

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA,
AUTOMATIZACION Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL
TÍTULO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
ALARMEROS INTELIGENTES PARA LAS
ESTACIONES DEL SISTEMA PAPALLACTA
INTEGRADO DE LA EMAAP-Q”**

DIEGO HERNÁN PEÑA MACANCHIT

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “Diseño e Implementación del Sistema de Alarmeros Inteligentes para las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado de la EMAAP-Q” ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Diego Hernán Peña Macanchit, bajo nuestra dirección.

Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR

Ing. Evelio Granizo
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por la felicidad y las bendiciones que he recibido en mi vida, por permitirme alcanzar uno de mis sueños, el culminar la carrera de Ingeniería Electrónica.

A mis Padres Jorge y Piedad y a mi Hermana Sandra, que han sido mi apoyo, que con sacrificios, mucho amor y sobre todo paciencia han permitido la culminación de este objetivo.

A Lidia mi enamorada, que con su amor, ayuda y comprensión ha facilitado el cumplimiento de mis metas.

Al Ing. Juan Carlos Romero, Ing. Santiago Aguilar, Ing. Silvia Moncayo, Tlgo. Marco Rosero y a todas las personas que trabajan en el Departamento de Sistemas Especiales y Conducciones de la Planta de Bellavista de la EMAAP-Q, a los cuales considero mis amigos, de los que he recibido siempre un completo apoyo.

Al Ing. Hugo Ortiz y al Ing. Evelio Granizo director y codirector de mi tesis, quienes me entregaron todo el apoyo necesario durante el proceso de desarrollo del presente proyecto.

Agradezco finalmente a mis familiares, amigos y maestros quienes han sido los participes de que mi carrera llegue a feliz término.

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a dos personas en especial, los cuales con su compañía, preocupación, apoyo y cariño me han dado la fuerza necesaria para salir adelante día a día.

Mis padres.

A Mi Querido Padre Jorge

Gracias a su trabajo y esfuerzo he logrado culminar satisfactoriamente mi carrera, gracias por ser el mejor ejemplo que he podido tener y por ser un gran padre.

A Mi Querida Madre Piedad

Gracias por todos los cuidados, amor, cariño y comprensión brindados, porque siempre creyó, confió en mí y luchó para que yo lograra este objetivo.

Diego Hernán Peña Macanchit.

PRÓLOGO

El poseer sistemas ágiles y modernos que permitan una adecuada gestión de la información dentro de un proceso se ha convertido en una necesidad prioritaria en la industria. El presente proyecto describe todos los pasos necesarios para el diseño y la implementación de un sistema que gestiona de forma inteligente las señales de alarma en las Estaciones Elevadora, Booster I, Booster II y Recuperadora de Energía del Sistema Papallacta Integrado perteneciente a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Quito.

En el primer capítulo se describe el entorno donde se desarrollará el proyecto, es decir la geografía y características propias del Sistema Papallacta Integrado, el segundo capítulo contiene el soporte teórico en el que se fundamenta el Sistema de Alarmeros Inteligentes, en el tercer capítulo se dimensiona el hardware a utilizarse, en el cuarto capítulo se diseña y programa los equipos, las interfaces HMI SCADA y los paneles táctiles de operador, en el quinto capítulo se presenta la implementación del sistema, en el sexto capítulo se describen las pruebas y resultados. Finalmente el séptimo capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones vertidas dentro del desarrollo de todo el proyecto.

ÍNDICE

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA PAPALLACTA INTEGRADO DE LA EMAAP-Q

	Página
1.1.- Introducción.	1
1.2.- Sistema Papallacta Antiguo.	3
1.2.1.- Tomas y Sistemas de Pretratamiento.	3
1.2.2.- Sistema de Conducción.	4
1.2.3.- Estación Elevadora.	5
1.2.4.- Estación Booster I.	6
1.2.5.- Estación Booster II.	6
1.2.6.- Túnel.	7
1.2.7.- Estación Recuperadora.	8
1.2.8.- Línea de Alta Tensión.	10
1.2.9.- Planta de Tratamiento.	11
1.3.- Optimización del Sistema Papallacta.	11
1.4.- Sistema de Control del Sistema Papallacta Integrado.	13
1.4.1.- Operación Automática del Sistema.	16
1.4.2.- Control de Caudal a la Salida del Túnel.	16
1.4.3.- Control del Caudal a la Salida de la Pileta de Recuperadora.	18
1.4.4.- Interfase de Operador.	19
1.4.5.- PLC de Máquina SCHORCH.	21
1.4.6.- Interacción del PLC SCHORCH.	22
1.4.7.- Sistema de Comunicaciones del Sistema Papallacta Integrado.	23

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

2.1.-	Control de Procesos Mediante PLCs.	29
2.1.1.-	Definición de un Autómata Programable.	29
2.1.2.-	Estructura Básica.	30
2.1.3.-	Procesador.	31
2.1.4.-	Memoria.	31
2.1.5.-	Entradas/Salidas.	32
2.1.6.-	Bus.	33
2.1.7.-	Alimentación.	33
2.1.8.-	Ciclo de SCAN.	34
2.1.9.-	Funcionamiento de un PLC	35
2.1.10.-	Arquitectura del PLC.	37
2.1.11.-	Lenguajes de Programación de los PLCs.	38
2.1.12.-	Criterios para la Selección de un PLC.	40
2.2.-	Monitoreo a través de Pantallas de Toque.	42
2.2.1.-	Pantallas Táctiles o “Touchscreen”.	42
2.2.2.-	Paneles de Operador (OP).	44
2.3.-	Software SCADA y Diseño de HMIs.	46
2.3.1.-	Descripción General de un Sistema SCADA.	47
2.3.2.-	Características de un Sistema SCADA.	48
2.3.3.-	Prestaciones de un Sistema SCADA.	49
2.3.4.-	Componentes de Hardware de un Sistema SCADA.	50
2.3.5.-	Selección de un Sistema SCADA	52

CAPITULO 3

DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

3.1.-	Hardware para la Estación Elevadora	58
3.2.-	Hardware para la Estación Booster I	61
3.3.-	Hardware para la Estación Booster II	66
3.4.-	Hardware para la Estación Recuperadora	70
3.5.-	Hardware para la Simulación del PLC de Turbina	73

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

4.1.-	Programación de los Controladores Lógicos Programables.	89
4.1.1.-	Entorno de Programación del PLC Twido 40DRF	89
4.1.2.-	Entorno de Programación del PLC Premium 2634M	91
4.1.3.-	Entorno de Programación y Diseño de Pantallas para Panel de Operador de la Estación Elevadora	94
4.1.4.-	Entorno de Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA	95
4.2.-	Software para la Estación Elevadora	97
4.2.1.-	Programación de un PLC Twido 40DRF para la Estación Elevadora	97
4.2.2.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Panel Táctil de Operador de la Estación Elevadora	107
4.2.3.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA Correspondientes a la Estación Elevadora	114
4.3.-	Software para la Estación Booster I	120
4.3.1.-	Programación de un PLC Twido 40DRF para la Estación Booster I	120
4.3.2.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Panel Táctil de Operador de la Estación Booster I	121
4.3.3.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA Correspondientes a la Estación Booster I	137
4.4.-	Software para la Estación Booster II	142
4.4.1.-	Programación de un PLC Twido 40DRF para la Estación Booster II	142
4.4.2.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Panel Táctil de Operador de la Estación Booster II	143
4.4.3.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA Correspondientes a la Estación Booster II	154
4.5.-	Software para la Estación Recuperadora	154
4.5.1.-	Programación de un PLC Twido 40DRF para la Estación Recuperadora	154
4.5.2.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Panel Táctil de Operador de la Estación Recuperadora	163
4.5.3.-	Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA	

Correspondientes a la Estación Recuperadora	167
4.6.- Software para la Simulación del PLC de Máquina	172
4.6.1.- Programación de un PLC Premium 2634M para la Simulación Del PLC de Máquina.	172
4.6.1.1.- Programación correspondiente al control de la Turbina Pelton	185
4.6.1.2.- Programación correspondiente al control del Bypass	190
4.6.1.3.- Programación correspondiente al control del Sistema en modo de Prueba	194
4.6.2.- Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Panel Táctil de Operador correspondiente al PLC de Turbina	195
4.6.3.- Programación y Diseño de Pantallas HMI para el Sistema SCADA para el PLC de Turbina	196

CAPITULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

5.1.- Implementación del Sistema en la Estación Elevadora	201
5.2.- Implementación del Sistema en la Estación Booster I	204
5.3.- Implementación del Sistema en la Estación Booster II	206
5.4.- Implementación del Sistema en la Estación Recuperadora	208
5.5.- Implementación del Sistema para la Simulación del PLC de Turbina	210

CAPITULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

6.1.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Local	215
6.1.1.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Elevadora	215
6.1.2.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Booster I	217
6.1.3.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Booster II	218
6.1.4.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Recuperadora	219
6.2.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto	221
6.2.1.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Elevadora	221
6.2.2.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Booster I	222
6.2.3.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Booster II	223
6.2.4.- Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Recuperadora	224

6.3.-	Pruebas y Resultados de la Simulación en el Grupo	
	Turbina-Generador y Bypass	225
6.3.1.-	Pruebas y Resultados con Monitoreo Local del PLC de Máquina	225
6.3.2.-	Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto del PLC de Máquina	227
6.3.3.-	Comprobación de las secuencias de operación del PLC de Máquina	228

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.-	Conclusiones sobre el Sistema de Alarmeros	230
7.2.-	Conclusiones sobre el PLC de Simulación	231
7.3.-	Recomendaciones	232

ANEXOS		233
---------------	--	-----

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA PAPALLACTA INTEGRADO DE LA EMAAP-Q

1.1 Introducción ¹

La severa crisis por desabastecimiento de agua que sufrieron los habitantes de la ciudad de Quito, a mediados de la década de los 80 y la carencia de las fuentes cercanas, hizo volver los ojos a la región amazónica (zona oriental del país), en donde se dispone de una gran cantidad de fuentes naturales de agua. De este modo y luego de los análisis respectivos, se determinó que la población de Papallacta, ubicada tras la cordillera central de los Andes y distante unos 70 Km de la ciudad de Quito, era el sitio adecuado para implementar el sistema de captaciones de agua para luego conducirlos a la capital ².

