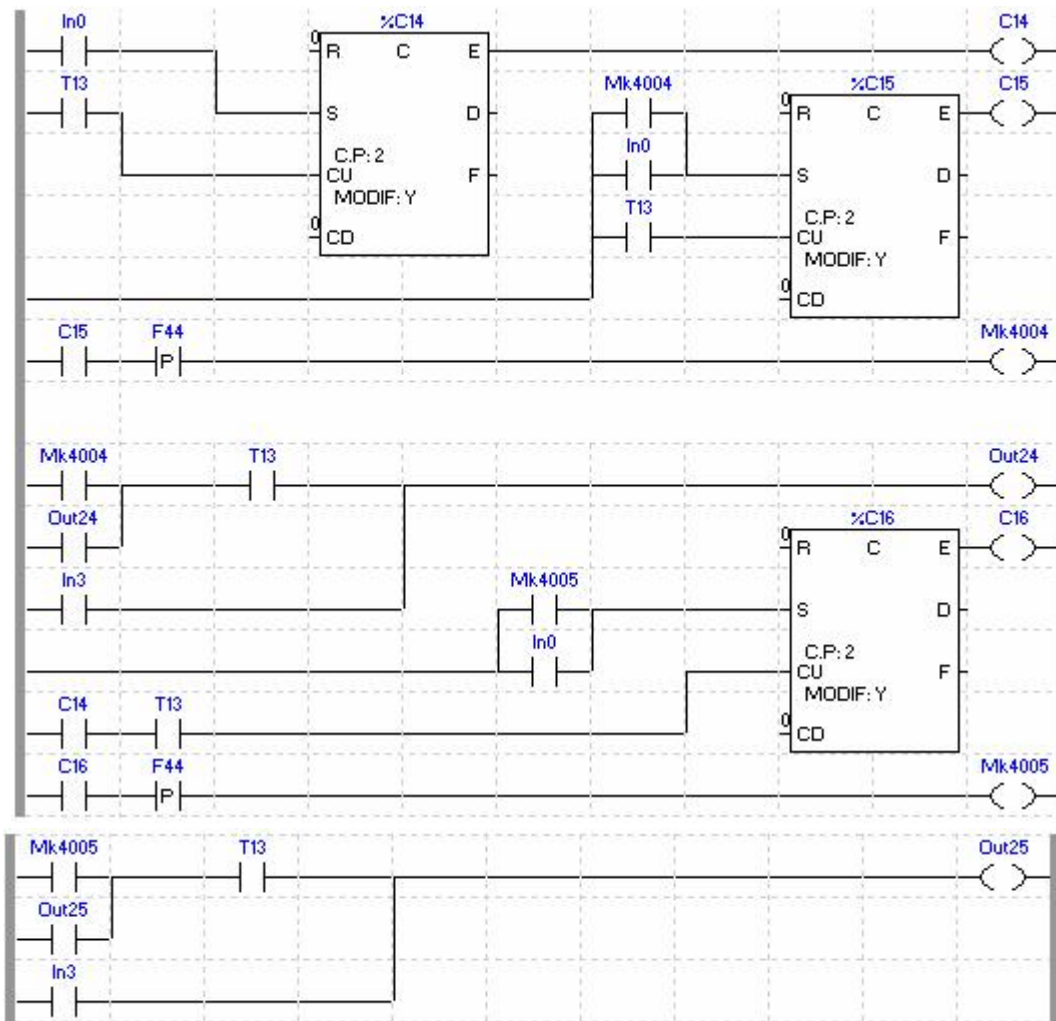
CIRCUITOS DE CONTROL ACTUALES

Este programa se encontró en Lista de Instrucciones para la mejor comprensión del lector, el diagrama se presenta en lenguaje ladder.

Figura 1. Circuito de control actual para los precipitadores.

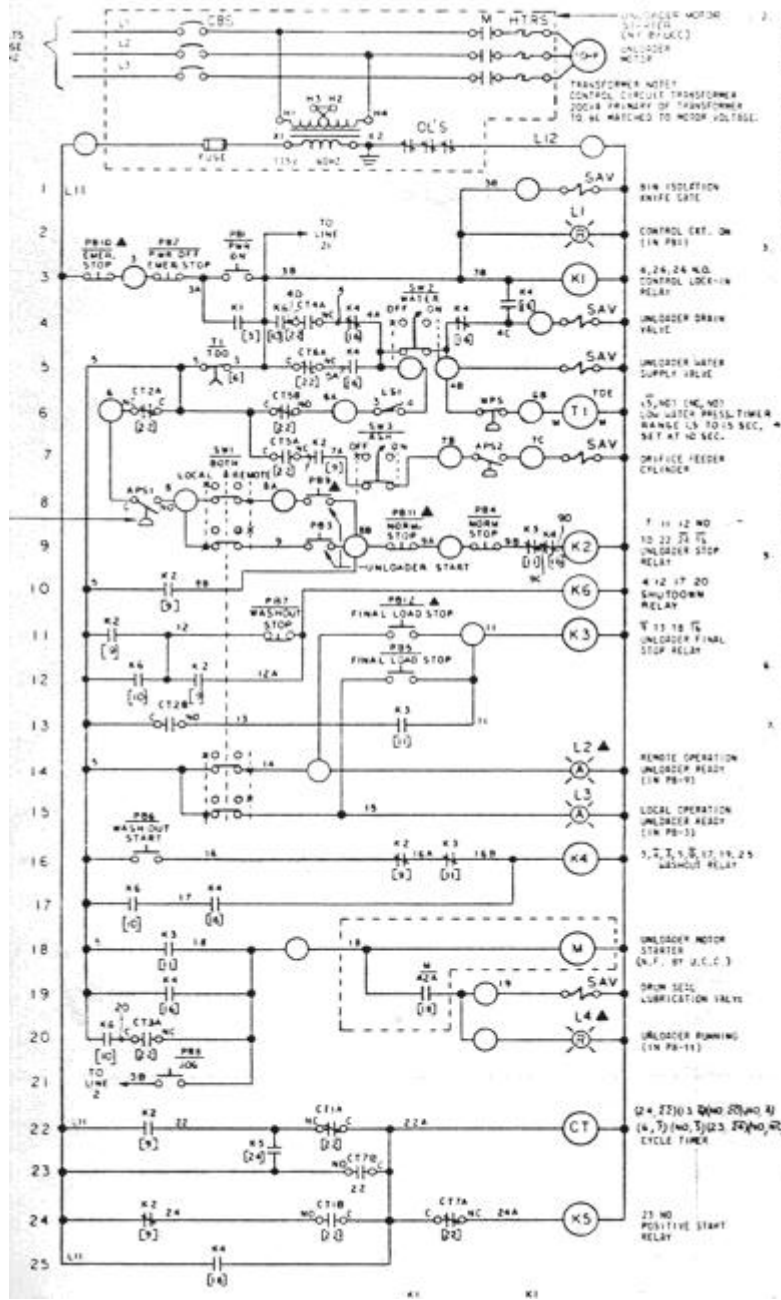






Fuente: Autores.

Figura 2. Circuito original de control para el descargador



Fuente referencia bibliográfica N° 4

Nota Este circuito tuvo una modificación en la parte de potencia, donde se ajustó la alimentación del motor a estaciones de arranque-parada de 440 V, para tener la misma estructura de montaje de los equipos de la empresa. Esta modificación fue realizada también con los sopladores fluidificadores.

ANEXO 10

DOCUMENTO ADICIONAL

Manual Básico de Operación del Programa PL7 Micro

ALBERT FERNEY DÍAZ VÁSQUEZ

FREDDY FERNANDO VALDERRAMA GUTIÉRREZ

Manual Básico de Operación del Programa PL7 Micro

INDICE	Pg.
1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA PL7 MICRO.	1
2. CARACTERÍSTICAS	1
3. CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO	2
3.1 Navegador de la aplicación	2
3.1.1 Fólder Configuración	3
3.1.2 Fólder Programa	7
3.1.3 Fólder Variables	10
3.1.4 Fólder de Tablas de Animación	13
3.1.5 Fólder Carpeta	14
4. MANEJO DE LOS EDITORES DE PROGRAMACIÓN	15
4.1 Lenguaje Ladder	15
4.1.1 Manejo de temporizadores	16
4.1.2 Manejo de contadores	17
4.1.3 Manejo de drums	19
4.2 Listado de instrucciones	21
4.3 Grafcet	21
5. CARGA Y DEPURACION DE UNA APLICACIÓN	26
5.1 Depuración del GRAFCET	29
6. ANEXOS	30
6.1 Elementos de Ladder	30
6.2 Elementos de Lista de instrucciones	32
6.3 Elementos de Grafcet	34

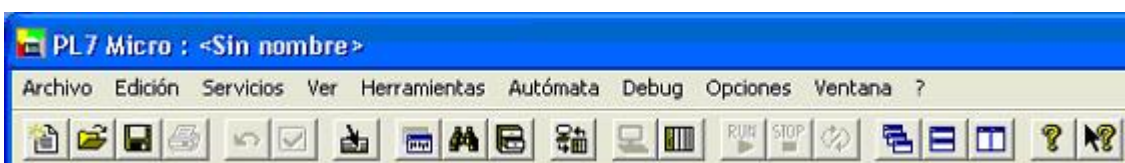
1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA PL7 MICRO:

La instalación del programa consta de los siguientes pasos, comunes en la instalación de cualquier tipo de programa:

1. Se ejecuta el archivo SETUP en la raíz del disco de instalación.
2. Se selecciona el idioma en el cual se quiere hacer la instalación.
3. Se introduce el nombre e la empresa y la clave de instalación.
4. Se selecciona el tipo de instalación estándar o personalizada.
5. En la opción personalizada se puede seleccionar la ruta donde se va a instalar el programa.
6. Se Acepta y automáticamente corre la instalación.
7. Junto con el programa PL7 Micro, también es instalado el driver de comunicación XWAY, que se refiere al protocolo propietario UNITELWAY.
8. Para que el driver sea instalado completamente es necesario reiniciar el PC.
9. El programa esta listo para ser ejecutado.

2 CARACTERÍSTICAS:

El entorno que maneja el programa es el usado por los programas para Windows, Contiene los menús comunes de Archivo, Edición, Ver, Herramientas etc., también existe Barra de herramientas con iconos de acceso directo a funciones, lo cual facilita su operación; en la figura se muestra una vista del panel de control utilizado por el programa:

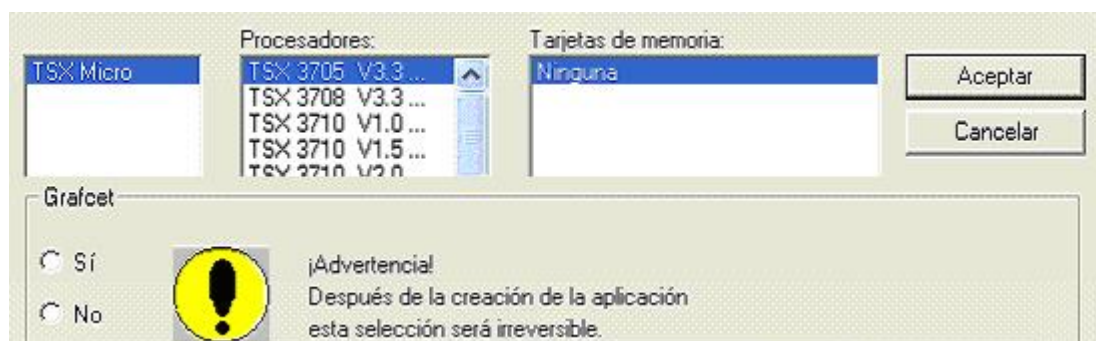


Para facilidad de comprensión del programa y las utilidades más importantes, se realizará un proyecto de prueba y paralelamente a su desarrollo se irán incluyendo y explicando cada una de dichas herramientas.

3 CREACIÓN DE UN PROYECTO NUEVO:


En el menú **Archivo / Nuevo** se despliega una ventana donde se selecciona el procesador del PLC con el cual se va a trabajar y si se dispone de tarjetas de expansión de memoria.

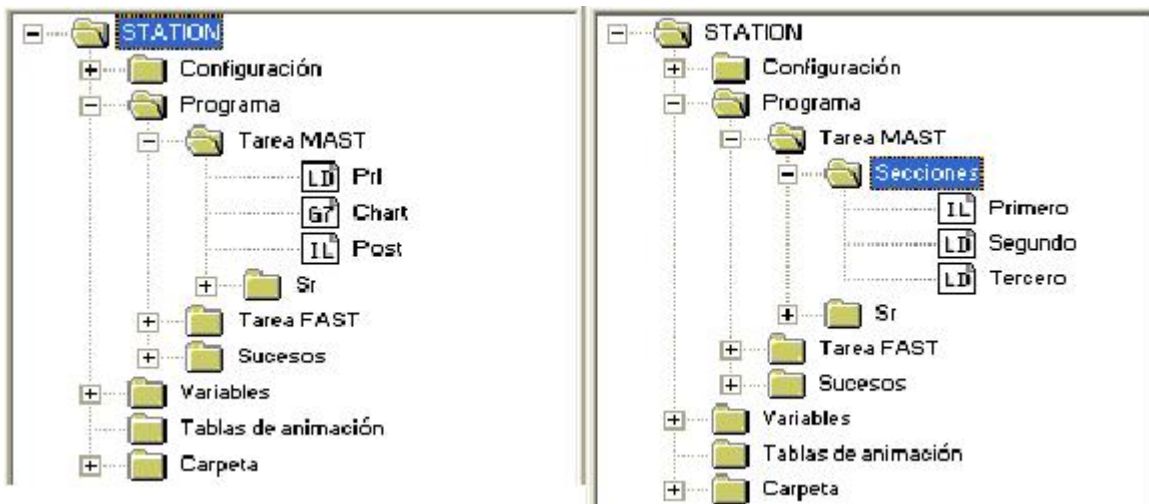
Existe una diferencia para los procesadores con versiones superiores a la 3.0, dicha diferencia mas adelante se explicará.