El Sistema Papallacta inicia su construcción en el año de 1987, como un proyecto social emergente, para cubrir las necesidades de agua potable para una población de 1'500.000 habitantes de la ciudad de Quito. El caudal disponible para la ciudad de Quito en los años 1986 –1987 era de 2.89 m³/seg, mismo que no cubría las necesidades de la población, razón por la cual el Proyecto Papallacta pasaría a abastecer de un caudal adicional de 3 m³/seg.

Como se observa en la figura 1.1 la ejecución de este proyecto involucraba, la conducción de agua desde una zona de difícil topografía de la Cordillera Oriental, en el sector de la parroquia Papallacta cantón Quijos provincia del Napo superando alturas de más de 4.000 msnm. La fuente de abastecimiento del Sistema Papallacta inicial proviene de los ríos Blanco Chico, Tuminguina y Papallacta como se muestra en la figura 1.2 los cuales sumados aportan un caudal de 4.6 m³/seg.

¹ Información Recopilada de la Presentación del Sistema Papallacta Integrado Agua e Hidroelectricidad.

² Villagómez Antonio, Informe Sistema Papallacta Integrado, Quito Enero 2006.

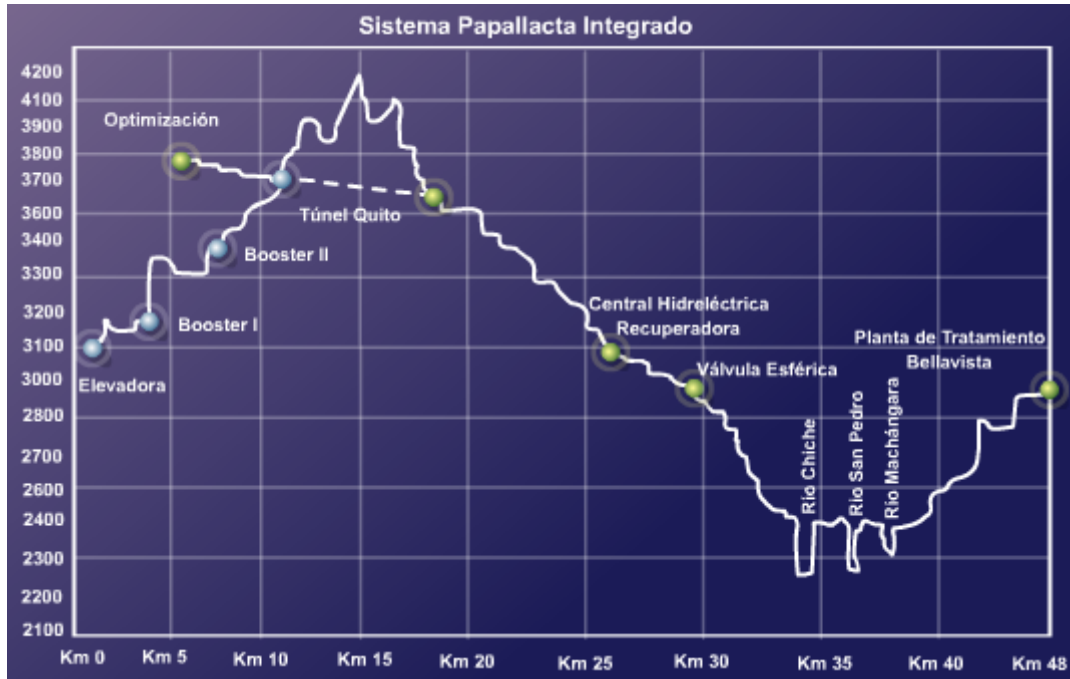


Figura 1.1 Ubicación del Sistema Papallacta Integrado



Figura 1.2 Captaciones Principales del Sistema Papallacta

- **Río Blanco Chico** con un caudal de $0.7 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- **Río Tuminguína** con un caudal de $2.2 \text{ m}^3/\text{seg}$.
- **Río Papallacta** con un caudal de $1.7 \text{ m}^3/\text{seg}$.

1.2 Sistema Papallacta Antiguo

El Sistema Papallacta entró en funcionamiento en el año 1990, para cubrir los requerimientos de agua del norte de la ciudad de Quito como se mencionó anteriormente la fuente de abastecimiento del proyecto proviene de los ríos Blanco Chico, Tuminguina y Papallacta que sumados reúnen un caudal de más de $3\text{m}^3/\text{seg}$.

El Sistema de transporte de las aguas se divide en tres tramos, siendo el primero de ellos el denominado de circulación forzada que, con una longitud de 7 Km y mediante el empleo de tres estaciones de bombeo o impulsión: Elevadora (3122 msnm), Booster No1 (3142 msnm), Booster No2 (3446 msnm) permite, a través de un acueducto de 48 pulgadas de diámetro, enviar las aguas desde la zona de pretratamiento, hasta la entrada del túnel de conducción de 6 Km de longitud y 8,81 m de sección circular, perforado en roca, donde las aguas circulan por gravedad, en forma de canal abierto.

El tercer y último tramo es una línea de circulación por gravedad, constituida por una tubería de acero de 48 pulgadas de diámetro la que, después de recorrer 35 Km, se conecta con planta de tratamiento de agua, la etapa a gravedad tiene como elemento fundamental a la estación Recuperadora de Energía (3110 msnm), la estación reguladora de caudal, desagües automáticos y tubería de conducción de 48 pulgadas, que permite llevar el agua hasta la planta de Bellavista (2975 msnm).

1.2.1 Tomas y Sistemas de Pretratamiento

Cada uno de los ríos mencionados, posee una toma con resolución de tipo lateral o de fondo y azudes para control de crecientes, con sistemas de decantación incorporados. Desde cada una de las tomas, el líquido es conducido por tuberías de 30, 48 y 75 pulgadas (según el río), hasta el sistema de pretratamiento que se compone de una cámara circular de llegada, (para la reunión de los caudales) un desarenador de hormigón armado y una reserva de agua cruda del mismo tipo de construcción, de 38.000 m^3 de capacidad.

Las características particulares de los diseños adoptados, se basaron en los estudios hidrológicos, hidráulicos, geológicos geotécnicos de cada uno de los cauces y de las zonas de implementación de las construcciones de pretratamiento.

1.2.2 Sistema de Conducción

La circulación de agua de la zona de pretratamiento hasta el portal de entrada del túnel de conducción, ubicado a 3.723 m sobre el nivel del mar, fue posible mediante la construcción de tres estaciones de bombeo, una elevadora vertical y dos reforzadoras. Cada estación posee cinco bombas que reúnen una potencia total de 30.350 KW y el acueducto de 48 pulgadas que interconecta cada una de las estaciones, se encuentra revestido interiormente con pintura epóxica y exteriormente con cinta de polietileno de baja densidad y posee un sistema de protección catódica.

El Sistema de Conducción o Transporte se divide en tres tramos:

El primer tramo conformado de tres estaciones de bombeo, en etapas que permiten mediante circulación forzada, en una longitud de 7 km y mediante una tubería de 48 pulgadas de diámetro, transportar las aguas pretratadas desde la pileta de la Estación Elevadora hasta la entrada del túnel de conducción superando un desnivel de 600 m.

El segundo tramo lo constituye un túnel de 6.1 km de longitud y 3.35 m de diámetro en el que circula el agua por gravedad en forma de canal abierto.

El tercer tramo comprende una línea de circulación por gravedad constituida por una tubería de acero de 48 pulgadas de diámetro, con espesores entre 0.25 pulgadas y 0.75 pulgadas. Inicia en la pileta de compensación de la Central Recuperadora y actualmente se deriva en tres secciones, una que culmina en la planta de tratamiento de Calluma en Pifo, la otra derivación destinada para el abastecimiento de agua para el nuevo Aeropuerto de Quito en Puenbo y la última que luego de un recorrido de 35 Km culmina en la Planta de Bellavista en Quito. En su recorrido se cuenta con una estación reguladora de caudal y tres desagües principales en los ríos Chiche, San Pedro y Machángara, en los que las presiones bordean los 1000 psi.

La etapa de impulsión permite elevar el agua desde la población de Papallacta hasta el ingreso al túnel Quito (3725 msnm), que tiene una longitud de 6 Km. Las Estaciones de Bombeo están conformadas de 5 grupos motor-bomba; de 500 Kw en la estación Elevadora y de 2800 Kw en las estaciones Booster No1 y No2. El voltaje de operación de las mismas es 6,6 KV.

1.2.3 Estación Elevadora

La trayectoria de agua se inicia en la Pileta de Estación Elevadora (3122 msnm) en la cual se encuentran ubicadas 5 bombas centrífugas verticales que impulsan el caudal hasta la Estación Booster I (3142 msnm). En la figura 1.3 se muestra la infraestructura de la estación Elevadora.



Figura 1.3 Estación Elevadora

Estación Elevadora datos Técnicos³

- Altitud: 3122 msnm
- Unidades Verticales de Bombeo: 5
- Potencia / unidad: 476 KW
- Voltaje Nominal: 6.6 KV, 60Hz , trifásico
- Velocidad: 900 rpm
- Caudal / Unidad: 750 lt/seg
- Pileta de Reserva: 34.000 m³
- Operación: Local y remota

³ Consorcio SCHORCH SULZER THYSEN, Anexo Proyecto Papallacta Estación Elevadora, Quito 18 de Mayo 1989

1.2.4 Estación Booster I

Estación Booster I (3142 msnm) equipada con 5 bombas centrífugas horizontales. Desde aquí se impulsa a la Estación Booster II (3416 msnm). En la figura 1.4 se muestra la infraestructura de la estación Booster I.



Figura 1.4 Estación Booster I

Estación Booster I datos Técnicos⁴

- Altitud: 3142 msnm
- Unidades Horizontales de Bombeo: 5
- Potencia/ unidad: 2800 KW
- Voltaje: 6.6 KV, 60Hz, trifásico
- Velocidad: 3600 rpm
- Caudal / Unidad: 750 lt/seg
- Subestación Eléctrica: 6.6 KV a 138 KV , 14.7 MW

1.2.5 Estación Booster II

La Estación Booster II (3416 msnm) esta equipada también con 5 bombas centrífugas horizontales que permiten llegar por bombeo hasta la Entrada al Túnel Quito (3725 msnm). En la figura 1.5 se muestra la infraestructura de la estación Booster II.

⁴ Consorcio SCHORCH SULZER THYSEN, Anexo Proyecto Papallacta Estación Booster I, Quito 18 de Mayo 1989



Figura 1.5 Estación Booster II

Estación Booster II datos Técnicos⁵

- Altitud: 3416 msnm
- Unidades Horizontales de Bombeo: 5
- Potencia/ unidad: 2800 KW
- Caudal / Unidad: 750 lt/seg.
- Subestación Eléctrica: 6.6 KV a 138 KV, 14.7 MW
- Voltaje/ unidad: 6.6 KV, 60Hz, trifásico
- Velocidad: 3600rpm
- Caudal / Unidad: 750 lt/seg.

1.2.6 Túnel:

El túnel de conducción perforado en roca, posee una pendiente de 0,1% y un diámetro de 3,35m. El perímetro del túnel se encuentra revestido de premoldeados de hormigón en su zona inferior, y con hormigón proyectado con armadura de acero en el resto del mismo.

⁵ Consorcio SCHORCH SULZER THYSEN, Anexo Proyecto Papallacta Estación Booster II, Quito 18 de Mayo 1989

Túnel Quito datos Técnicos

- A la Entrada del Túnel Quito (3725 msnm) culmina la etapa de impulsión, dando inicio a la etapa de conducción por gravedad; este túnel perforado en roca, posee una pendiente de 1/1000, un diámetro de 3.35m y una longitud de 6.1 Km.
- El perímetro del túnel se encuentra revestido con premoldeados de hormigón en su zona inferior, y hormigón proyectado con armadura de acero en el resto del mismo.
- Desde la salida del Túnel (3717 msnm) se encuentra instalado un tramo de 6 Km de tubería reforzada de 48 pulgadas que conecta a la Central Recuperadora de energía.

La central Hidroeléctrica Recuperadora instalada en el tramo a gravedad, tiene una potencia máxima de 14,7 Mw y su finalidad es recuperar parte de la energía que se requiere en el sistema de bombeo.

1.2.7 Estación Recuperadora⁶

Una central hidroeléctrica de recuperación de energía se ubicó a 3.109 m sobre el nivel del mar, en el tramo a gravedad del acueducto, de manera de posibilitar el aprovechamiento del salto disponible en el portal de salida del túnel, ubicado a 3.717 m sobre el nivel del mar. La potencia recuperada por el grupo turbina-generator es de 14,7 MW. Esta estación está compuesta por una turbina Pélton de eje horizontal y un generador sincrónico trifásico de 720 RPM y se completa con una estación reductora de presión, que actúa en los momentos de paralización de la central. En la figura 1.6 se muestra la infraestructura de la estación Recuperadora.

La Central Hidroeléctrica de Recuperación de energía se ubica a 3110 msnm, y aprovecha el tramo a gravedad de 607 m de altura (aproximadamente: 882 psi de presión), desde el portal de salida del Túnel Quito, ubicado a 3717 msnm.

⁶ Informe Técnico sobre la Revisión y Mantenimiento Mayor Realizada en Julio-99 en la Turbina-Alternador de La Central Hidroeléctrica, Propiedad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Quito-Ecuador.



Figura 1.6 Estación Recuperadora

La potencia instalada del grupo es de 14.7 MW compuesta por una turbina Pélton de eje horizontal, un generador sincrónico trifásico de 720 RPM y un sistema by-pass. Este último en un ramal paralelo a la turbina hidráulica se halla instalada una válvula reductora de presión tipo polyjet. Por requerimientos de mantenimiento ó debido a salidas de operación del grupo turbina generador, sea por causas internas ó externas, automáticamente ingresa a operar el ramal disipador evitando la suspensión del abastecimiento de agua a la Planta Bellavista.

Generador Datos Técnicos

- Potencia : 14.76 MW
- Velocidad de Rotación : 720 rpm
- Año de fabricación : 1989
- Fabricante : Schorch – Alemania

Turbina Datos Técnicos

- Altura Bruta: 634.9 m
- Altura Neta: 606.9 m
- Número de Inyectores: 3
- Diámetro Medio del Rotor Di: 1270mm
- Número de Alabes: 21
- Diámetro Exterior del Rotor Da: 1603mm
- Velocidad de Rotación : 720 rpm
- Sentido de Giro: Contra las agujas del reloj.

- Caudal: $3\text{m}^3/\text{seg}$.

Bypass

- Válvula de Contención
- Válvula Mariposa
- Válvula Disipadora
- Caudal : 3m^3

Pileta de Compensación

- Capacidad : 450m^3

Subestación Eléctrica

- 6.6 Kv a 138 Kv

1.2.8 Línea de alta tensión

Tanto las estaciones de bombeo como la central hidroeléctrica se hallan eléctricamente interconectadas por una línea de alto voltaje de 138.000 voltios, directamente al “Sistema Nacional Interconectado”. Naturalmente, cada estación dispone de su respectiva subestación de transformación como se puede ver en la figura 1.7, las cuales sirven para el acoplamiento a la línea de transmisión de energía.



Figura 1.7 Subestaciones

El abastecimiento del fluido eléctrico que permite el funcionamiento de cada una de las estaciones de bombeo, se realiza a través de una línea de alta tensión de 138 Kv y 60 Hz que, a lo largo de 54 Km, une las localidades de Santa Rosa y Papallacta. A esta misma línea se vuelca la energía recuperada por la central hidroeléctrica, con el objeto de disminuir el consumo de la subestación de origen.

El Sistema de alimentación se completa con tres subestaciones transformadoras de 18MVA cada una, una estación recuperadora de energía y un Sistema de Adquisición de Datos y Control (SCADA).

1.2.9 Planta de Tratamiento

El tratamiento de las aguas se efectúa en una planta que tiene una capacidad de proceso de 3.000 l/seg. El sistema se compone de: reserva de agua cruda de 64.000 m³, dispersor para agregado de productos químicos, 4 clarificadores a contacto de barros de 845 m² de sección, 10 filtros dobles con manto de arena y un área de filtración de 175 m² cada uno. Todo esto se complementa con la Casa Química de 2.800 m² de construcción en tres plantas, el edificio para almacenamiento de cloro, la subestación transformadora y las áreas de servicios. Además, se han construido edificios destinados a mantenimiento, laboratorios de ensayos, áreas de administración y sistemas de control central para todo el sistema.

1.3 Optimización del Sistema Papallacta

El alto costo que tiene el consumo de energía para el bombeo, la disponibilidad de agua en las cuencas altas de Papallacta y la posibilidad de construir una reserva de agua cruda que permita la regulación en la provisión de agua y consecuentemente en la generación de energía eléctrica, llevaron a concebir el proyecto para el suministro de agua a gravedad, conocido como optimización de Papallacta.

Como se observa en la figura 1.8 la Optimización Papallacta tiene como componente fundamental el Embalse Salve Faccha con un volumen útil de 10'500.000 m³ un caudal regulado de 600 l/s, el dique Mogotes con un caudal regulado de 400 l/s con una capacidad del embalse de 4'500.000 m³ y la laguna Sucus con una capacidad de 1'500.000 m³. A lo largo de la tubería de conducción de acero de 33 Km aproximadamente con 48 pulgadas de diámetro, se incorporan las denominadas captaciones secundarias: Quillugsha No2, Quillugsha No3, Chalpi, Guaytaloma, Gonzalito, el Glaciar, Vikingos y el Venado, los túneles Guaytaloma y Baños 33 Km con una de línea de conducción de agua en tubería de acero entre 48 y 16 pulgadas.

El Sistema de Optimización cuenta con otras dos reservas de agua: el Dique Mogotes y la Lagunas Sucus, que en conjunto pueden almacenar $5'000.000 \text{ m}^3$, los cuales se incorporan a la conducción principal, la misma que finaliza en la entrada al túnel Quito, en donde confluyen los aportes del Sistema de Bombeo de Papallacta.



Figura1.8 Papallacta Optimización

Con el ingreso del proyecto Optimización del Sistema Papallacta en 1998, se aumentó el caudal por gravedad, permitiendo en la actualidad recuperar toda la energía requerida en el bombeo y además comercializar los excedentes en el marco del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) del cual la EMAAP-Q es agente.

Una característica importante de la Optimización Papallacta, es la reserva de agua cruda que pueden almacenarse en sus represas, esto hace que se disponga de una regulación mensual, hecho importante tanto para garantizar el abastecimiento de agua así para la generación eléctrica.

Estos embalses además constituyen las reservas estratégicas de agua para la ciudad de Quito. El caudal regulado de Optimización es de 1600 l/s , además el Sistema Papallacta Integrado tiene asociadas a las plantas de tratamiento de Bellavista en Quito y Calluma en Pifo.

1.4 Sistema de Control del Sistema Papallacta Integrado⁷

Para el control centralizado de toda la operación del acueducto, incluidas las estaciones de bombeo y recuperadora, se emplea un sistema SCADA (Sistema de Adquisición de Datos y Control) que interconecta cada uno de los puntos de control, mediante una red de área Amplia WAN que envía todos los datos de cada una de las estaciones a la estación central de Quito como se puede ver en la figura 1.9, ubicada en el edificio de la Planta de Tratamiento de Agua en Bellavista.



Figura 1.9 Terminales SCADA Bellavista

El Control se lo realiza mediante un Sistema SCADA basado en la herramienta de diseño desarrollada por Wonderware Intouch en la versión 9.0. La estación central de monitoreo ubicada en la Planta de Bellavista esta compuesta por, una base de datos, dos servidores, una estación de usuario, y una estación de ingeniería. Además las estaciones Elevadora, Booster I, Booster II y Recuperadora cuentan con terminales SCADA, así como también paneles táctiles de operador que les permiten gestionar y visualizar parámetros propios de cada estación.