En esta ventana se encuentra la opción de la programación grafica en Grafcet, al seleccionar dicha herramienta los otros lenguajes de programación también pueden ser utilizados, dicha selección solo produce la inclusión adicional del módulo de programación Grafcet en reemplazo del módulo MAIN.

3.1 Navegador de la aplicación:

El nuevo proyecto creado puede ser configurado a través del Navegador de la aplicación, Ventana que aparece tan pronto como se crea el proyecto. Dicho navegador es muy similar al navegador de Windows pero solo tiene acceso al proyecto. Para llamar el navegador se realiza con el icono  en el cuarto grupo de iconos de la barra de herramientas.



Con Grafcet

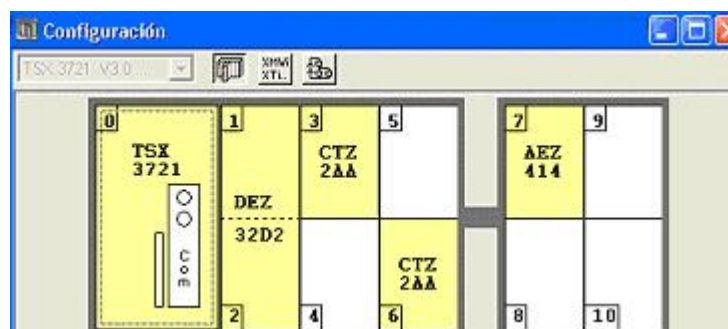
Sin Grafcet

A continuación se presentan los contenidos de cada una de las carpetas.

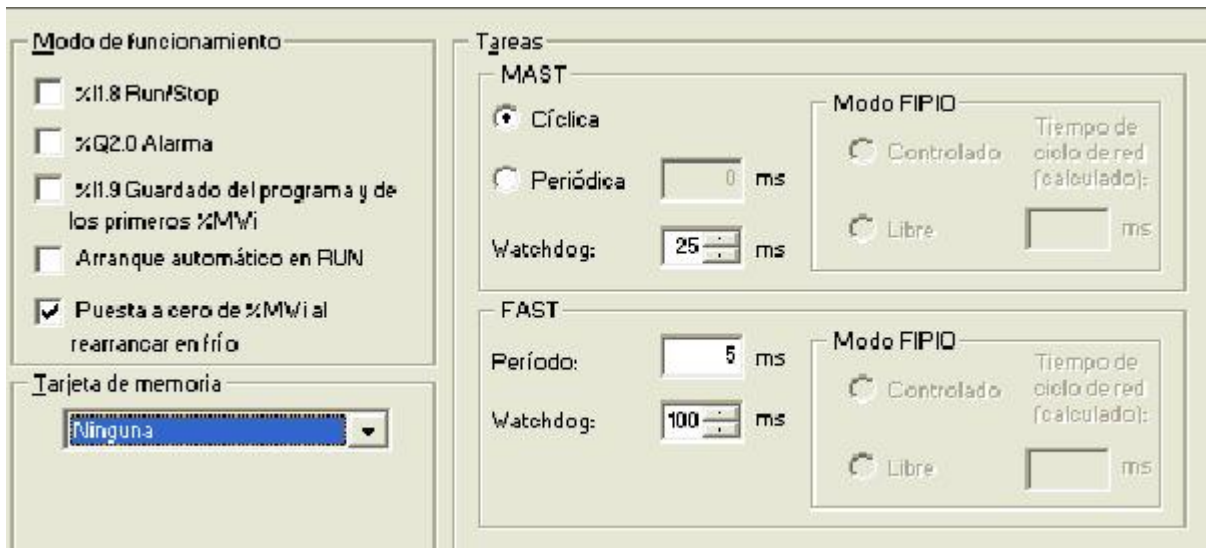
3.1.1 Fólder Configuración:



Configuración de Hardware: (STATION / Configuración / configuración de hardware) en este se determina el hardware con el cual se va a trabajar, presenta un esquema físico del PLC incluyendo el modulo de expansión. Para el caso de un PLC TSX 3721/22 incluye los racks 0-10. Para acceder a cada uno de los racks, o del modulo de comunicación (com) se da doble clic sobre cada uno de ellos.

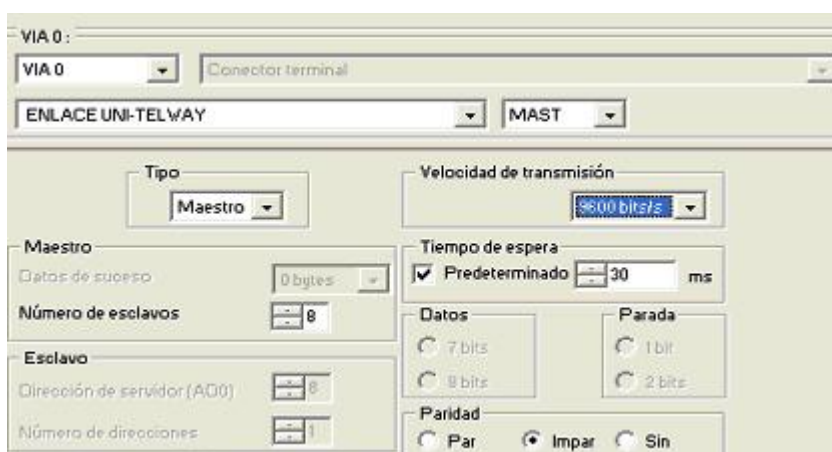


Rack 0 (en el cual se encuentra el procesador), se despliega una ventana donde se selecciona el modo de funcionamiento, se determina si se va a disponer de una entrada (%i1.8) para establecer el modo de funcionamiento (Run-Stop) o por el contrario, si el PLC arranca automáticamente en modo Run, se configura el modo de barrido con el cual se ejecuta el programa (cíclico o periódico), se fija el tiempo en el cual se activa el Watchdog, y se determina el uso de una tarjeta de memoria.



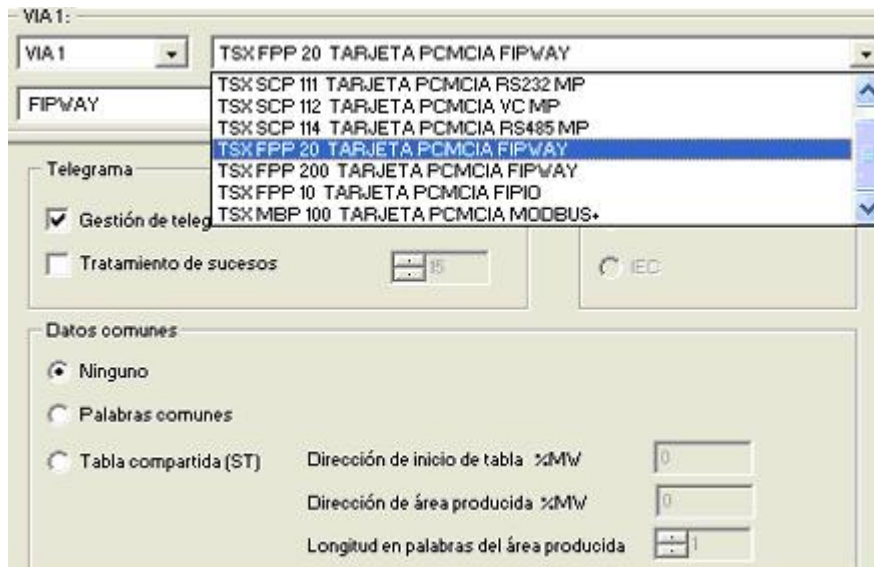
Módulo de comunicaciones (Rack 0-com) se configura el tipo de comunicación que se piensa utilizar.

Existen dos vías de comunicación, la vía 0 utiliza el puerto de comunicación utilizado para la comunicación con el PLC, en el se utilizan dos protocolos de comunicación: el UNI-TELWAY (protocolo propietario) y se usa Enlace Modo de Caracteres. Para estos se configura el tipo de equipo usado (Maestro o esclavo), el numero de equipos comunicados, la velocidad de transmisión y el uso de bit de paridad para la detección de errores el la comunicación.




En vía 1 se utiliza un módulo aparte donde se introducen tarjetas de comunicación (PCMCIA) para la comunicación entre PLCs, se pueden utilizar protocolos de

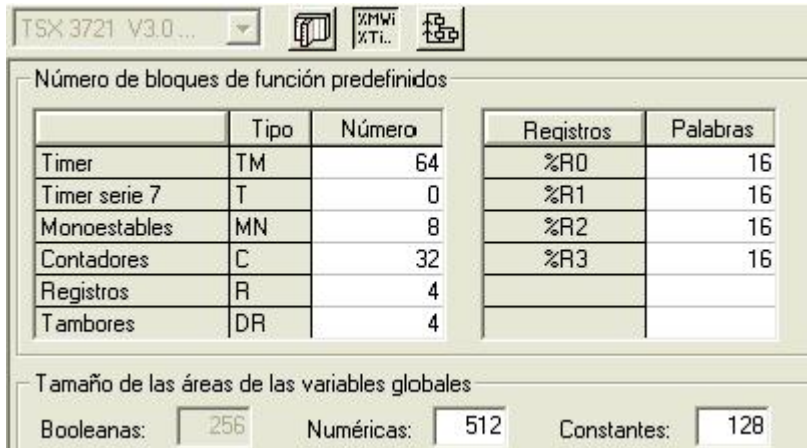
comunicación como RS232, RS485, FIPWAY, FIPIO, MODBUS. Dependiendo del protocolo utilizado se pueden realizar cambios en la configuración.




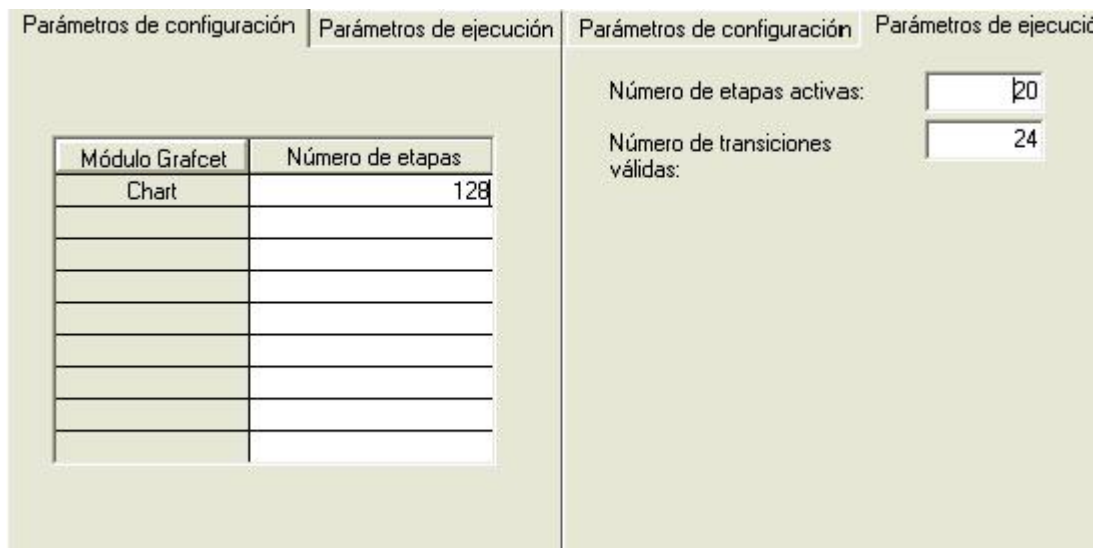
Racks del 1 al 10 Dando doble clic sobre cada uno de ellos, se puede seleccionar de un listado prefijado los módulos a utilizar, dichos módulos pueden ser de entradas-salidas digitales o análogas, de comunicación, contadores, temporizadores, etc.



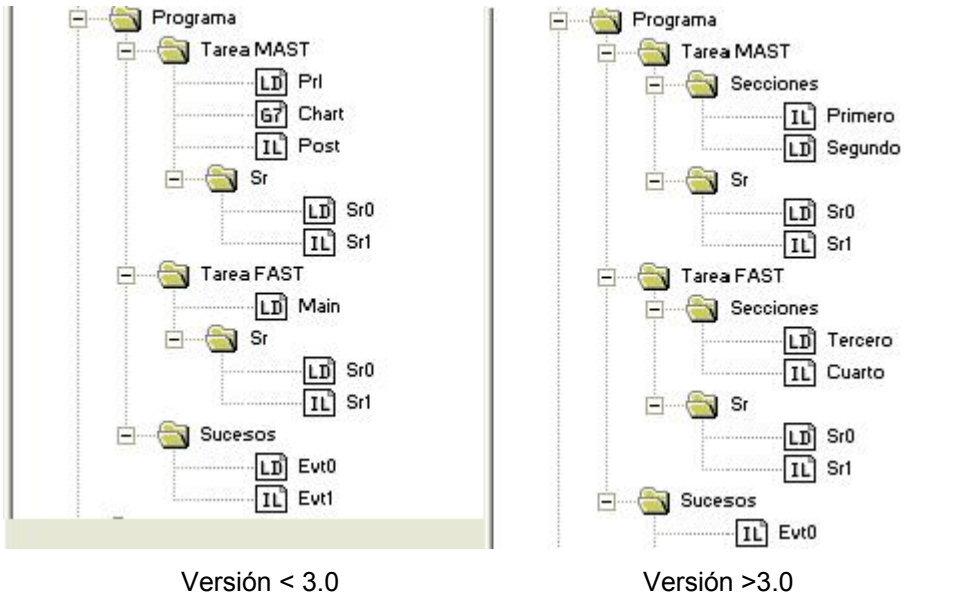
Configuración de Software: (STATION / Configuración / configuración de software) también se puede llegar a él desde la ventana de Configuración oprimiendo el segundo icono . En este se determinan la cantidad de bloques de función (timer, contador, drum, etc.) a utilizar en el proyecto, en la ventana se presenta por defecto los valores máximos de cada uno de los bloques para los diferentes procesadores. En la figura se muestran los valores para el caso de un procesador TSX 3721, esta ventanas sirve como guía al momento de realizar la programación para no excederse en el uso de dichos bloques.



Configuración de Grafcet: (STATION / Configuración / configuración de Grafcet) también se puede llegar a el desde la ventana de Configuración oprimiendo el tercer icono . En este se determinan la cantidad de estados que se pueden utilizar para la evolución del automatismo, también se encuentra el numero máximo de ramas que pueden evolucionar en paralelo y las transiciones validas.



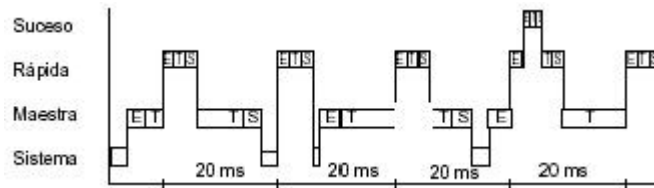
3.1.2 Fólder Programa:



Versión < 3.0

Versión >3.0

Los tipos de programas usados en PL7 Micro son la tarea maestra, la tarea rápida y los sucesos. El programa con mayor prioridad son los Sucesos, luego le sigue la tarea rápida y por ultimo la tarea maestra.



Como se comento al inicio, existe una diferencia al seleccionar las versiones superiores a la 3.0, dicha cambio radica en que para las tareas Maestra y Rápida el programa MAIN se puede dividir en subprogramas llamados secciones, las cuales se crean y se pueden nombrar a gusto del programador con el fin de ordenar el programa principal.

Estas secciones tienen otra característica, la opción de ser o no ejecutadas controladas por alguna marca interna (puede ser el resultado de una expresión lógica), es decir, si es verdadera la sección se ejecuta de lo contrario el software omite la ejecución de dicha sección.

El manejo de la tarea rápida y la tarea maestra es idéntica, es decir posee un Programa principal MAIN (para las versiones superiores a 3.0 se pueden tener varias secciones) y otros llamados Sr que son subrutinas las cuales se llaman desde el programa principal o las secciones del programa.

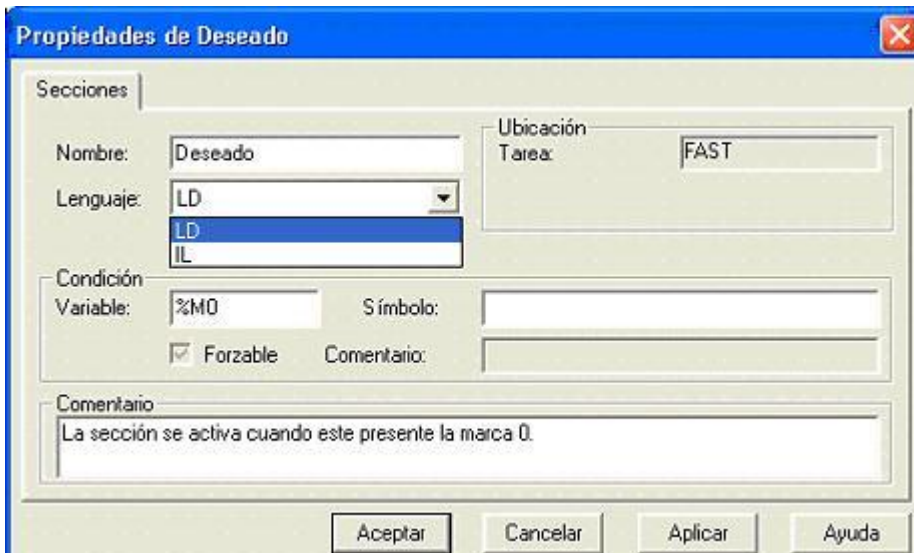
Creación de Tareas, Secciones, SR y Sucesos:

Todos los procedimientos que se describen a continuación se realizan en el explorador de la aplicación.

Tareas. Por defecto no existe la tarea rápida, para crearla se da clic derecho sobre la carpeta Programas y se selecciona la opción crear, Automáticamente se crea la tarea rápida con sus respectivas subcarpetas (Secciones y SR).

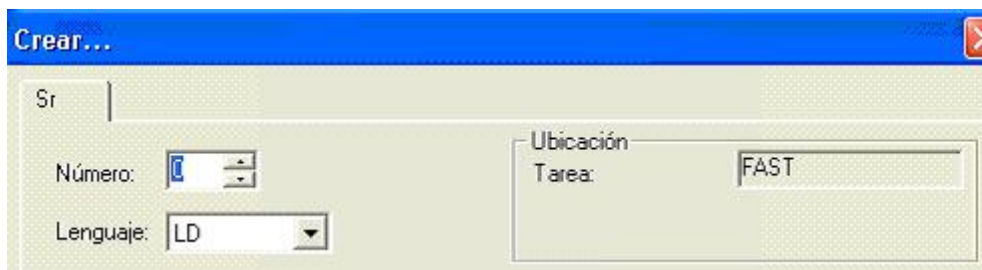
Secciones. Para crear las diferentes secciones (Tarea maestra o rápida), se da clic derecho sobre la carpeta secciones y se selecciona crear. En el cuadro de dialogo se introduce el nombre deseado, se selecciona el lenguaje en el cual se quiere programar (Ladder LD o Lista de instrucciones IL), Se introduce la marca que controla su ejecución (Si se quiere que siempre se ejecute se deja en blanco), y los comentarios. En la parte superior derecha indica a que tarea corresponde (maestra o rápida). Si se quiere realizar una modificación a las secciones después de creada, en el explorador de la aplicación se da clic derecho sobre la sección y se selecciona propiedades.

Nota. Si ya se ha programado alguna parte de la sección el lenguaje ya no se puede cambiar.



SR y Sucesos (LVT). La creación de una Subrutina o un suceso es idéntica a la creación de una sección, con la diferencia que no existe marca de control. Solo pueden ser numeradas (SR de 0-253 y LVT de 0-15) y su nombre es Srx o Lvtx donde x es el número seleccionado.

Los SRs y LVTs son llamados desde el programa de aplicación o desde otro Sr con una profundidad de 8, dichas llamadas se hacen con la bobina CALL y se regresa con la bobina RETURN (Ver anexo 6.1), dichas bobinas se manejan como cualquier otra variable del programa.



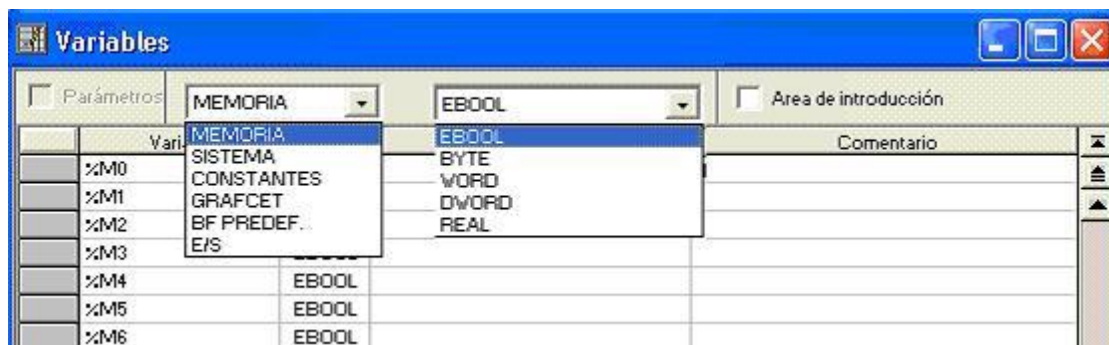
3.1.3 Fólder variables:



La carpeta **Variables** se puede considerar como la base de datos del programa, donde se pueden introducir los símbolos y comentarios de cada uno de los componentes de programación (marcas, entradas, salidas, bits de sistemas, contadores, temporizadores etc.).

Adicionalmente para los bloques de funciones (**BF**) aquí es donde se definen sus parámetros; dichos bloques de funciones son: Temporizadores (**TM**), Contadores (**C**), Drums (**DR**), Monoestables (**MN**) y Registros (**R**).

Para abrir cada una de las ventanas de la carpeta **Variables** se da doble clic sobre una de ellas, si existe abierta una de estas en la parte superior izquierda se puede acceder a la base de datos para los otros componentes. En el siguiente menú desplegable se selecciona el tipo de variable que se quiera configurar, por ejemplo para Memoria se selecciona si se quieren configurar los bits, las palabras dobles o sencillas etc., y para los BF se seleccionan los contadores, temporizadores, drums etc.



Para distinguir las variables y tipos que se pueden utilizar en el programa PL7 se presenta la siguiente tabla para identificarlos:

VARIABLE	MEMORIA	SISTEMA	CONSTANTE	GRAF CET	ENTRADA	SALIDA
IDENTIFICADOR	%M	%S	%K	%X	%I	%Q
TIPO	BIT	BYTE	WORD	DWORD	REAL	
IDENTIFICADOR	vacio	B	W	D	F	

Para nombrar cualquier variable en el programa PL7 se realiza **Variable Tipo Número** ejemplo %MW2 (para las variables tipo palabra se puede anexar la extensión .Xx para acceder a cada uno de sus bits).

En el caso de las entradas y salidas se introduce el número del Rack donde se encuentre **Variable Rack** .(punto) **Número** Ejemplo %I1.15 (entradas y salidas son de tipo bit).

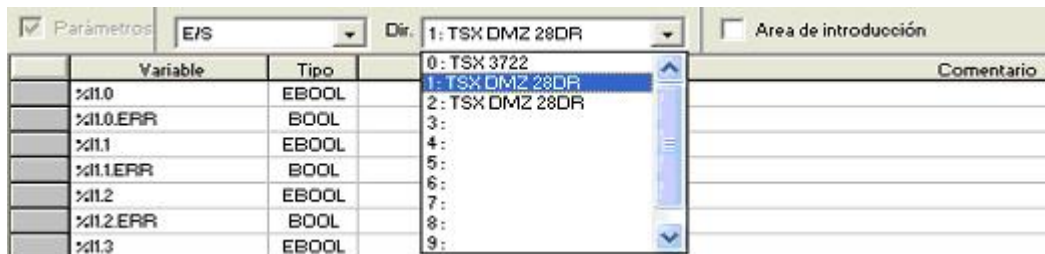
A continuación se presenta una breve descripción para cada una de las ventanas de la carpeta variables:

Variables de memoria, de sistema, constantes y Grafcet:

Para estas cuatro, el uso de la carpeta **variables** es exclusivamente para introducir los símbolos y los comentarios para cada uno de ellos, como se comento el tipo se cambia en el segundo menú desplegable, allí se puede cambiar entre bits (**EBOOL**) Bytes (**BYTE**) word (**WORD** 16 bits) doble word (**DWORD** 32 bits) o real (**REAL** de 16 bits).

Entradas y Salidas (E/S):

Al igual que en las variables anteriores esta carpeta permite la introducción de los símbolos y comentarios, la diferencia esta en el segundo menú, donde se muestra los racks del PLC y según su selección se encuentran las entradas y las salidas.



Bloques de Función (BF):

Idéntico a los anteriores casos (símbolos y comentarios) con la diferencia que es en esta ventana donde se configuran cada uno de estos bloques (es necesario que se encuentre activa la opción parámetros).

Los parámetros que se configuran para cada bloque son los siguientes:

- **Temporizador (TM):**

Preset-Valor de selección de número de ciclos (0-9999).

Modo – Tipo de temporizador (TON-conexión, TOF-desconexión, TP-monoestable).

TB- Base de tiempo (1 min, 1 s, 100 ms, 10 ms).

Req – Modificable desde el terminal (si, no).

▪ **Contador (C):**

Preset-Valor de selección de cuenta (0-9999).

Req – Modificable desde el terminal (si, no).

▪ **Monoestable (MN):**

Preset-Valor de selección de número de ciclos (0-9999).

TB- Base de tiempo (1 min, 1 s, 100 ms, 10 ms).

Req – Modificable desde el terminal (si, no).

▪ **Registro (R):**

Modo – Tipo de registro (LIFO, FIFO).

▪ **DRUM (DR):**

TB- Base de tiempo (1 min, 1 s, 100 ms, 10 ms).

Paso – Cuadro donde representa cada paso (selección 1-0) y la variable asociada (0-16).

N – Número de ciclos (1-16).

3.1.4 Fólder de Tablas de animación:

La función de las tablas de animación, es crear un listado de variables que se piensen supervisar al momento de correr un programa (Es necesario tener un software de simulación o cargar el programa en el PLC y trabajar en modo conectado), dichas tablas se crean dando clic derecho sobre la carpeta **Tablas de Animación** en dichas tablas se introducen las variables que se quieran supervisar.

Existe la opción de forzar bits (1 o 0) o modificar variables (darle un valor determinado), adicionalmente en la tabla se muestran las siguientes características: Símbolo, Valor actual, Naturaleza y Tipo.

Modificación	Variable	Símbolo	Valor actual	Naturaleza	Tipo
F3 Modificar	%M0	Puerta1			
	%M1	Puerta2			
F7 0	%M21				
F8 1	%M3	Puerta4			
	%M6				
	%M1w5				
Forzado	%I1.0				
F4 Forzar a 0					
F5 Forzar a 1					
F6 Cancelar					

3.1.5 Fólder Carpeta:

En el fólde**r Carpeta** se encuentran paginas que muestran la información del proyecto, en ella se guarda la información del programador, el nombre del proyecto, comentarios, la página de título, el sumario, la configuración, el programa, las referencias cruzadas, las variables, el pie de página, puede ser de gran utilidad cuando se hacen modificaciones sucesivas para llevar una bitácora de procedimientos.