Las unidades de monitoreo cuentan con pantallas gráficas HMI de fácil navegación para el usuario, proporcionando estatus del sistema, variables del proceso en tiempo real, históricos, totalizadores y registros de datos.

⁷ EMAAP-Q, Curso de Capacitación sobre el Sistema Papallacta, Capitulo #3 1995.

El Sistema Papallacta Integrado puede funcionar tanto en modo de control local como remoto, desde el centro de control Bellavista, mediante el sistema control (SCADA) que permite monitorear y visualizar 24 horas al día los parámetros hidráulicos, eléctricos, mecánicos y el estado de los equipos, optimizando así el proceso de abastecimiento de agua a la ciudad de Quito.

La unidad SCS (sistema de control de estación) de Recuperadora y la unidad ubicada en correspondencia con la válvula esférica, además de la tarea de adquisición de datos, realiza la acción de control y está constituida por el PLC SCADA el cual cumple las siguientes funciones y cuenta con varios dispositivos como:

- 1) Adquisición de datos e informaciones:
 - a) Desde el campo.
 - b) Desde el centro SCADA Bellavista.
 - c) Desde el PLC SCADA ubicado a la salida del Túnel.
 - d) Desde el controlador programable ubicado en correspondencia al de la válvula esférica.
- 2) Envío de los siguientes datos e informaciones:
 - a) Al centro SCADA.
 - b) Al controlador programable ubicado en correspondencia al de la válvula esférica.
 - c) Al controlador de caudal (FIC-400).
- 3) Ejecución de funciones especiales:
 - a) La suma de tamaños analógicos caudales y niveles.
 - b) Función rampa.
- 4) Instrumento sumador de tamaños analógicos.
- 5) Controlador de Caudal FIC-400.
- 6) Controlador de nivel LIC-400.
- 7) Controlador de nivel LIC-500.
- 8) PLC de máquina SCHORCH.
- 9) Conjunto turbina-generador y válvula disipadora.

El PLC SCADA de Recuperadora recibe los siguientes datos:

- 1) Medida de nivel de agua, en la zona de acumulación del túnel, para transmitirla al LIC-400.

- 2) Caudal a la entrada de la Estación.
- 3) Caudal a la salida de la Estación Booster II. Esta medida es transmitida al centro SCADA y llegará a la Recuperadora con el atraso respecto al instante de la lectura.
- 4) Medida del nivel del agua en la pileta de descarga de la Estación.
- 5) Medida del nivel en el área del túnel procesada por el LIC-400.
- 6) Medida del nivel en la pileta de descarga de la Estación procesada por el LIC 500 y calcula el set-point de caudal para el FIC-400 sumando la medida de caudal de ingreso en el túnel y la medida de nivel enviada por el LIC-400.

La corrección del SET POINT de caudal con la medida de nivel, es dictada por la necesidad de reducir las variaciones de nivel debidas a los inevitables errores de los medidores de caudal. Estos errores de hecho, impedirán registrar iguales caudales de agua a la entrada, y salida del túnel, con las consiguientes variaciones de nivel del agua en el mismo túnel.

El set-point de caudal así calculado es tratado con la función rampa, para evitar variaciones bruscas y es transmitido al FIC-400. El controlador FIC-400 en base al set-point recibido, envía una señal de mando al PLC SCADA.

La zona de bajada del acueducto está controlada por cuatro unidades SCS (Sistema de control de Estación) para la gestión de los siguientes sitios:

- 1) Salida del Túnel.
- 2) Estación Recuperadora de Energía.
- 3) Válvula esférica.
- 4) Planta de Bellavista.

Las unidades ubicadas en correspondencia de la válvula esférica y a la salida del túnel funcionarán también como unidades esclavas de la unidad de Recuperadora.

Las unidades situadas en el tramo de bajada cumplen las siguientes acciones:

- 1) Control y regulación del caudal.
- 2) Disminuir la presión del agua en su recorrido hasta llegar a la Planta de Tratamiento de Bellavista.
- 3) Recuperar parte de la energía consumida en la operación del sistema de bombeo.

La acción de control y regulación del caudal es muy importante, ya que una diferencia entre el caudal de salida de la Estación Booster II y el caudal que ingresa a Bellavista podría ocasionar variaciones peligrosas en el nivel del túnel y en la pileta de Recuperadora. La unidad SCS ubicada a la salida del túnel está compuesta por un PLC asignado a la adquisición de las informaciones relativas al nivel del agua en el área de acumulación, las cuales son enviadas al PLC de Recuperadora donde se realiza en control del caudal a la salida del túnel.

1.4.1 Operación Automática del Sistema

La unidad CSS (Sistema de Supervisión Central), en el tramo en cuestión, desempeña esencialmente un papel de monitoreo, proporcionando al operador toda la información necesaria para el control.

En efecto, el sistema SCADA confía todas las actividades de regulación a los PLC y a los controladores de la Estación de Recuperadora y de la válvula esférica.

El sistema de control del presente tramo se considera dividido en dos lazos.

- 1) Lazo relativo al control del caudal a la salida del túnel.
- 2) Lazo relativo al control del caudal a la salida del tanque de la Estación Recuperadora de energía.

1.4.2 Control de Caudal a la Salida del Túnel.

El objetivo del lazo es hacer coincidir los caudales a la entrada (provenientes de Booster II) y a la salida del túnel. Esta condición dará como resultado la atenuación de las variaciones de nivel en el túnel debido a los cambios bruscos del caudal. El lazo de control de regulación del caudal a la salida del túnel se ilustra en la Figura 1.10

Existe un atraso de la onda provocada por el incremento de caudal que ingresa en el túnel (arranque de una bomba) y el instante en que la misma llega al final del túnel, esto se debe a la circulación libre del agua en el interior del mismo. Los valores de los caudales transmitidos por el transmisor de flujo FT-301 ingresados al controlador Cq deben ser similares al final de la acción correctiva realizado por el lazo.

En una variación de caudal, se calcula un atraso t dando lugar a una cuenta al revés partiendo del valor calculado; cuando el cálculo llega a cero, el sistema transmite un nuevo

valor al controlador de caudal Cq. Se compensa el error provocado por los transmisores de caudal al introducir una acción correctiva en el set point de caudal, con esto se logra atenuar las fluctuaciones de nivel debidas al error mencionado.

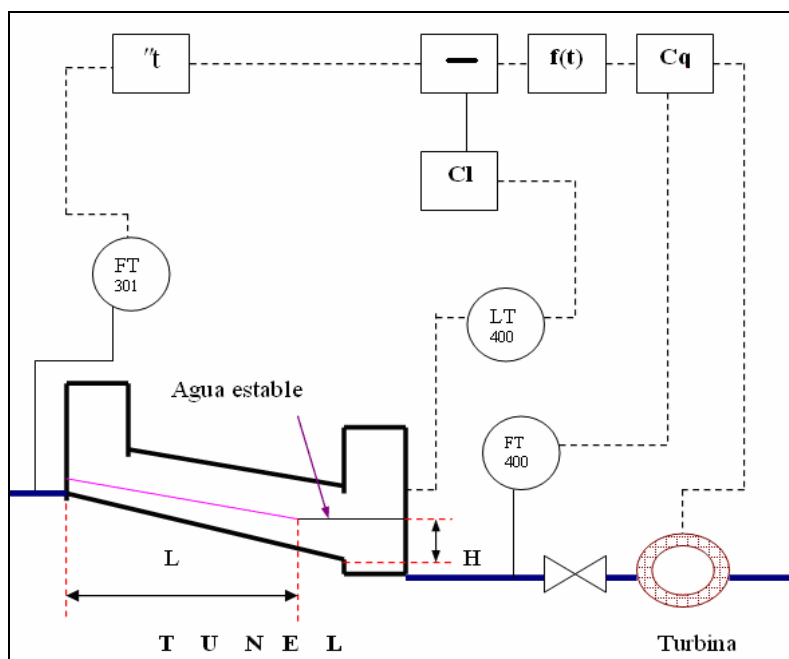


Figura 1.10. Lazo de regulación de caudal a la salida del Túnel

El controlador CI trata de mantener el nivel en la pileta de salida del túnel, introduciendo una señal correctiva, enviada a Cq por medio del elemento sumador, en el cual se suman las señales del transmisor del flujo FT-301 y la señal del transmisor de nivel LT-400. La señal rampa $f(t)$ impide cambios bruscos de caudal a la entrada de la turbina.

En un modo de explicación más sencillo, se debe lograr los mismos caudales a la entrada y a la salida del túnel esto se lograría teóricamente colocando el caudal leído a la salida de la Estación Booster II como set point de caudal en la entrada de Recuperadora, sin embargo operando de este modo, no se estaría tomando en cuenta el tiempo empleado por el nuevo frente de onda para cruzar la longitud del túnel (6 Kms), con esto se llegaría al vaciado o al desborde en el mismo. La función del sistema SCADA es la de generar un set point de caudal no solo dependiente del caudal leído en la Estación Booster II, sino también del tiempo necesario para llegar a la parte final del túnel. Para lograr tal dependencia, la unidad de supervisión central CSS, tras una variación de caudal en Booster II, calcula

dicho tiempo y lo memoriza en apropiados registros de memoria. Este valor es decrementado en el transcurso del tiempo.

Cuando dicho cálculo llega a cero la unidad CSS procede a transmitir de manera automática a Recuperadora el valor leído a la salida de Booster II. Este atraso es del orden de 1 hora o más, razón por la cual el sistema fue diseñado pensando en la posibilidad de registrar en aquel lapso hasta 20 variaciones de caudal, con el respectivo intervalo de tiempo calculado.