4. MANEJO DE LOS EDITORES DE PROGRAMACIÓN:

4.1 Lenguaje Ladder:

A continuación se describe como agregar cada uno de los elementos, en la hoja de trabajo de programación. Para acceder al editor de hacer doble clic en la sección que desee iniciar a programar, en el explorador de la aplicación. La pantalla de este editor tiene el aspecto de la siguiente figura.

La barra de herramientas que aparece debajo de la hoja de trabajo permite agregar cada uno de los elementos necesarios para la programación en este lenguaje, los botones indican también el método abreviado de inserción.

Por ejemplo si se desea contar el número de veces que es oprimido un pulsador conectado a la entrada I1.0, se puede realizar el siguiente programa. En primer lugar se agrega un detector de flanco positivo oprimiendo F4, o eligiendo el botón y arrastrando el elemento a la posición requerida, se debe ahora añadir %I1.0 al

nombre del elemento, luego se inserta un contador con **shift+f7**, se elige **counter**, se arrastra al lugar deseado y se le asigna un numero, para nuestro ejemplo le asignamos el "0", la sintaxis total de un contador es %Cx, Por ultimo se debe validar, para esto solo se debe oprimir **ENTER**. La ventana siguiente muestra el aspecto final del programa. El detalle de cada uno de los elementos de la barra se anexa al final de este manual (Anexo 6.1).

Se puede modificar la ubicación de los elementos haciendo uso del comando *ctrl.+l*, o puede copiar y pegar elementos con *ctrl.+c* y *ctrl.+v* respectivamente, o cortar elementos con *ctrl.+x*. También puede cortar, copiar y pegar segmentos con los mismos comandos, para ello debe elegir el segmento deseado, colocando el puntero en el lado izquierdo (parte gris) del segmento.

Los bloques de función predefinidos más importantes son los temporizadores, los contadores y los drums, a continuación describen los parámetros para configurarlos:

4.1.1 Manejo de temporizadores:

Este bloque permite efectuar retardos de conexión o desconexión y generar impulsos de duración precisa, como un monoestable, esto según el modo de trabajo elegido (mode), lo cual se configura en el **explorador de la aplicación/variables/bloques predefinidos**, luego haga clic en parámetros, elija TM en el segundo pop-up y escoja el temporizador y el parámetro **modo** que requiera (pop-up de la columna modo). El bloque que representa este temporizador es el siguiente:

Además, puede cambiar el tiempo base y el valor de preselección, los cuales, en conjunto configuran el tiempo de retardo, por ejemplo, dos segundos, se puede configurar así: se elige tiempo base de un segundo (TB = 1s) y preselección en dos (preset = 2).

Desde el programa se puede leer el valor de preselección (%TMI.P), y el valor actual de conteo (%TMI.V), la entrada activa el temporizador con el flanco ascendente y lo resetea con el descendente, además, el bit %TMI.Q permite saber el momento en que el temporizador finaliza su retardo (cambia de "0" a "1").

4.1.2 Manejo de contadores:

Este bloque permite efectuar conteos ascendentes y/o descendentes de sucesos.

Para configurar este bloque se lleva a cabo el mismo proceso que con los temporizadores, solo que se elige "C" en el pop-up de la ventana de configuración, se tiene acceso solo al valor de de preselección de cada contador (preset).

Desde el programa se puede leer el valor de preselección (%CI.P), y el valor actual de conteo (%CI.V), La entrada R=1 resetea el contador, S=1 carga el valor de preselección en el valor actual, CU aumenta el conteo con flanco ascendente, y CD lo disminuye. El bit %CI.E=1 indica que el contador paso de "0" al valor "9999", el bit %CI.D indica que el conteo esta hecho, es decir que, el valor actual es igual al valor preseleccionado, y el bit %CI.F, indica que el conteo ha sobrepasado de "9999" a "0". Todos los bits anteriores pueden utilizarse en el programa para lograr el objetivo que busca la aplicación.

En ocasiones es útil extraer el valor actual del contador, para esto es necesario cargar el valor en una palabra de memoria interna y luego se extraen los bits que necesiten, como se muestra en la siguiente figura.

En este ejemplo, el bit "0" del valor actual del contador dos se asigna a la salida %Q2.0, y el bit "1" se carga en la salida %Q2.1.

4.1.3 Manejo de Drums

El bloque se muestra en la siguiente figura.

La entrada R=1 permite que el drum se devuelva al primer paso, y un flanco en la entrada U, provoca que el drum evolucione hacia el siguiente paso programado.

Para configurar este bloque se lleva a cabo el mismo proceso que con los temporizadores, solo que se elige “DR” en el pop-up, y selecciona **parámetros** como se muestra en la siguiente figura.

Como se mencionó anteriormente, este bloque se le debe configurar el numero de pasos y el tiempo base, con el cual se escanée la entrada del bloque. Para asignar los bits que van a cambiar a medida que el drum evoluciona, se da doble clic en la columna paso del drum correspondiente al bloque insertado en el programa, la nueva ventana se muestra a continuación.

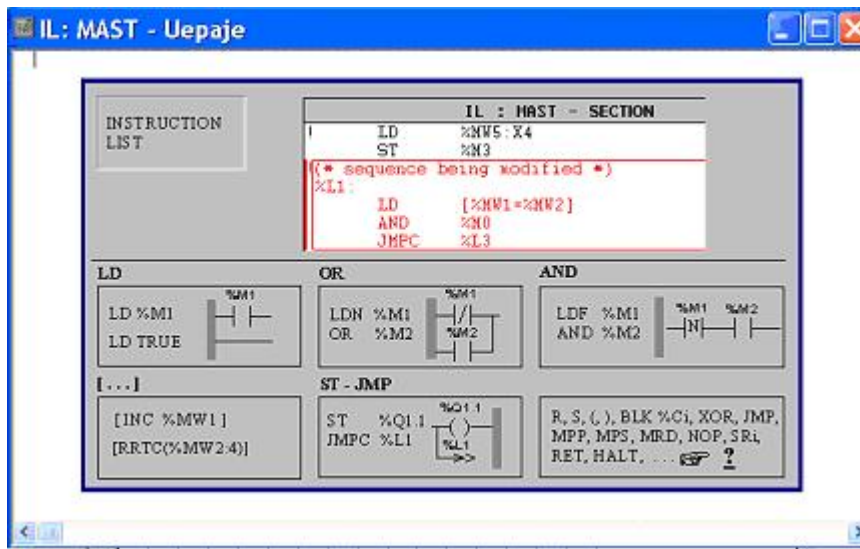
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Variable
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Los pasos se muestran en las columnas mientras que los bits se deben ingresar en la columna **variable**, por ejemplo, si se requiere que el bit %M0, cambie de “0” a “1” alternativamente de paso a paso, y que el bit %M1 haga lo contrario. Entonces la configuración se realiza como se muestra en la siguiente figura.

Para modificar de “0” a “1” los valores de la matriz, se hace doble clic a la casilla que desee. En la columna **variable** no se pueden ingresar símbolos.

4.2 Listado de instrucciones:

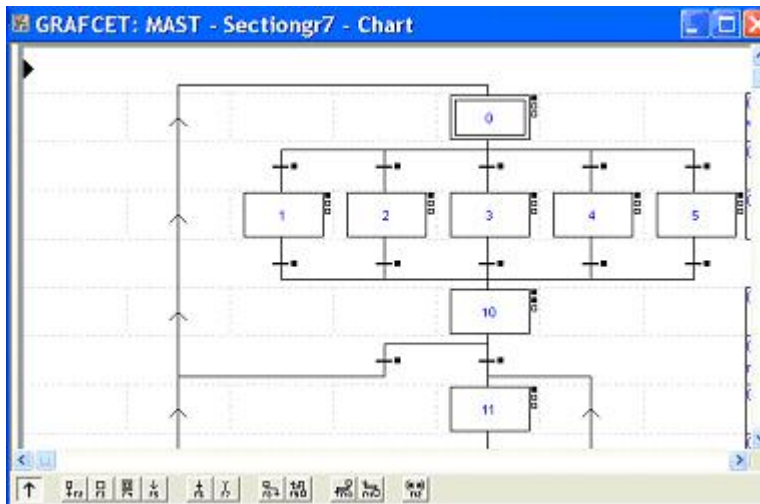
Para abrir este editor debe hacer doble clic en la sección previamente creada con la configuración de IL. En seguida aparece la figura que se muestra a continuación.



Esta ventana es un editor de texto normal, en el cual usted ingresa las instrucciones necesarias para su aplicación, en la figura anterior se muestran también algunas equivalencias entre LD e IL las equivalencias de las variables a lenguaje de instrucciones se encuentran en el anexo 6.2.

4.3 Grafcet:

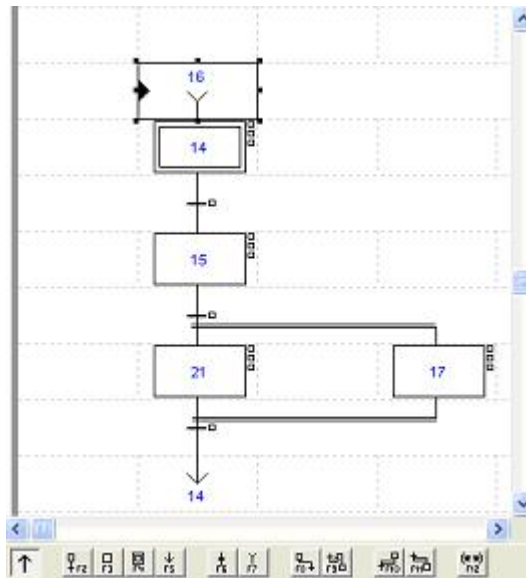
Para abrir este editor en navegador de la aplicación **STATION/Programa/Tarea Mast/Chart**, la ventana de este editor se muestra en la figura.



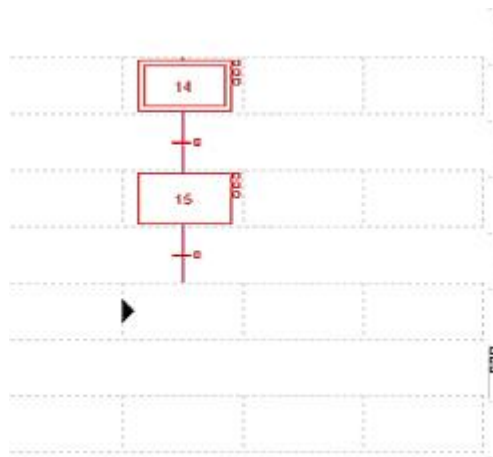
La barra de herramientas inferior permite introducir los elementos necesarios en este lenguaje, como lo son la etapa inicial (F4), las etapas una receptividad (F2), receptividad (F6), reenvío de destino (F5), reenvió de origen (F7), divergencias y convergencias “Y” y “OR”.

Para agregar cada uno de los elementos, se hace de manera similar al editor de Ladder, sin embargo es de destacar que las divergencias “Y” se deben colocar de izquierda a derecha y la convergencia se hacen al contrario. Además, para agregar un elemento se debe ser congruente, por ejemplo, si el puntero señala una receptividad y usted oprime el botón insertar receptividad, el editor le indicara en la parte de comentarios, que esta cometiendo un error, puesto que debe elegir una etapa. Para las demás inserciones, también recibirá consejos en la barra de comentarios.

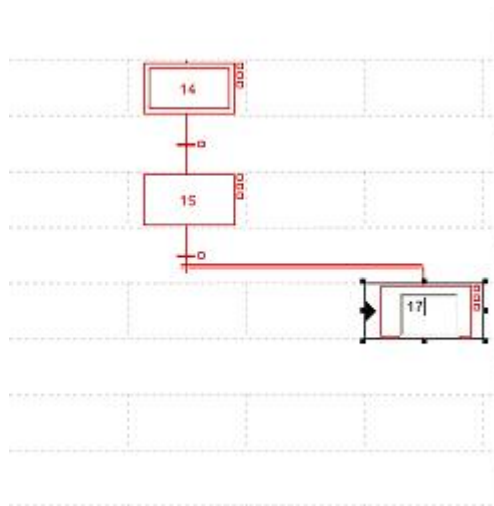
A continuación se muestra un ejemplo sencillo para realizar el siguiente gráfico.