El operador en Bellavista puede visualizar en cualquier momento, en la pantalla respectiva la evolución del frente de onda, los valores de caudal y los atrasos calculados. Si el sistema funciona en degradación por daños en la línea de comunicación, emite una señal acústica en el centro SCADA y será tarea del operador de Quito, transmitir a través de medios alternativos al operador de Recuperadora el nuevo valor de caudal a asentar localmente para el control especialmente del nivel del túnel. El operador de Quito, podrá en cualquier momento, cancelar todas las acciones desempeñada por el Sistema SCADA por medio de los respectivos comandos.

1.4.3 Control del caudal a la salida de la pileta de Recuperadora

La regulación de caudal en esta sección, es realizada directamente en la estación Recuperadora y en la válvula esférica. El centro SCADA, por lo tanto, llevará a cabo solo el monitoreo de este tramo, confiando todas las acciones de control a los PLCs, a los controladores de las estaciones antes mencionadas. En el centro SCADA será monitoreado también el tramo de conducto entre las estaciones en proximidad de la válvula esférica y la estación de Bellavista. Ambas estaciones enviarán al centro las medidas de caudal, también el nivel de la pileta de tratamiento. El lazo de control para este fin se ilustra en la Figura 1.11.

De manera similar se regula el caudal entre la salida de la pileta de Recuperadora y su recorrido hacia Bellavista por medio del controlador Cq1, el cual controla la válvula esférica. El set point impuesto a este instrumento es dado como una función del caudal en el tramo precedente y como función del nivel en la pileta de Recuperadora. La medida de caudal transmitida por el FT-400 a la entrada de la pileta de Recuperadora es ingresada

como set point del controlador Cq1. Puesto que las medidas transmitidas por el FT-400 y LT-500 no son similares se introduce una acción correctiva a la señal que es enviada a Cq1 por medio del elemento sumador (-) donde se suman las señales del transmisor de caudal FT-400 y la del transmisor de nivel LT-500.

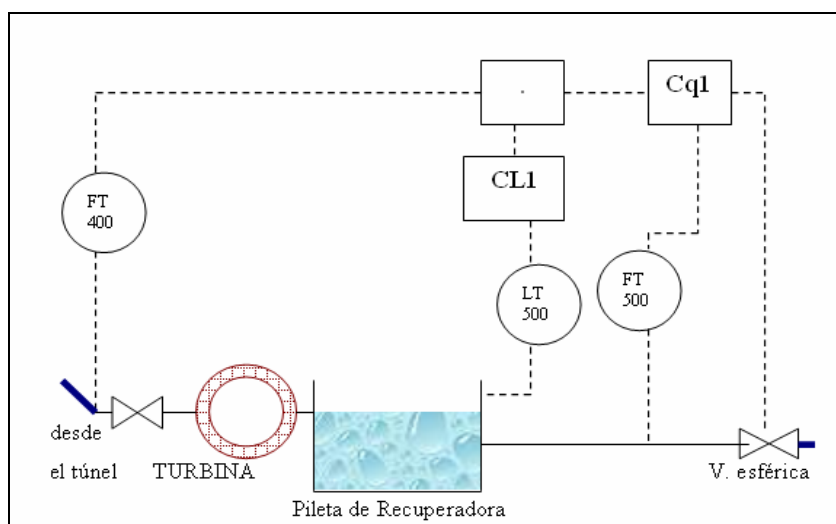


Figura 1.11. Lazo de regulación de caudal a la salida de la pileta de Recuperadora.

Finalmente en la Figura 1.12 se muestra el lazo total para el tramo de gravedad.

1.4.4 Interfase de Operador

Como en las estaciones de bombeo, también en la estación Recuperadora se contempla un tablero local que permite al operador controlar la parte de planta involucrada.

En el panel operador están alojados los siguientes componentes:

- 1) Controladores e indicadores.
 - a) De caudal FIC-400 es el instrumento dedicado al control de las válvulas a la descarga de la Turbina o del by-pass.
 - b) De nivel LIC-400 es utilizado para “procesar” la medida del nivel del agua en la zona de acumulación del túnel.
 - c) De nivel LIC-500 utilizado para “procesar” la medida del nivel del agua en la pileta de descarga de la Estación Recuperadora de Energía.

Los tres controladores están provistos de un pequeño teclado funcional por medio del cual, el operador puede imponer el set point deseado en funcionamiento local.

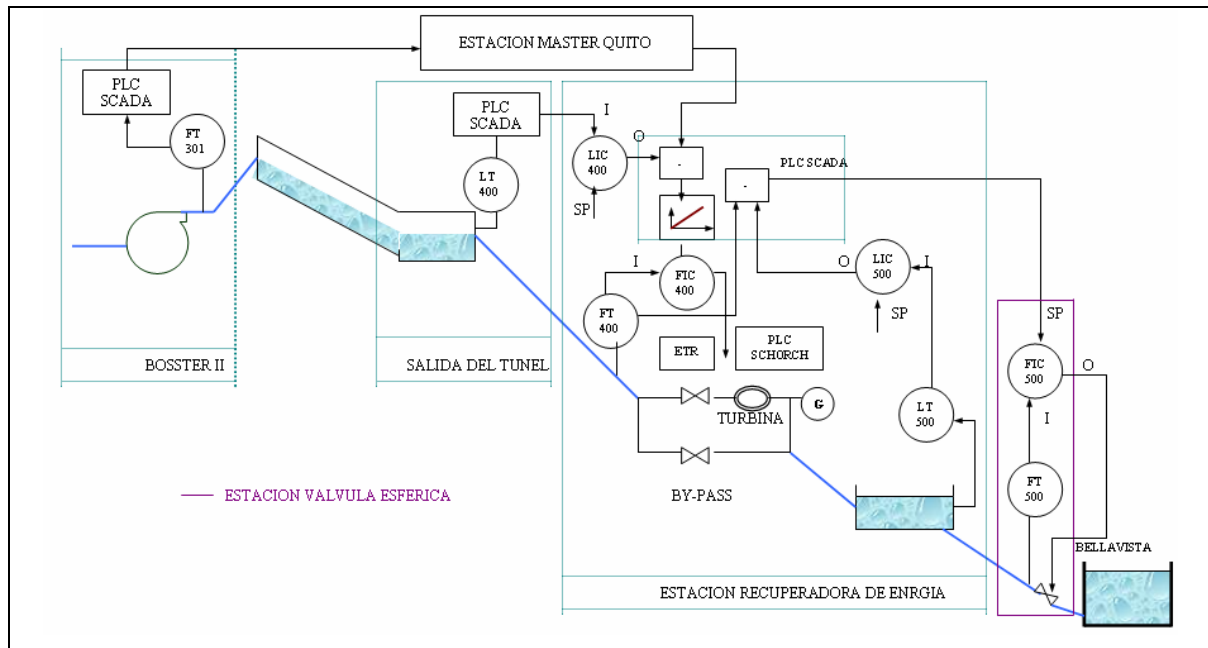


Figura 1.12. Lazo de Control Tramo de Gravedad

- 2) Selector de turbina en funcionamiento – válvulas del by-pass en funcionamiento. Mediante este selector, el operador puede transferir el control del caudal de la válvula del by-pass a la turbina o viceversa.
- 3) Tres pulsadores relativos al estado de funcionamiento del acueducto, así:
 - a) Dos bombas en funcionamiento.
 - b) Tres bombas en funcionamiento.
 - c) Cuatro bombas en funcionamiento.

El operador de la estación, en caso de falla del lazo de control de caudal, por medio de estos tres pulsadores está en condiciones de informar al PLC SCHORCH respecto del estado de funcionamiento de la planta.
- 4) Indicadores relativos al estado de funcionamiento de la sección de bajada del acueducto. Las señalizaciones luminosas previstas son las siguientes:
 - a) Nivel bajo en la zona de acumulación del túnel.
 - b) Nivel alto en la zona de acumulación del túnel.
 - c) Válvula mariposa cerrada.
 - d) Válvula esférica abierta.
 - e) Turbina en funcionamiento.
 - f) Nivel alto en la pila de descarga de la turbina.
 - g) Nivel bajo en la pila de descarga de la turbina.

Los indicadores de nivel bajo y demasiado bajo, en la zona de acumulación del túnel son generadas por interruptores dedicados (Hardware). El indicador de nivel alto, gestionada por el sistema SCADA, es en cambio generado por la superación del nivel de guardia SW correspondiente. Las indicaciones de nivel bajo, demasiado bajo y alto en la pileta de Recuperadora son generadas por la superación de los correspondientes niveles de guardia SW.

- 5) Indicación de alarma referida a pérdidas en la parte del acueducto entre la válvula esférica y Bellavista, gestionada por el sistema SCADA. Si los caudales medidos en las mencionadas estaciones no coincidieren, será emitida hacia la unidad de control local SCS de Recuperadora una señal de alarma visualizada también en el panel operador local.
- 6) Indicación de alarma relativa al cierre de la válvula esférica K-500, la cual es gestionada por el sistema SCADA.
- 7) Indicaciones de alarmas relativas al sistema de automatización gestionadas por el sistema SCADA, se visualizan las siguientes:
 - a) Interrupción del enlace con el centro SCADA.
 - b) Falla PLC SCHORCH.
 - c) Falla CPU1 PLC-SCADA.
 - d) Falla CPU2 PLC-SCADA.

1.4.5 PLC de Máquina SCHORCH

Dedicado al control del grupo turbina-generador y de la válvula disipadora. La acción de control en la válvula disipadora o en la válvula de descarga de la turbina es desarrollada en función del caudal del bombeo, el pasaje de la válvula disipadora a la turbina es actuado en funcionamiento o modalidad remoto RS por el operador de la estación Master en Quito y ejecutado por el PLC SCADA por medio del PLC SCHORCH.

Con respecto al pasaje inverso es decir de la turbina a la válvula disipadora, será ejecutado por el PLC de la Estación, según se ha indicado anteriormente, ya sea ordenado por el operador de Quito o de la Estación, actuando automáticamente, para evitar problemas de control en presencia de un caudal inferior a los 1,5 m³/seg. Este pasaje será activado también como consecuencia de fallos mecánicos o eléctricos en el conjunto turbina-

generador. En dicho caso el PLC SCHORCH ordenará en efecto el *shut-down* de la turbina pudiendo pasarse a la modalidad del disipador.