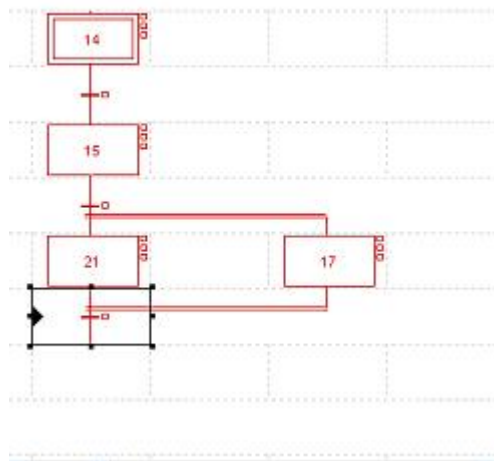
Inicialmente debe elegir F4, para insertar la etapa inicial, luego la coloca en el lugar que desee, se puede editar el número (en este caso 14), pero debe tener en cuenta que no se haya utilizado en etapas previas, para que no genere ningún error, luego, ingrese la receptividad con F6, la coloca justo debajo de la etapa inicial, para el siguiente paso puede utilizar F2, de manera que ingrese la etapa y la receptividad a la vez, el gráfico debe estar así:



Para realizar la divergencia “Y” se ubica el recuadro rojo (con el mouse o con las flechas del teclado) en la receptividad siguiente a la etapa 15 y oprima F11 (note que si el recuadro rojo no esta en una receptividad y oprime F11, hay un error) luego se desplaza el recuadro con las flechas del teclado, en este caso a la derecha, dos casillas, y oprima nuevamente F11, este procedimiento agrega directamente la etapa 17:



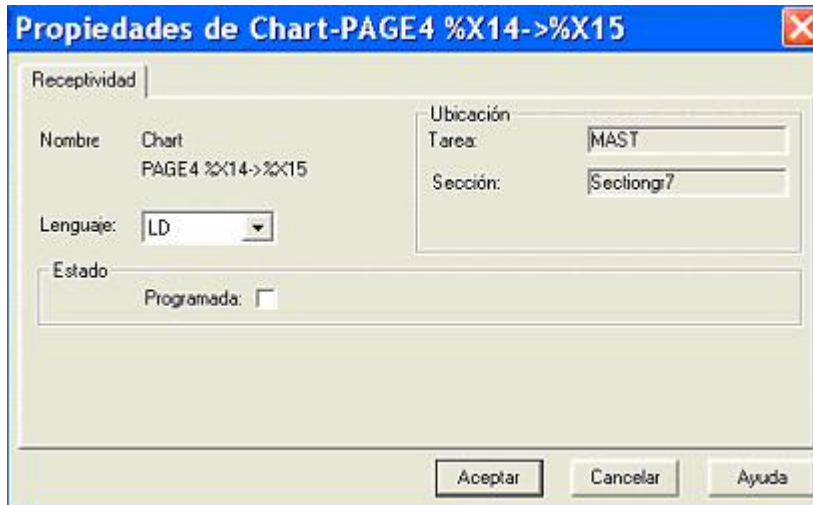
Luego, se inserta la etapa 21, y para adherirla a la divergencia debe ubicarse en la receptividad y oprimir F11 (debajo de 15). Para cerrar la divergencia, debe ubicar el recuadro en la etapa 17 y oprimir F10, correr el cursor de izquierda a derecha dos casillas y confirmar oprimiendo F10 nuevamente, esto agrega instantáneamente la receptividad; para adherir la etapa 21 a la convergencia debe ubicarse en la etapa y oprimir F10, debe quedar así:



Por ultimo agregue el reenvío de origen y destino con F7 y F5 respectivamente. Con esto el grafico esta listo y puedes validarlo oprimiendo ENTER.

Otro aspecto importante es la edición de las receptividades, esta se puede realizar únicamente después de validar, si Ud. Oprime validar y no lo hace, seguramente contiene algún error, por ejemplo, algún reenvío no llega a ningún lado. Para editar

las receptividades haga doble clic en la receptividad, esto despliega una ventana como la que se muestra a continuación.




En este cuadro de dialogo debe elegir el tipo de lenguaje que desea utilizar, y se muestra si la receptividad esta o no programada. En estas se programa de manera similar a la que se programa un segmento, pero siempre debe agregar la bobina de activación, utilizando F9.

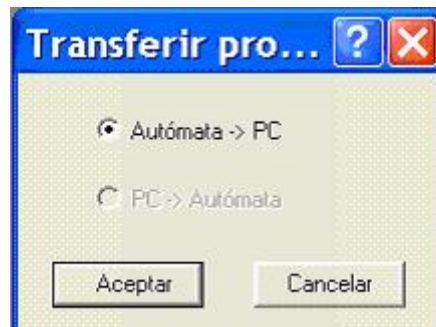
En este ejemplo, un flanco positivo de la entrada I1.0, activa la etapa 15. Si un a receptividad no se programa el proyecto se bloquea en el momento de la depuración.

Preproceso y Postproceso: Para programar estas etapas complementarias del Grafcet (El postproceso es obligatorio) se encuentran en el explorador de la aplicación **STATION/Programa/Tarea Mast/PRL o Post** (respectivamente).


Su programación puede ser realizada en lenguaje de instrucciones o en Ladder, en el preproceso se realizan las condiciones necesarias para el desarrollo del Grafcet y en el postproceso se programan las acciones asociadas a cada una de las etapas. Es bueno recordar que una variable Grafcet se identifica %Xx donde x es el número de la etapa.

5. CARGA Y DEPURACION DE UNA APLICACIÓN:

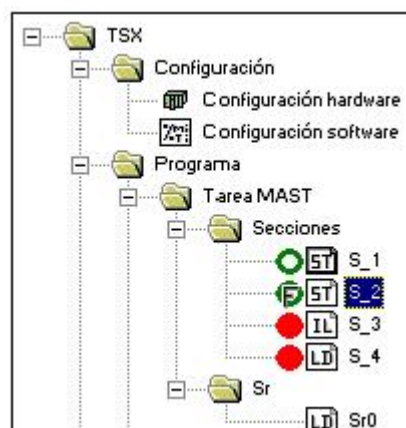
Se debe hacer clic en el menú **Autómata** y se elige **Transferir programa** (Barra de herramientas el icono ) , o puede utilizar el método abreviado **ctrl.+T**, en seguida debe elegir la opción transferir de PC hacia autómata en un cuadro de dialogo, como el que se muestra en la siguiente figura.



La opción de transferir de PC → autómata, se puede elegir cuando el software reconozca al terminal del PLC, en este caso el PLC aun no se ha conectado.

Si se quiere correr la aplicación, se debe hacer clic en el botón , que aparece en la ventana de depuración, o seleccionar el comando **Autómata/RUN**.

Una de las ventajas de este software es que, permite realizar la depuración por módulos, que en este caso se les llama *secciones*, o *sr*. en la figura siguiente se muestra un ejemplo del explorador de la aplicación cuando esta en modo RUN.



Las secciones activas se muestran con un circulo verde, las que no lo están tienen un circulo rojo y las que se han forzado tienen una F, para realizar esto último, basta con darle clic derecho a la sección que desee y escoger forzar a “0” o a “1” la condición de activación. Para depurar únicamente una de las secciones debe escoger forzar a “0” las demás.

Para ver como se está ejecutando la aplicación debe hacer doble clic a la sección que quiere supervisar, ahí, las marcas, entradas y salidas que estén activas, se verán sombreadas.

Este software permite correr la aplicación paso a paso, a continuación se muestra una descripción de los botones utilizados para esto, ubicados en la barra de herramientas para depuración del programa.



Este botón inicia la ejecución paso a paso, solo si el autómata se encuentra conectado y en modo RUN



Ejecuta el elemento de programa en el que se paró la ejecución y se detiene en el inicio del elemento de programa siguiente, es decir avanza un paso.



Sirve para acceder un SR



Se regresa al modulo que solicito el SR



Abandona el modo paso a paso



Este botón permite agregar un *punto de parada*, la ubicación de estos puntos se hace directamente en los editores de lenguaje ubicando el cursor en el segmento que se requiera y luego se hace clic en este botón, en LD, el punto de

parada (breakpoint) actúa al inicio del segmento donde se localizó, es decir, la depuración finaliza antes de realizar las acciones asociadas a dicho segmento.



Se accede directamente al *punto de parada* en la aplicación, sin acceder previamente al módulo de programa.

5.1 Depuración del Grafcet:

En el editor GRAFCET se tiene acceso a su depuración, por medio de la barra de depuración se tiene acceso a las siguientes funciones:

El estado del gráfico: donde se indica si el gráfico está inmóvil, si hay una falla dentro de él, se puede además acceder a la información de las fallas presentes.














Acciones del gráfico: Existen botones que permiten iniciar/parar la ejecución, o posicionar el gráfico en su etapa o etapas iniciales (INIT), o también posicionar el gráfico en un área vacía

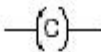
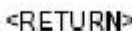

Preposicionamiento: UD. Puede utilizar el botón de preposicionamiento para configurar las etapas que desee posicionar previamente, el botón aparece en gris cuando no puede realizar esta tarea en ninguna de las etapas

Si existe alguna duda del funcionamiento del botón basta con posicionar el puntero encima e inmediatamente se despliega la acción asociada a él.

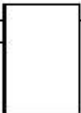
6. ANEXOS

6.1 Elementos de Ladder

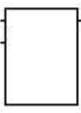
Designación	Gráfico	Funciones	
Elementos de prueba	• Contacto de cierre		Contacto establecido cuando el objeto bit que lo controla está en el estado 1.
	• Contacto de apertura		Contacto establecido cuando el objeto bit que lo controla está en el estado 0.
	• Contacto de detección de cambio de estado		Flanco ascendente: detección del paso de 0 a 1 del objeto bit que lo controla.
			Flanco descendente: detección del paso de 1 a 0 del objeto bit que lo controla.
Elementos de enlace	• Conexión horizontal		Permite vincular en serie entre las dos barras de potencial elementos gráficos de prueba y de acción.
	• Conexión vertical de potencial		Permite vincular en paralelo los elementos gráficos de prueba y de acción.
	• Derivación de corto circuito		Permite unir 2 objetos a través de varias conexiones.
Elementos de acción	• Bobina directa		El objeto bit asociado toma el valor del resultado del área de prueba.
	• Bobina inversa		El objeto bit asociado toma el valor inverso del resultado del área de prueba.
	• Bobina de conexión		El objeto bit asociado se pone a 1 cuando el resultado del área de prueba es 1.
	• Bobina de desconexión		El objeto bit asociado se pone a 0 cuando el resultado del área de prueba es 1.
	• Salto condicional a otra red (JUMP)		Permite una desviación a una red etiquetada que se encuentra arriba o abajo. Sólo son válidos los saltos dentro de una misma entidad de programación (programa principal, subprograma,...) La ejecución de un salto provoca: • la parada de la exploración de red en curso, • la ejecución de la red con la etiqueta solicitada, • la no exploración de la parte del programa situada entre la acción de salto y la red designada.
	• Bobina de signo de número		Propuesta en lenguaje Grafcet, utilizada al programar receptividades asociadas a transiciones; hace pasar a la etapa siguiente.

Designación	Gráfico	Funciones
Elementos de acción (cont.)	<ul style="list-style-type: none"> Bobina de llamada a un subprograma (CALL) 	<p>Permite una desviación en el inicio del subprograma cuando el resultado del área de prueba es 1.</p> <p>La ejecución de una llamada a un subprograma tiene como consecuencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> la parada de la exploración de red en curso, la ejecución del subprograma, la reanudación de la exploración interrumpida.
	<ul style="list-style-type: none"> Regreso del subprograma 	<p>Reservada para el subprograma SR. Permite regresar al módulo que llama cuando el resultado del área de prueba es 1.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Parada de programa 	<p>Detiene la ejecución del programa cuando el resultado del área de prueba es 1.</p>

Bloques de función estándar


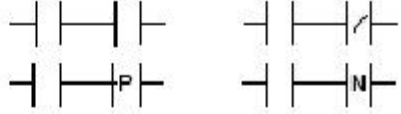
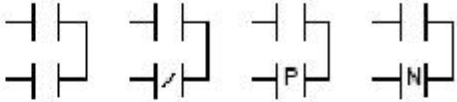
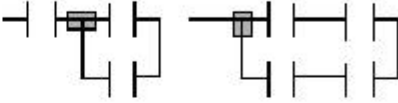
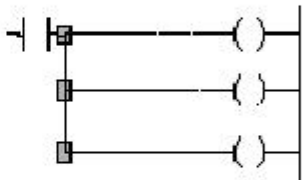
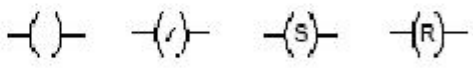
Designación	Gráfico	Funciones
Elementos de prueba	<ul style="list-style-type: none"> Bloques: Temporizador Contador Monoestable Registro Programador cíclico Drum 	<p>Cada bloque de función estándar utiliza entradas y salidas que permiten vincularlos a otros elementos gráficos. Las funciones de los bloques se describen en la sección B.</p> <p>Dimensión: véase el capítulo 2.2-5.</p>

Bloques de función DFB

Designación	Gráfico	Funciones
Elementos	<ul style="list-style-type: none"> Bloques 	<p>Cada uno de los bloques de función DFB utiliza entradas, salidas y entradas/salidas que permiten vincularlos a los otros elementos gráficos para los objetos de tipo bits o que puedan asignarse a objetos numéricos o tablas.</p> <p>Las funciones del bloque DFB se describen en el capítulo 6.</p> <p>Dimensiones: véase apartado 2.2-5</p>

Los bloques de función DFB no pueden utilizarse en los autómatas TSX37.

6.2 Elementos de Lista de instrucciones

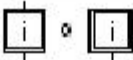









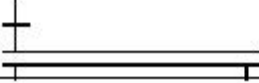
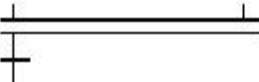
Designación	Instrucciones	Funciones equivalentes
Instrucciones de prueba	• LD, LDN, LDR, LDF	
	• AND, ANDN, ANDR, ANDF	
	• OR, ORN, ORR, ORF	
	• AND(, OR((8 niveles de paréntesis)	
	• XOR, XORN, XORR, XORF	O exclusiva
	• MPS MRD MPP	
• N	Negación	
Instrucciones de acción	• ST, STN, S, R	
	• JMP, JMPC, JMPCN	Permite una desviación (incondicional, condicionada a un resultado booleano a 1, condicionada a un resultado booleano a 0) a una instrucción etiquetada, arriba o abajo.
	• SRn RET, RETC, RETCN	Desviación en el inicio del subprograma. Regreso del subprograma (incondicional, condicionado a un resultado booleano a 1, condicionado a un resultado booleano a 0).
	• END, ENDC, ENDCN HALT	Fin de programa, (incondicional, condicionado a un resultado booleano a 1, condicionado a un resultado booleano a 0). Parada de la ejecución del programa.

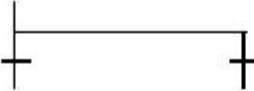
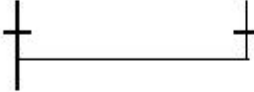



Los bloques de función DFB no pueden utilizarse en los autómatas TSX37.

Designación	Instrucciones	Funciones
Elementos de prueba	• Bloques: Temporizador Contador Monoestable Registro Programador	Para cada bloque de función estándar existen instrucciones que permiten controlarlo. Una forma estructurada permite "cablear" directamente las entradas/salidas de bloques.

Designación	Instrucciones	Funciones
Elementos de prueba OR[.....]	<ul style="list-style-type: none"> • LD[.....] • AND[.....] verifica el resultado.	Permite comparar 2 operandos (véase la sección B, capítulo 1.4-2), la salida pasa a 1 cuando se
	Ejemplo: LD[%MW10<1000]	El resultado es 1 cuando %MW10<1000.
Elementos de acción	<ul style="list-style-type: none"> • [.....] Ejemplo: [%MW10=%MW0+100]	Realizan operaciones aritméticas, lógicas... Utilizan la sintaxis del lenguaje literal estructurado (véase la sección B). El resultado de la operación %MW0+100 se coloca en la palabra interna %MW10.

6.3 Elementos de Grafcet

Designación	Símbolo	Funciones
Etapas iniciales	 o 	Simbolizan las etapas iniciales activas en principio de ciclo después de una inicialización o un arranque en frío.
Etapas simples	 ou 	Simbolizan un estado estable del automatismo. El número máximo de etapas es configurable: - de 1 a 96 para un TSX 37-10, - de 1 a 128 para un TSX 37-20 - de 1 a 250 para un TSX 57. El número máximo de etapas simultáneamente activas es configurable.
Macroetapas		Simboliza una macroetapa: conjunto único de etapas y transiciones. El número de macroetapas máximo se puede configurar de 0 a 63 para TSX 57 únicamente.
Etapas de macroetapas (1)	 ou   ou 	Simbolizan las etapas de una macroetapa. El número máximo de etapas para cada macroetapa puede configurarse: de 0 a 250 para TSX 57. Una etapa IN y OUT por macroetapa.
Transiciones		Permiten pasar de una etapa a otra. Una receptividad asociada a esta transición permite definir las condiciones lógicas necesarias para el alcance de esta transición. El número de transiciones máximo es de 1024, y no es configurable. El número máximo de transiciones simultáneamente válidas es configurable.
Divergencias en Y		Transición de una etapa hacia varias etapas: permite activar simultáneamente máximo 11 etapas.
Convergencias en Y		Transición de varias etapas hacia una sola etapa: permite desactivar simultáneamente máximo 11 etapas.

Designación	Símbolo	Funciones
Divergencias en O		Transición de una etapa hacia varias etapas: permite realizar un encaminamiento hacia máximo 11 etapas.
Convergencias en O		Transición de varias etapas hacia una sola etapa: permite realizar un fin de encaminamiento desde máximo 11 etapas
Remisiones de origen		n° es el número de la etapa de donde se viene (etapa de origen).
Remisiones de destino		'n' es el número de la etapa de adonde se va (etapa de destino).
Enlaces orientados: <ul style="list-style-type: none"> • hacia arriba • hacia abajo • hacia la derecha o la izquierda 		Estos enlaces permiten realizar un encaminamiento, un salto de etapas, una reanudación de etapas (secuencia).

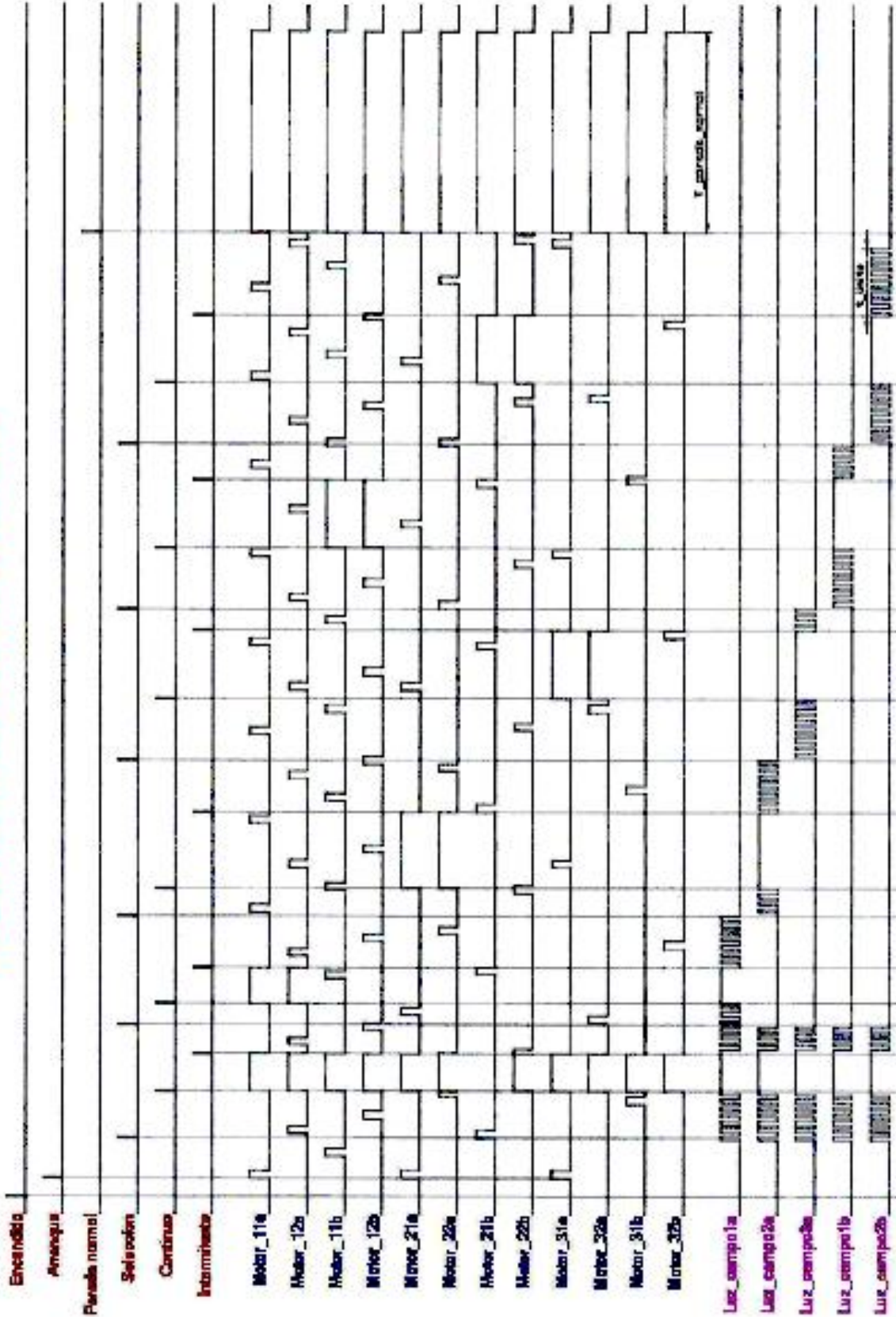
ANEXO 11

DIAGRAMAS DE TIEMPO

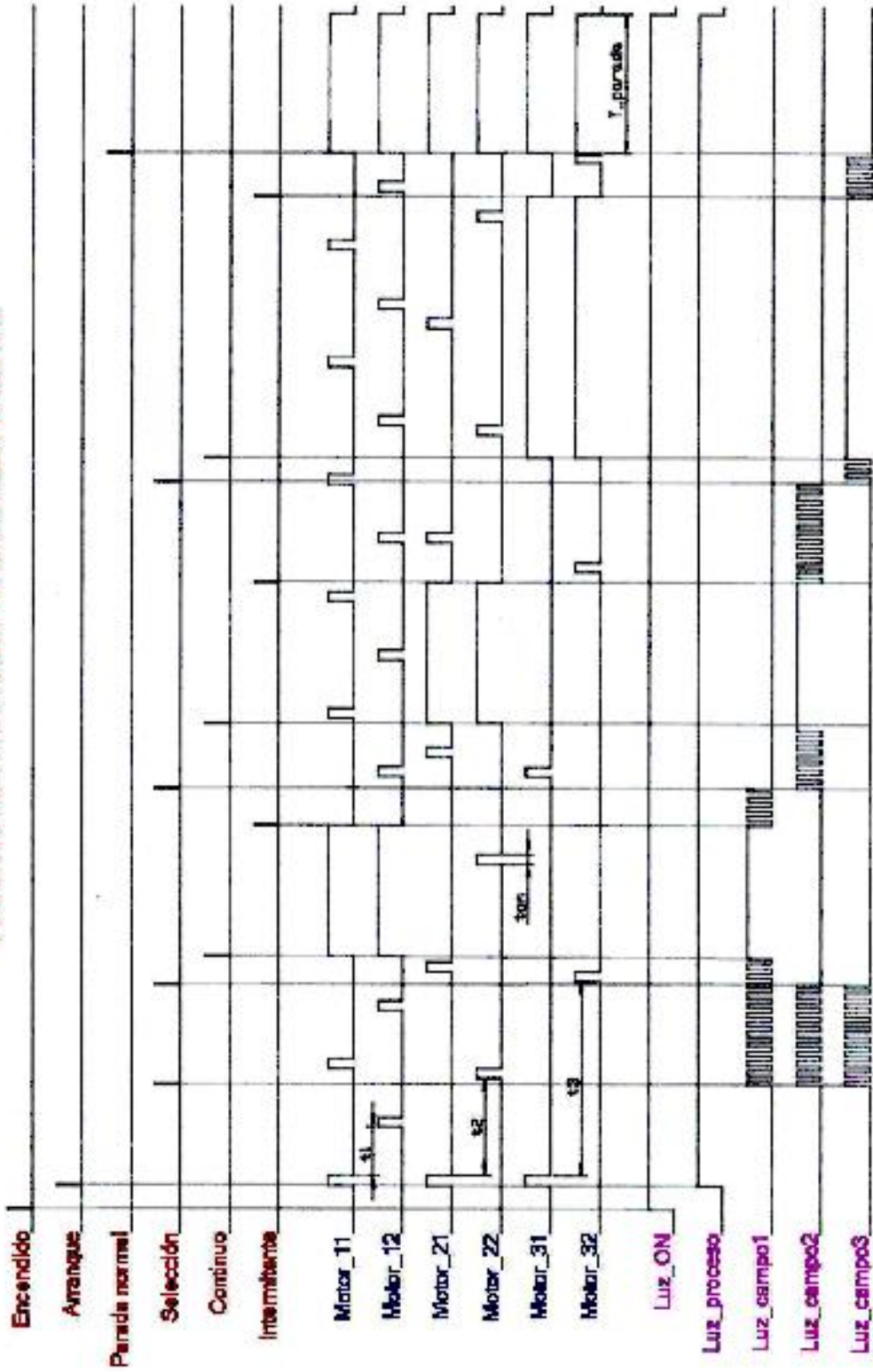
Los diagramas de tiempo diseñados para los dos proyectos se listan a continuación y se muestran en el mismo orden:

1. Funcionamiento principal martilleo unidad II
2. Funcionamiento principal martilleo unidad III
3. Funcionamiento para detectores de movimiento inductivos
4. Funcionamiento para fallos en detección de movimiento motores del campo 1
5. Funcionamiento para fallos en detección de movimiento motores del campo 2
6. Funcionamiento para las señales de sobrecarga
7. Funcionamiento para las señales de energización de los motores
8. Línea de tiempo modo normal
9. Línea de tiempo durante el proceso
10. Línea de tiempo modo ajuste

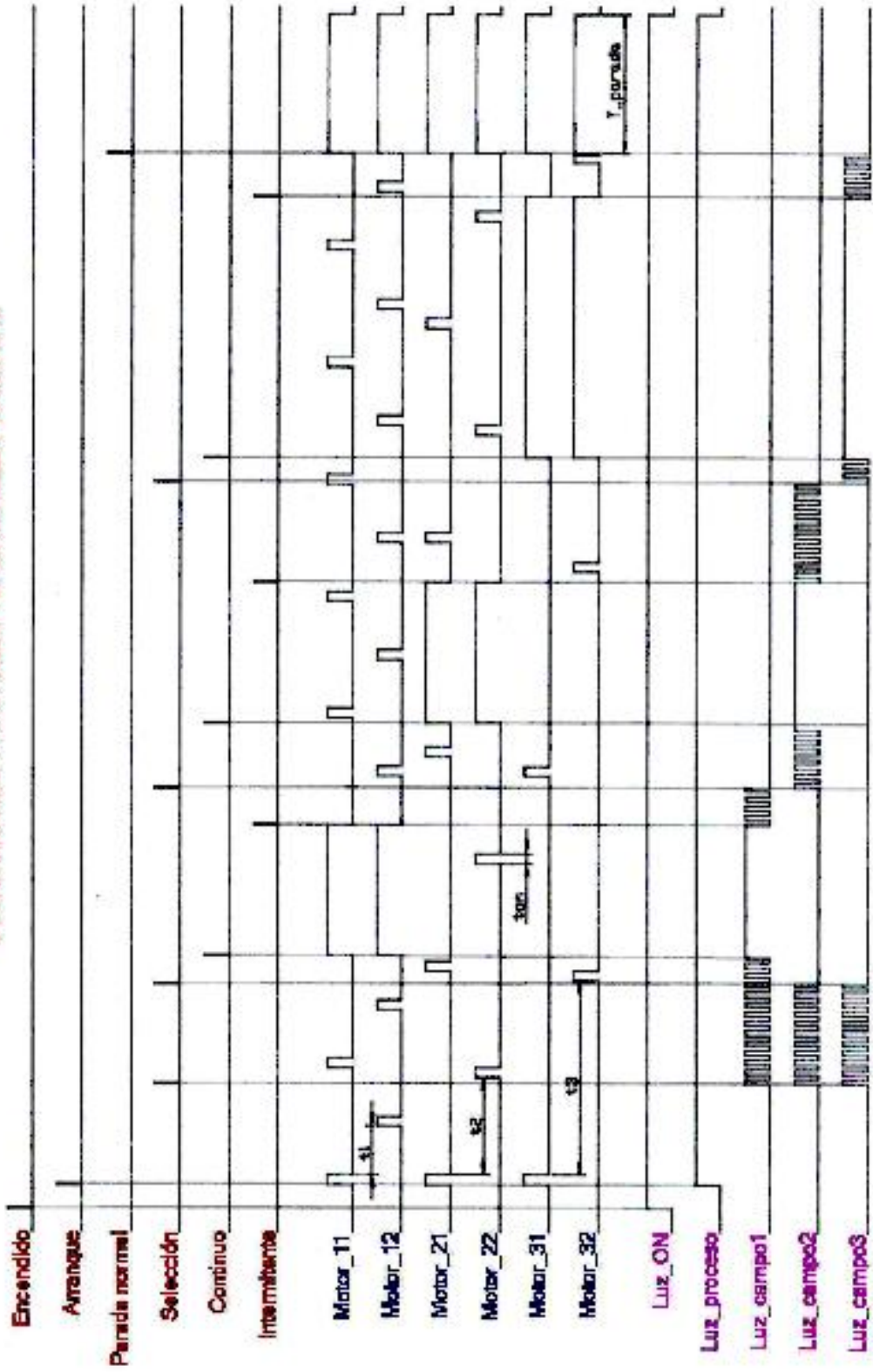
FUNCIONAMIENTO PRINCIPAL MARTILLO UNIDAD II