Para efectuar el control de caudal a la entrada del túnel, aún en caso de ineficacia del lazo descrito, el PLC SCADA enviará al PLC SCHORCH la información relativa a la fase de funcionamiento de la planta (dos, tres o cuatro bombas conectadas) suministrando de esta manera información acerca de la cantidad de agua bombeada. El PLC SCHORCH no hará otra cosa que adaptar la abertura de las válvulas de descarga a las indicaciones recibidas. La medida del caudal regulado en ingreso a la Estación, corregida por la medida del nivel en la pileta de Recuperadora, procesada por el LIC-500 constituye el set point a enviar al FIC-500 para el control del caudal a la salida de la válvula esférica.

De manera similar como se opera las estaciones de bombeo, también en la Estación Recuperadora es posible operar, no solo en las modalidades de funcionamiento remoto hasta el momento descrita, sino también en local. En la modalidad de funcionamiento local, el operador de Quito comunicará al operador de Estación el set point del caudal leído en la correspondiente

El operador de Estación tendrá por lo tanto que imponerlo actuando directamente en el FIC-400. El set point en el FIC-500 resultará automáticamente definido. En caso de incapacidad del FIC-400 y el funcionamiento local el operador de la Estación deberá operar el selector presente en el tablero SCHORCH para fijar el número de bombas en funcionamiento.

1.4.6 Interacción del PLC SCHORCH

El PLC SCHORCH interactúa junto con el PLC SCADA para el control del grupo turbina-generador efectuando y controlando las condiciones del elemento de maquinaria, así al detectar condiciones anómalas en el funcionamiento de estos elementos envía una señal para la protección del conjunto. El operador tiene la posibilidad de actuar sobre este PLC, en sus tres modalidades de operación:

- 1) AUTOMATICO: En esta modalidad el PLC tiene el control de todas las actividades de operación del grupo turbina generación, cumpliendo todos los pasos del software. En esta modalidad no puede intervenir el operador para introducir alguna señal.

- 2) TEST: Aquí sale de funcionamiento el PLC en forma temporal, pudiendo el operador forzar señales de campo. Esto se lo hace para rutinas de mantenimiento, pruebas de funcionamiento de los diferentes dispositivos, etc.
- 3) REMOTO: El control de las actividades del PLC está sujeto a las órdenes recibidas desde la estación Master de Quito.

Durante el polling, la estación Master recibe la información del estado del elemento de maquinaria a través de la interacción del PLC SCHORCH el cual censa los estados de las diferentes variables y les envía al PLC SCADA, el mismo que transmite a través del sistema de comunicación anteriormente descrita. Esta interacción se puede visualizar en la Figura 1.13.

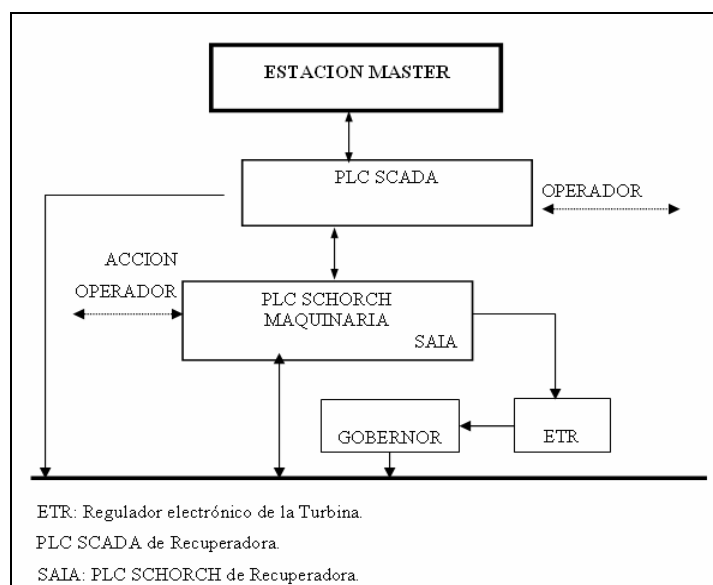


Figura 1.13. Interacción PLC SCHORCH

1.4.7 Sistema de Comunicaciones del Sistema Papallacta Integrado.

Actualmente el Sistema Papallacta Integrado cuenta con un moderno sistema de comunicaciones basado en una red WAN (Wide Area Network, Red de Área amplia de sus siglas en Ingles), que tiene ha su haber un gran Ancho de Banda para las comunicaciones, a continuación se muestra en la figura 1.14 un esquema general del sistema de Telecomunicaciones del Sistema Papallacta Integrado.

SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES DEL SISTEMA PAPALLACTA INTEGRADO

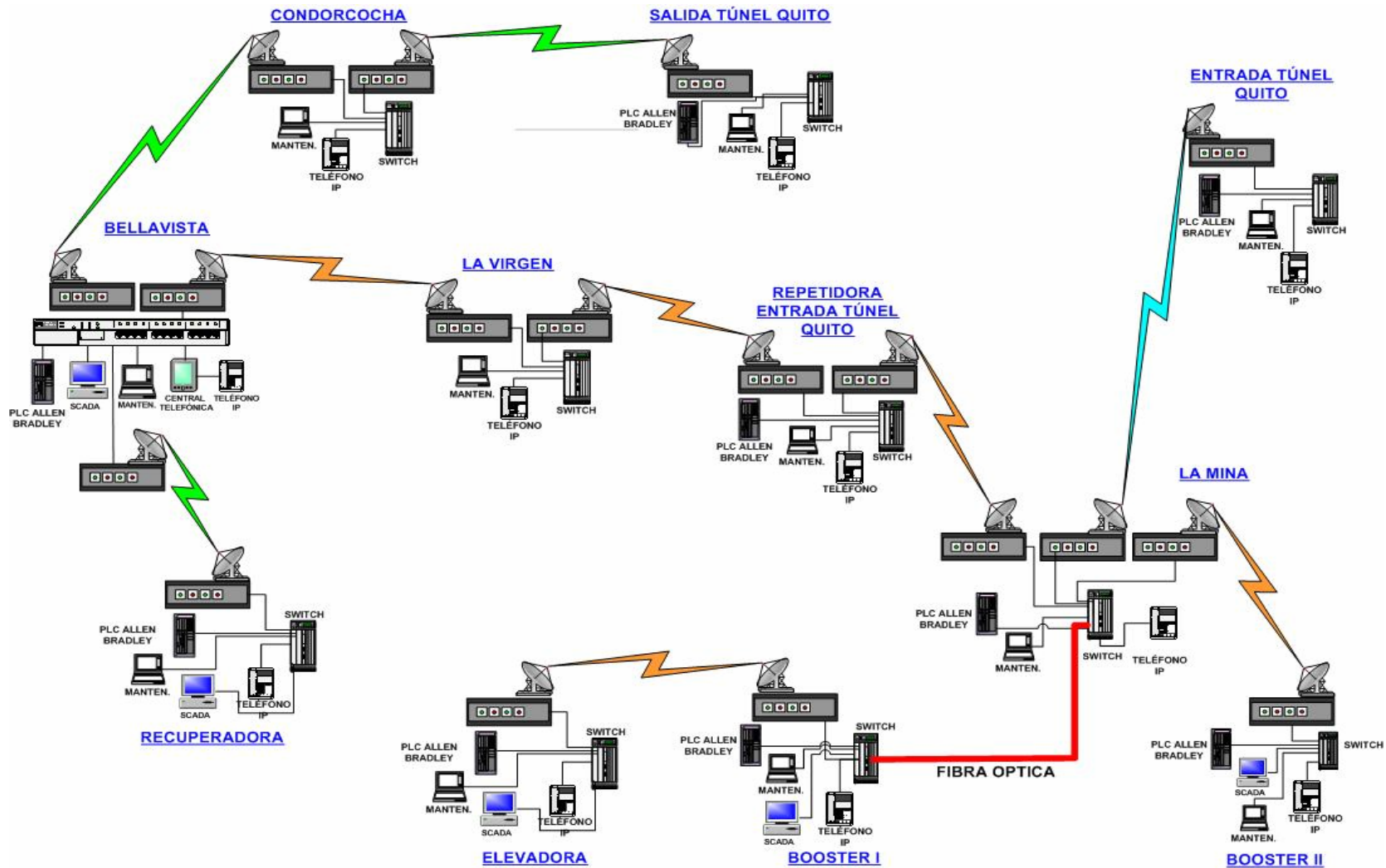


Figura 1.14. Sistema de Telecomunicaciones del Sistema Papallacta Integrado.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

Todo Sistema Automatizado esta formado por tres partes claramente diferenciadas.

- La parte operativa o proceso que se desea controlar.
- La parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada.
- La parte de supervisión o explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Generalmente a esta función se le conoce con el acrónimo HMI del Ingles “Human Machine Interfase” o interfaz hombre máquina.

Para llevar a cabo el correcto intercambio de información entre las distintas partes que integran un sistema automatizado son necesarias una serie de interfaces o líneas de comunicación como se muestra en la figura 2.1. En este caso la parte operativa esta integrada por varios componentes que conforman los distintos sistemas o instalaciones industriales (motores, robots, bombas, etc.) susceptibles de ser controlados en los múltiples procesos de producción. Parte destacada de estos componentes son los sensores y actuadores, los primeros serán empleados para detectar las variables físicas del proceso (temperatura, humo, caudal, nivel, etc.) muy importantes a la hora de llevar a cabo el correcto control del proceso industrial, mientras que los actuadores son los encargados de ejecutar una acción sobre el proceso (abrir una compuerta, mover una pieza, etc.). La información de estas magnitudes físicas una vez convertida a señal eléctrica y adaptada al rango del equipo de control (microcontroladores, PLC, lógica cableada, etc.), es transmitida a este por medio de la interfaz correspondiente, el cual con esta información y en base a un algoritmo de control tomará las decisiones oportunas para mantener el proceso

dentro de los márgenes de trabajo definidos por le usuario, estas decisiones se traducirán en acciones sobre los componentes de los distintos sistemas y serán ejecutadas por medio de preaccionadotes y accionadores de proceso (relés , contactores, electroválvulas, etc.), los cuales se hallan conectados al equipo de control por medio de una interfaz adecuada, logrando de esta manera transformar las señales eléctricas que entrega el equipo de control en acciones sobre los distintos componentes industriales.