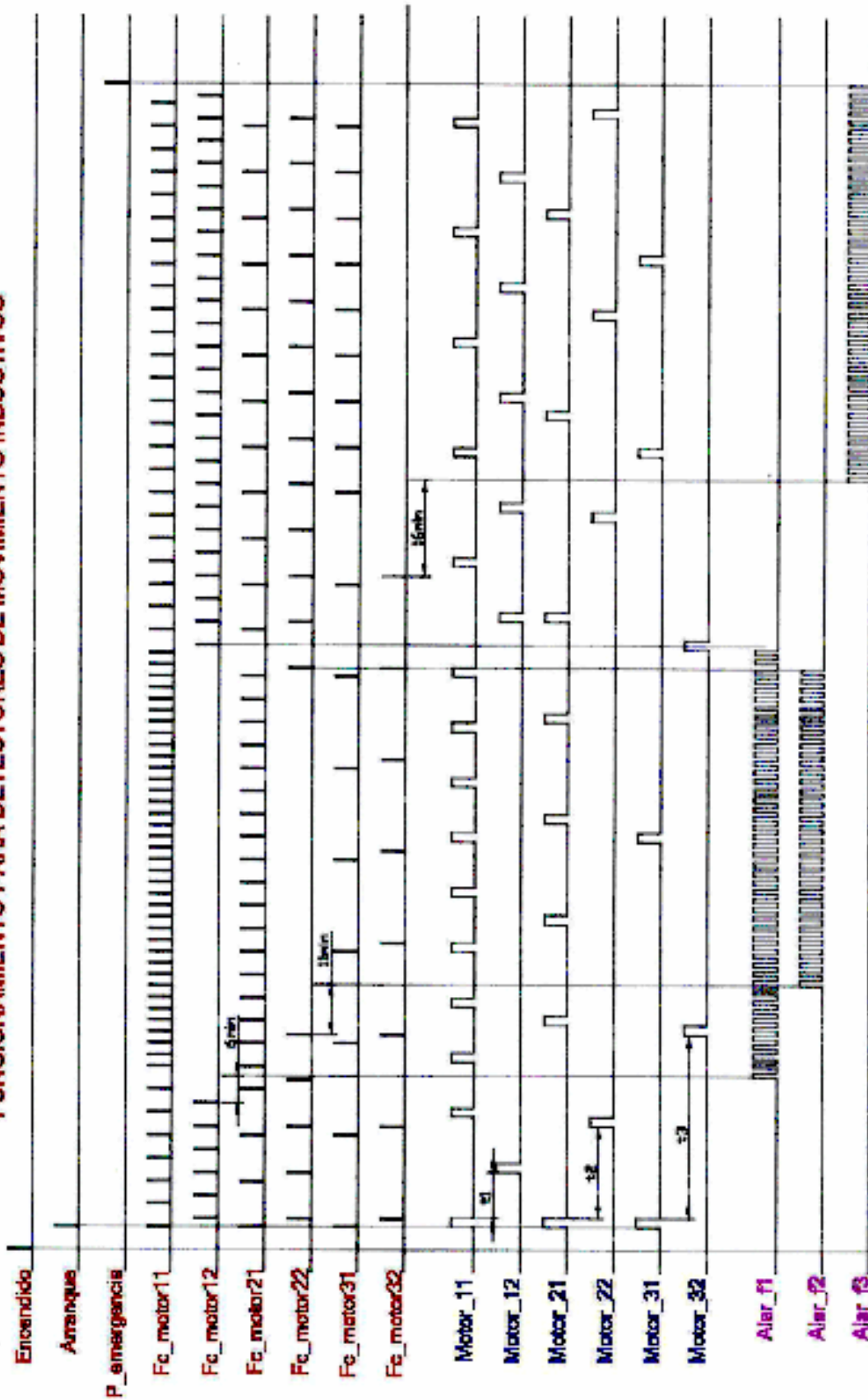
FUNCIONAMIENTO PRINCIPAL MARTILLO UNIDAD III



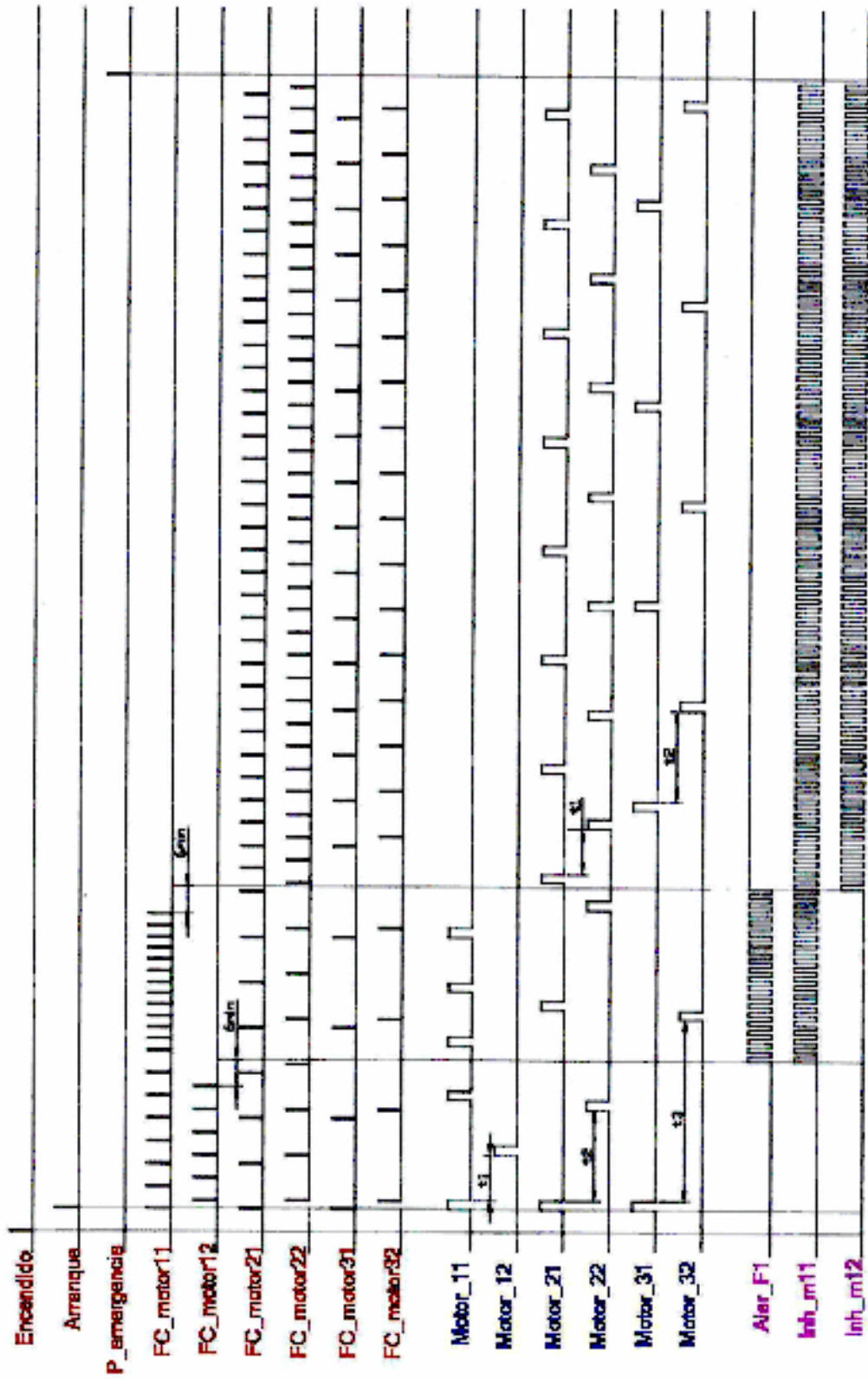
FUNCIONAMIENTO PRINCIPAL MARTILLO UNIDAD III



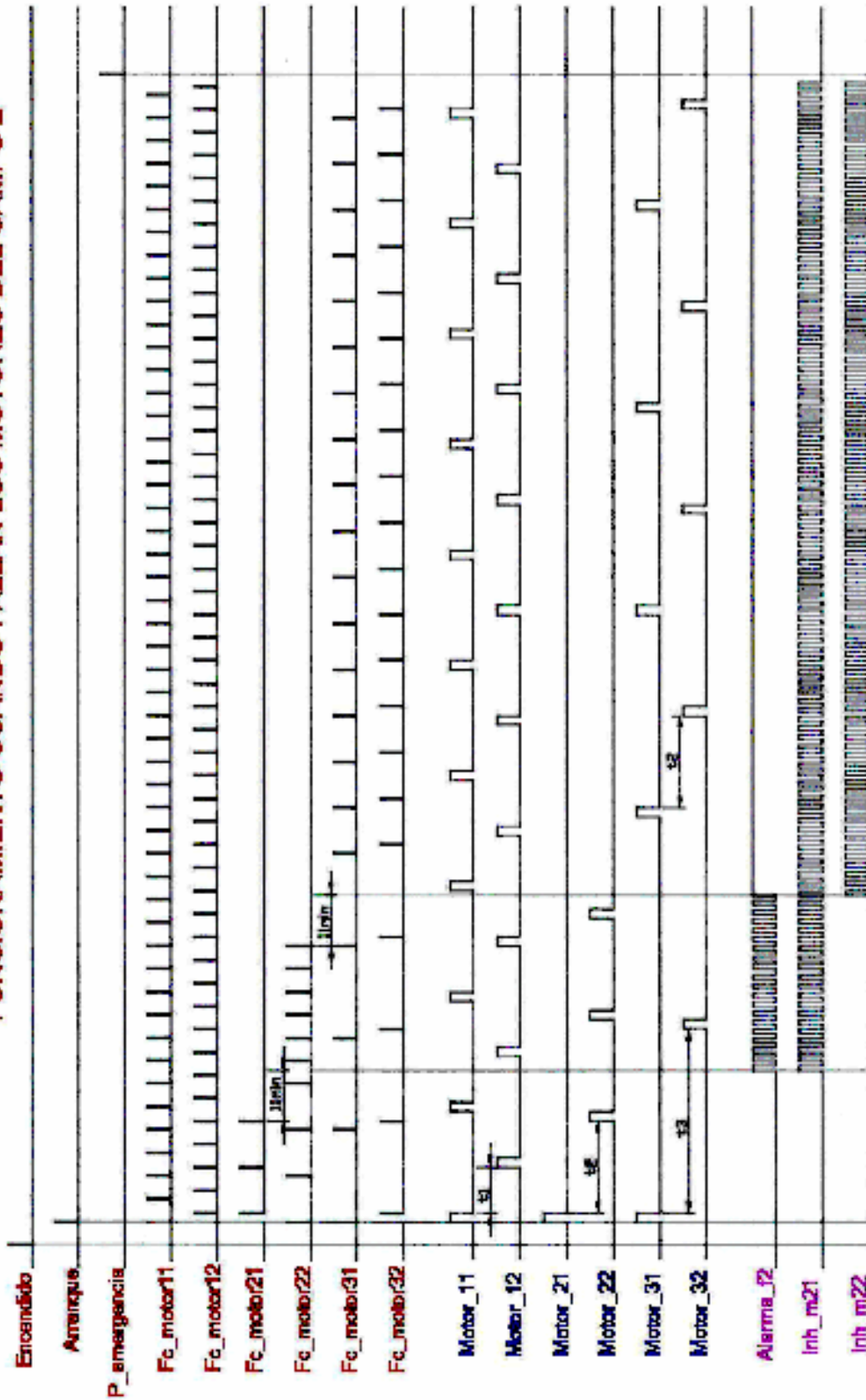
FUNCIONAMIENTO PARA DETECTORES DE MOVIMIENTO INDUCTIVOS



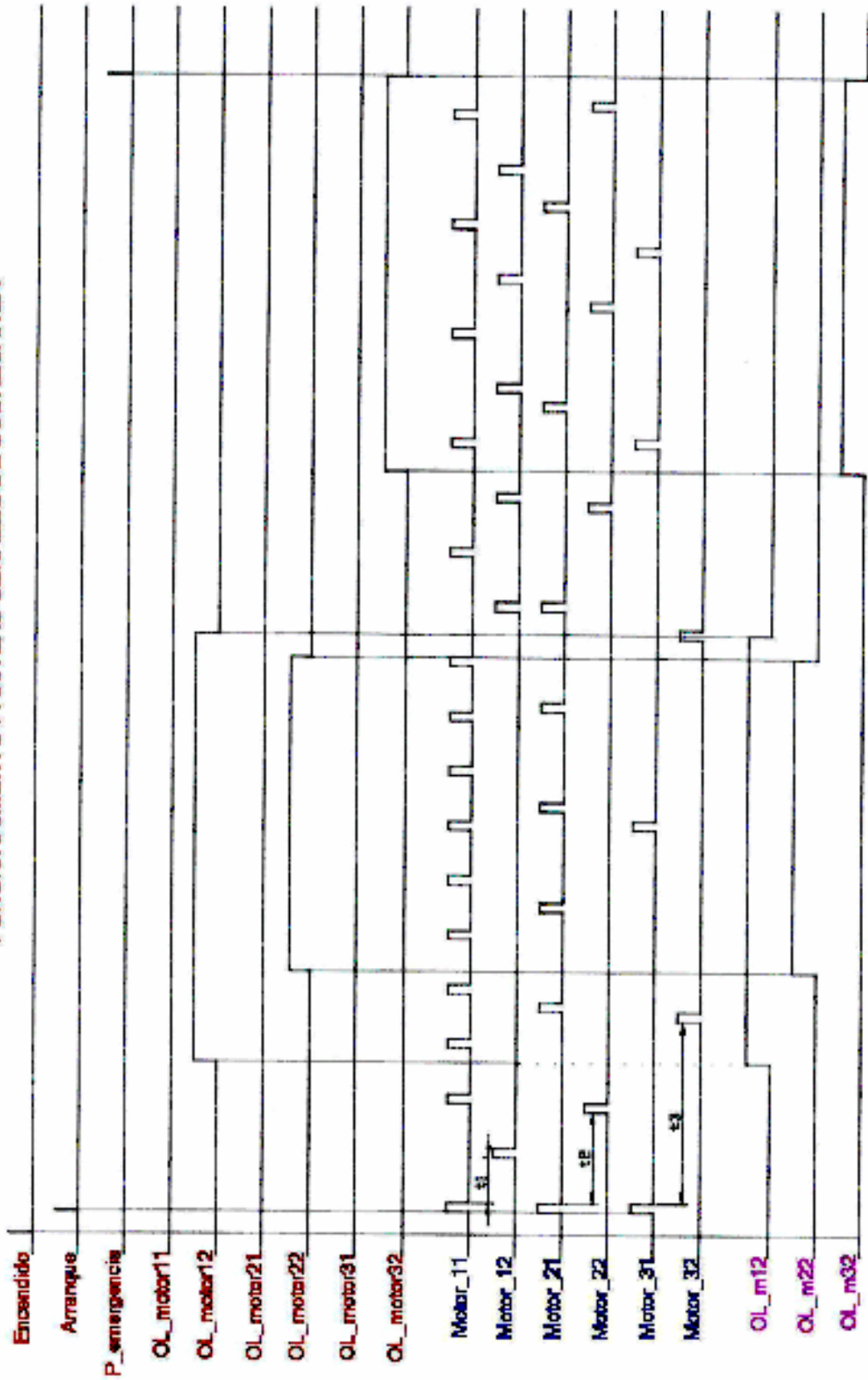
FUNCIONAMIENTO PARA FALLO EN DETECCION DE MOVIMIENTO, MOTORES DEL CAMPO 1



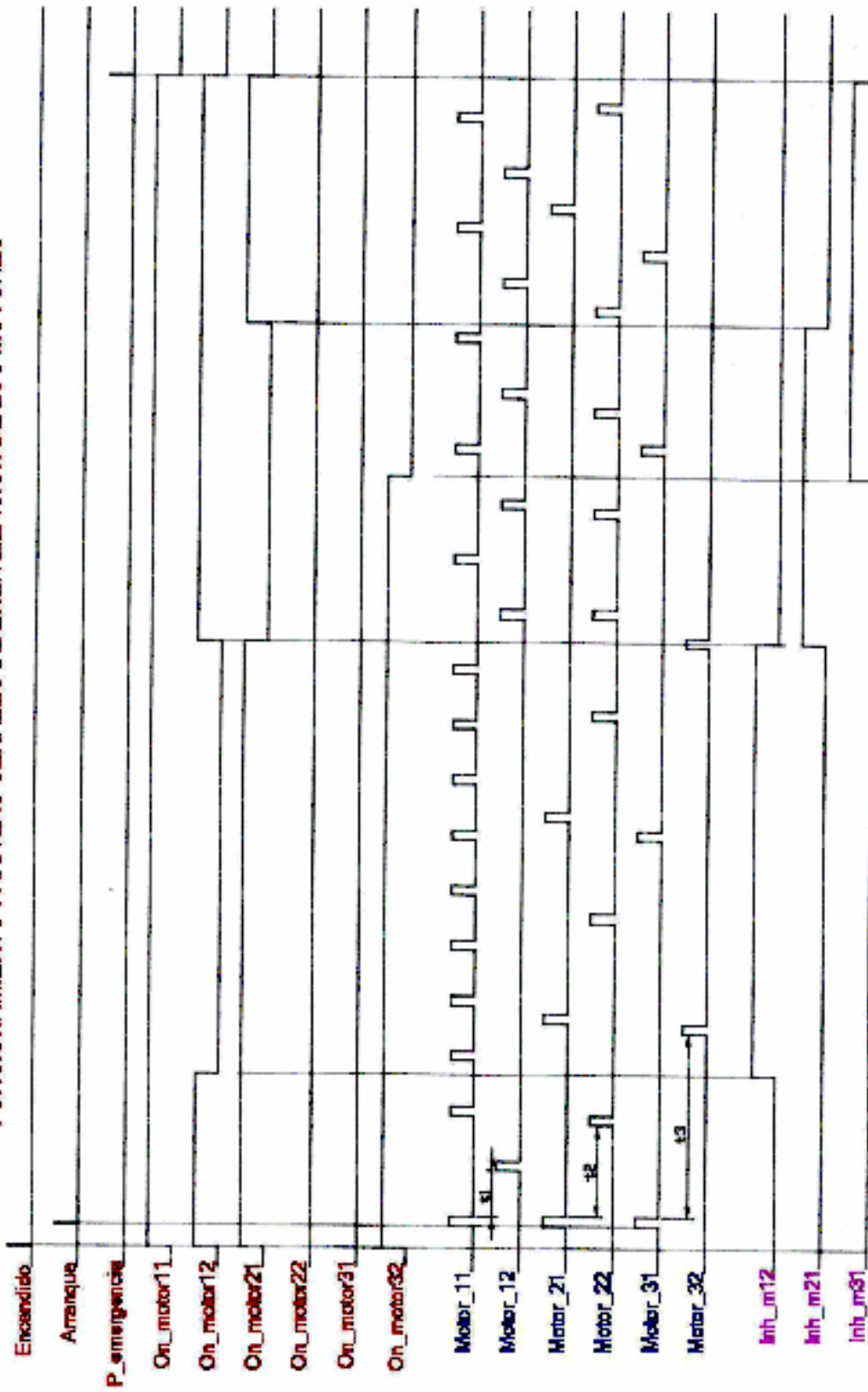
FUNCIONAMIENTO CUANDO FALLAN LOS MOTORES DEL CAMPO 2



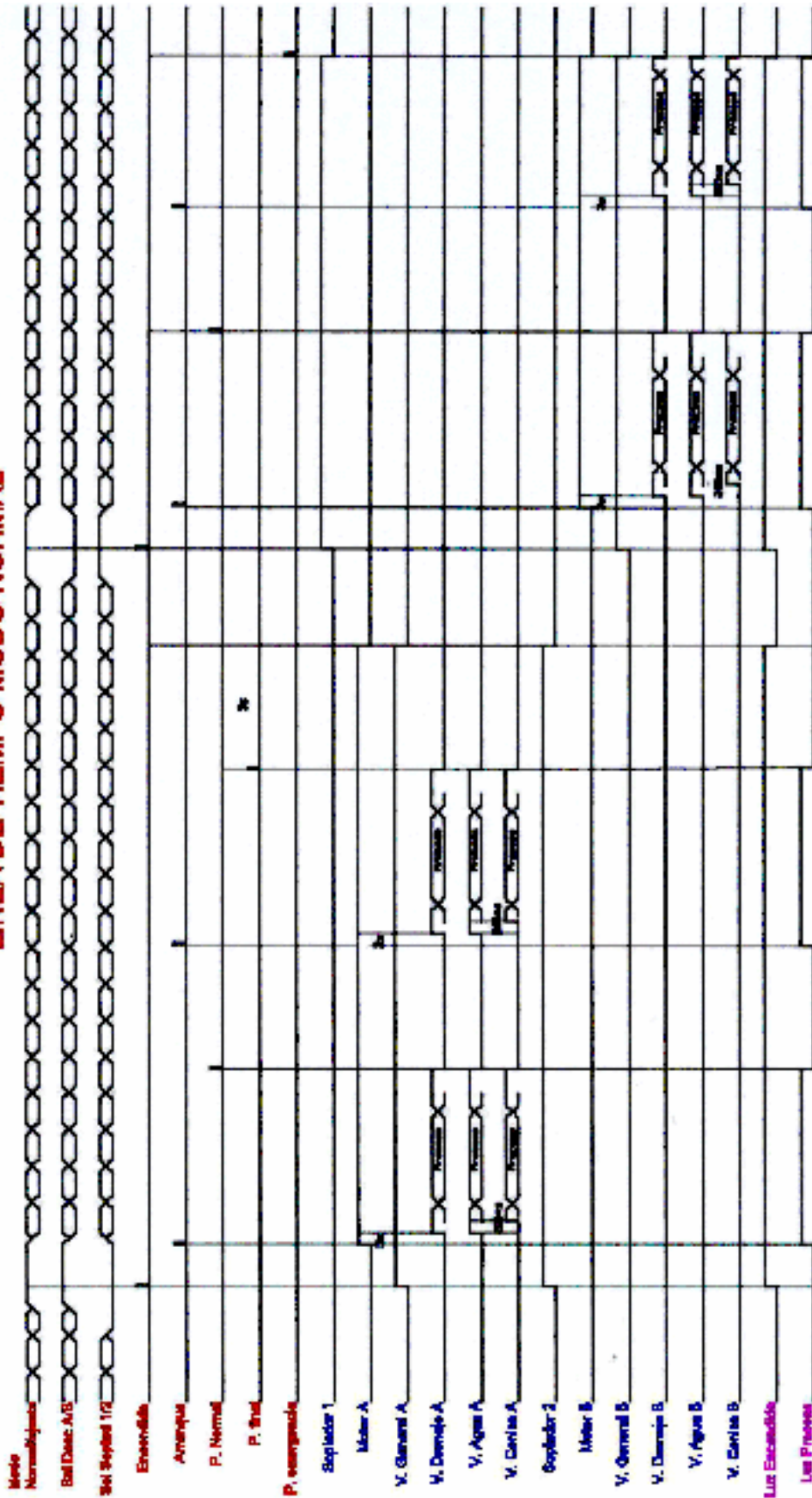
FUNCIONAMIENTO PARA LAS SEÑALES DE SOBRECARGA



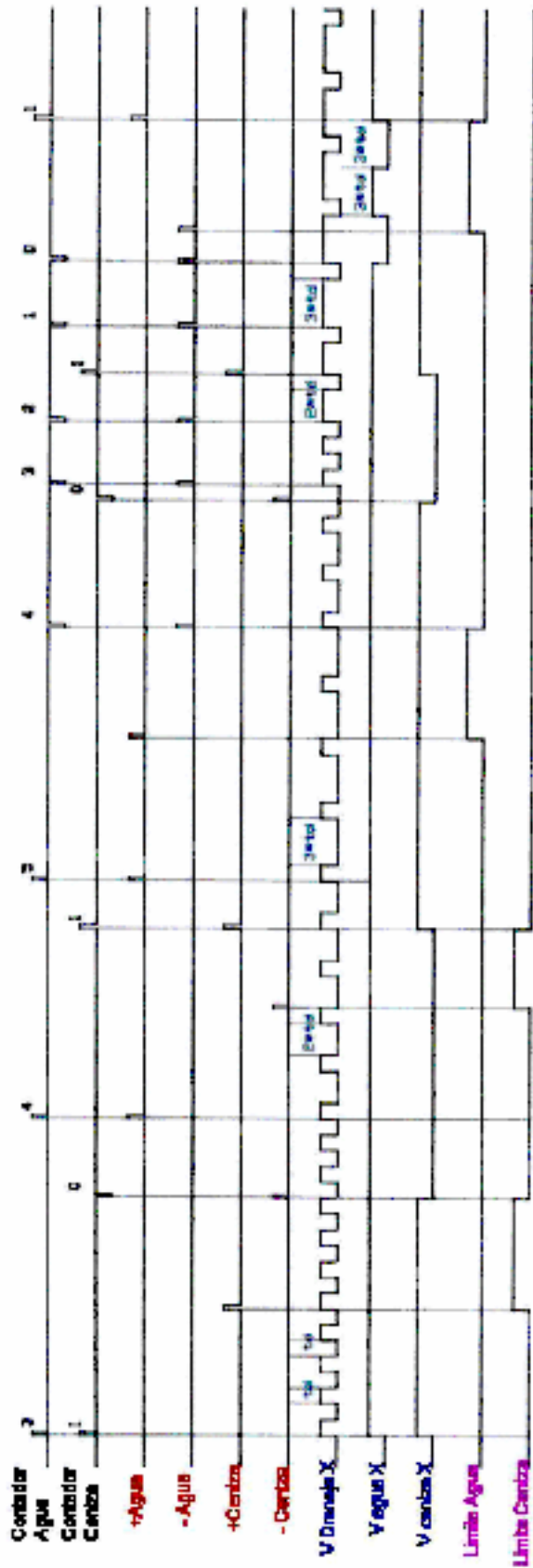
FUNCIONAMIENTO PARA LAS SEÑALES DE ENERGIZACIÓN DE LOS MOTORES



LINEA DE TIEMPO MODO NORMAL



LINEA DE TIEMPO DURANTE EL PROCESO



LINEA DE TIEMPO MODO AJUSTE