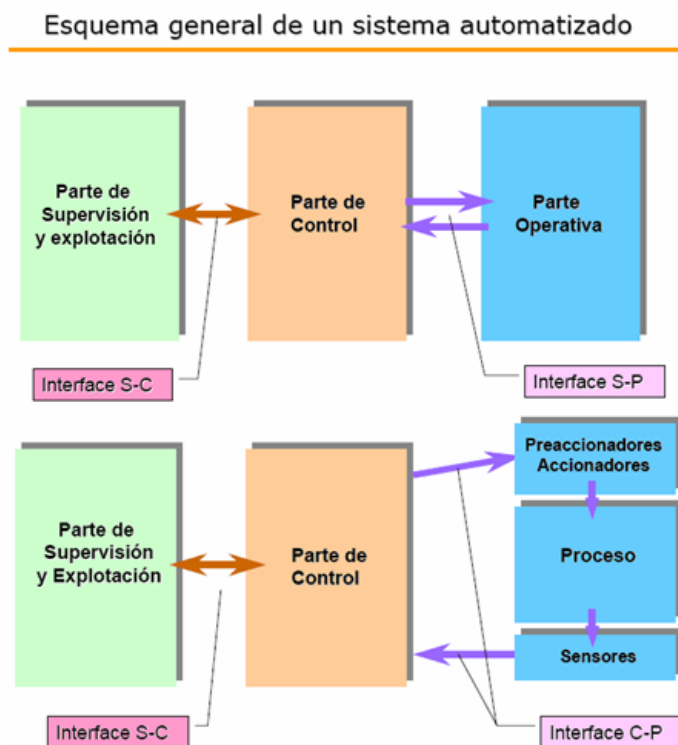


Figura 2.1. Esquema de un Sistema Automatizado.

En lo referente a la parte de supervisión y explotación del sistema existen una gran variedad de dispositivos a ser empleados para llevar a cabo esta labor como se observa en la figura 2.2, la decisión final sobre cual emplear vendrá determinada por las restricciones técnicas de conexión, que imponga el tipo de control empleado y por el presupuesto disponible para este requerimiento.

En el ámbito extenso de la automatización de procesos existen varios tipos de tecnologías para implementar la parte de control entre ellas: Lógica cableada, microcontroladores, controladores programables, etc. Sin embargo una de las tecnologías mas empleada a la hora de desarrollar un proyecto de automatización son los autómatas programables, mas

conocidos como PLCs. A partir del siglo XX con la aparición de los transistores se ve la posibilidad de aplicarlos para sustituir a los relés electromecánicos empleados en el control de procesos hasta ese momento. La razón fundamental es la mayor frecuencia de conmutación de los transistores con respecto a los relés, lo cual permitirá incrementar fundamentalmente la velocidad de control, la fiabilidad y reducir el tamaño de los controladores. A principios de la década de los 1970 se produce una división en la evolución de estos equipos de control como se muestra en la figura 2.3, propiciada por la necesidad de adaptar los distintos sistemas de control a las peculiaridades de los procesos a controlar.

Sistema de automatización: Componentes habituales

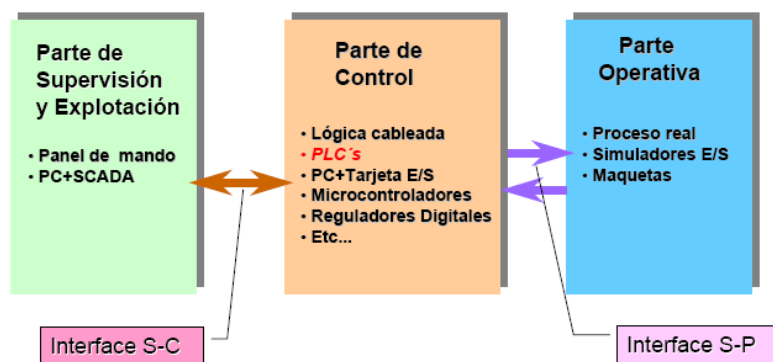


Figura 2.2 Componentes habituales de un Sistema Automatizado.

Hoy en día tres décadas después de la aparición de estos dispositivos, aún perduran diferencias tan marcadas entre los distintos tipos, pero cada vez la frontera que los separa se va difuminando más y más, llegando incluso a aparecer arquitecturas híbridas que fusionan lo mejor de cada uno como lo muestra la figura 2.4, un ejemplo son los PC/PLCs que basándose en una arquitectura de tipo PC mucho más rica en recursos, toman de los PLCs su modo de funcionamiento y su gran facilidad a la hora de ser conectados al proceso ¹.

¹ Universidad de Oviedo Ingeniería de Automática y Sistemas, Autómatas Programables Visión General, www.isa.uniovi.es/~idiaz/SA/Teoria/SA.Tema1.pdf.

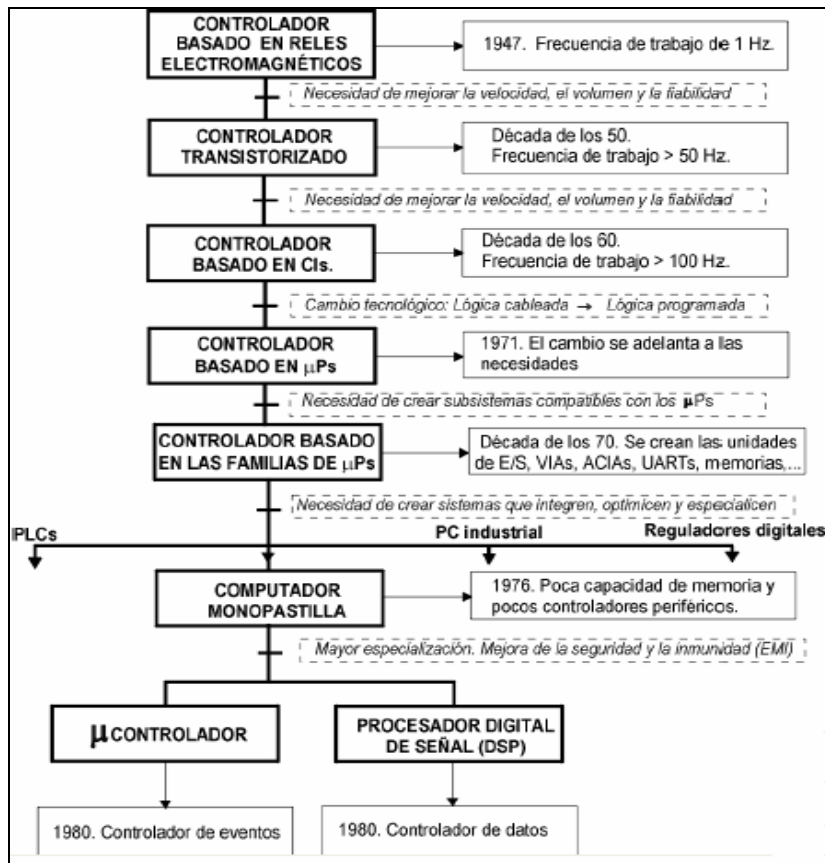


Figura 2.3 Evolución de los Sistemas de Control

CARACTERÍSTICAS DE CONTROL.	CONTROLADORES COMERCIALES			
	PC INDUSTRIAL	PLC	MICRO-CONTROLADOR	REGULADOR DIGITAL
CONTROL BOOLEANO	█	█	█	█
CONTROL CONTINUO	█ ⁽¹⁾	█	█ ⁽²⁾	█
GESTIÓN O CALCULOS COMPLEJOS	█	█	█ ⁽³⁾	█
SERIES IMPORTANTES	█	█	█	█
VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO	█	█	█	█
LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	█	█	█	█
CANTIDAD DE E/S	█	█	█	█
CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN	█	█	█	█

Control Continuo

Sistemas Empotrados

Control Procesos

(1) Siempre que se utilicen tarjetas de adquisición de datos.
 (2) Siempre que se utilicen microcontroladores de al menos 16 bits con interfaces A/D y D/A y una arquitectura adecuada para procesar señales continuas.
 (3) Complementando al microcontrolador con un DSP.

Figura 2.4 Esquema comparativo de los Sistemas de Control.

2.1 Control de procesos mediante PLC's²

Un PLC o autómatas es un dispositivo electrónico programable por el usuario que se utiliza para controlar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales.

Normalmente se requiere un PLC para:

- Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- Reemplazar temporizadores y contadores electromecánicos.
- Actuar como interfase entre una PC y el proceso de fabricación.
- Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- Controlar y comandar tareas repetitivas y peligrosas.
- Regulación de aparatos remotos desde un punto de la fábrica.

Sus principales beneficios son:

- Menor cableado, reduce los costos y los tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio.
- Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso.

2.1.1 Definición de un autómatas programable

Un PLC (Programmable Logic Controller) o autómatas programable según la definición del estándar internacional IEC 61131 que normaliza las características fundamentales de los mismos tanto en su parte de hardware como software, es una máquina electrónica programable capaz de ejecutar un programa, es decir, un conjunto de instrucciones organizadas de una forma adecuada para solventar un problema dado, y diseñada para trabajar en un entorno industrial y por tanto hostil. Es decir un autómatas programable es una máquina electrónica especializada en el pilotaje y el control en tiempo real de procesos industriales.

² Universidad de Oviedo Ingeniería de Automática y Sistemas, Op. Cit.

Ejecuta una serie de instrucciones introducidas en su memoria en forma de programa y, por tanto, se asemeja a las máquinas de tratamiento de la información. No obstante, existen tres características fundamentales que lo diferencian claramente de las herramientas informáticas como los ordenadores que se utilizan en las empresas:

- Pueden conectarse directamente a los captadores y preaccionadores mediante sus puertos de entrada/salida para equipos industriales.
- Su diseño permite que funcionen en ambientes industriales duros (temperatura, vibraciones, microcortes de la tensión de alimentación, parásitos, etc.).
- Por último, la programación se basa en lenguajes específicamente desarrollados para el tratamiento de funciones de automatismo, de modo que ni su instalación ni su uso requieren altos conocimientos de informática.

Básicamente un PLC es el cerebro de un proceso industrial de producción o fabricación, reemplazando a los sistemas de control de relés y temporizadores cableados. Se puede pensar en un PLC como una computadora desarrollada para soportar las severas condiciones a las que puede ser sometida en un ambiente industrial. Un controlador lógico programable o PLC está compuesto por dos elementos básicos: la CPU, (Central Processing Unit) o Unidad Central de Procesamiento y la interfase de Entradas y Salidas, como se indica en la figura 2.5.

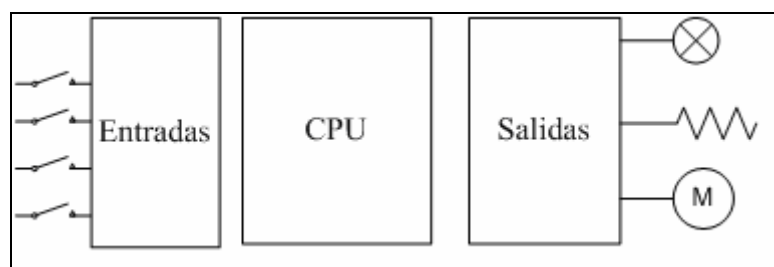


Figura 2.5 Elementos Fundamentales de un PLC

2.1.2 Estructura básica

La estructura básica de un autómata programable se fundamenta en tres elementos funcionales principales: procesador, memoria y entradas/salidas. El enlace eléctrico de estos elementos se realiza por medio de un bus. Un bloque de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento del conjunto.

2.1.3 Procesador

El cometido principal del procesador, o unidad central (UC), consiste en tratar las instrucciones que constituyen el programa de funcionamiento de la aplicación. Además de esta tarea, la UC desempeña las siguientes funciones:

- Gestión de entradas/salidas.
- Control y diagnóstico del autómata mediante una serie de pruebas que se ejecutan en el momento del encendido o cíclicamente, durante el funcionamiento del sistema.
- Diálogo con el terminal de programación, tanto durante las fases de escritura y depuración del programa como durante su explotación, para realizar tareas de verificación y ajuste de datos.

Uno o varios microprocesadores ejecutan las funciones mediante un microsoftware previamente programado en una memoria de control o de sistema. Esta memoria define la funcionalidad del autómata y no es accesible para el usuario.

2.1.4 Memoria³

Permite almacenar las instrucciones que conforman el programa de funcionamiento del automatismo y los datos, que pueden ser de los siguientes tipos:

- Información susceptible de variar durante la ejecución de la aplicación. Por ejemplo, resultados de cálculos realizados por el procesador que se guardan para su uso posterior. Estos datos se denominan variables internas o palabras internas,
- Información que no varía durante la ejecución pero que el usuario puede modificar, textos que se muestran, valores de preselección, etc. Se denominan palabras constantes.
- Memorias de estado de las entradas/salidas, actualizadas por el procesador en cada turno de escrutación del programa.

³ Schneider Electric España S.A, Manual Electrotécnico Telesquemario Telemecanique, 1999.

El elemento básico de la memoria es el bit (abreviatura del inglés binary digit: dígito binario), que admite dos estados lógicos: 0 y 1. Los bits se agrupan en palabras (16 bits) o en bytes (8 bits) que se identifican mediante una dirección. Para cada una de las partes (programa y datos), el volumen de la memoria se expresa en K palabras (1 K palabra = 1024 palabras) o en Kbytes.

Los autómatas programables utilizan dos tipos de memoria:

- **Memoria de Datos**, o memoria RAM (Random Access Memory: memoria de acceso aleatorio). El contenido de este tipo de memoria puede leerse y modificarse en cualquier momento, pero se pierde en caso de falta de tensión (memoria volátil). Por tanto, necesita una batería de seguridad. La memoria de datos se utiliza para escribir y poner a punto los programas y para almacenar los datos.
- **Memoria de Programa**, cuyo contenido se conserva (no volátil) en caso de falta de tensión y que sólo puede leerse. Su escritura requiere el borrado total previo por medio de un procedimiento especial externo al autómata, por rayos ultravioletas (memorias EPROM y REEPROM) o eléctrico (memorias EEPROM). Se utilizan para almacenar los programas previamente depurados.

2.1.5 Entradas/salidas

Las entradas/salidas garantizan la integración directa del autómata en el entorno industrial. Sirven como enlace entre el procesador y el proceso. Todas cumplen una doble función básica:

- Función de interfaz para recibir y tratar señales procedentes del exterior (captadores, pulsadores, etc.) y para emitir señales hacia el exterior (control de preaccionadores, pilotos de señalización, etc.). El diseño de estos interfaces, con aislamiento galvánico o desacoplamiento optoelectrónico, asegura la protección del autómata contra señales parásitas.
- Función de comunicación para el intercambio de señales con la unidad central por medio de un bus de entradas/salidas.

2.1.6 Bus

El bus consiste en un conjunto de conductores que enlazan entre sí los distintos elementos del autómeta. En el caso de los autómetas modulares, se emplea un circuito impreso situado en el fondo del rack que consta de conectores a los que se enchufan los distintos módulos: procesador, ampliación de memoria, interfaces y acopladores.

Se organiza en varios subconjuntos que gestionan distintos tipos de tráfico:

- Bus de datos para las señales de entrada/salida.
- Bus de direcciones de las entradas/salidas.
- Bus de control para las señales de servicio.
- Bus de distribución de las tensiones generadas por el bloque de alimentación.

2.1.7 Alimentación

Genera las tensiones internas que se distribuyen a los módulos del autómeta a partir de una red de 110 o 220 V en corriente alterna o de una fuente de 24 o 48 V en corriente continua. Dispone de dispositivos de detección de caídas o cortes de la tensión de la red y de vigilancia de las tensiones internas. En caso de fallo, dichos dispositivos pueden ejecutar un procedimiento prioritario de seguridad.

En la figura 2.6 se puede observar un esquema simplificado que representa las partes principales de una CPU.

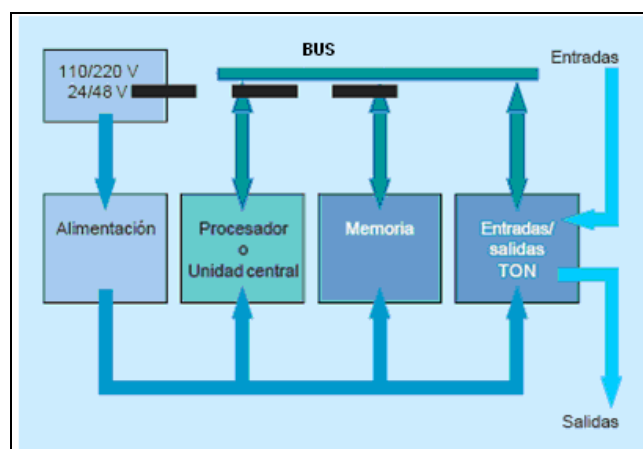


Figura 2.6 Esquema simplificado de un PLC.

2.1.8 Ciclo de SCAN

El proceso de lectura de Entradas, ejecución del programa y control de las Salidas se realiza en forma repetitiva como se puede observar en la figura 2.7 y se conoce como SCAN o scanning.

Finalmente la fuente de alimentación suministra todas las tensiones necesarias para la correcta operación de la CPU y el resto de los componentes.

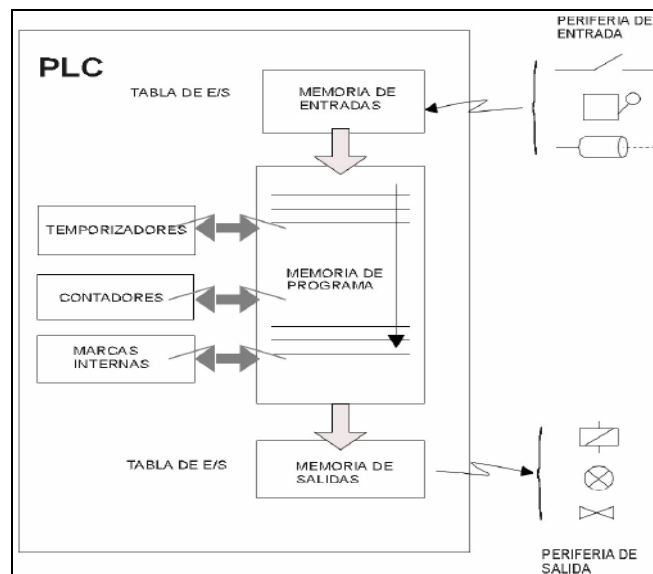


Figura 2.7 Interacción del PLC con todos sus componentes

No hay que perder de vista que los PLCs son la evolución natural del empleo de la tecnología eléctrica en el control de procesos al uso de la tecnología electrónica. De esta forma un PLC se puede entender como el dispositivo electrónico que viene a sustituir el conjunto de componentes eléctricos (relés, enclavamientos, etc.) que adecuadamente combinados implementan la lógica de un circuito de mando. Esa lógica será implementada en este nuevo dispositivo como un programa de control.

Es de destacar que aquellos componentes del circuito de mando empleados por el operador para comandar su funcionamiento como son pulsadores e interruptores fundamentalmente, seguirán presentes en la implementación mediante PLC cumpliendo la misma función. Asimismo, los componentes del circuito de mando empleados para mostrar información acerca del estado de activación o no de los componentes del circuito de fuerza o proceso, a

saber lámparas, señalizadores acústicos, etc. , también aparecerán conectados al PLC como salidas del mismo. Por último, los componentes del circuito de mando empleados para la activación de los elementos del circuito de fuerza como son relés y contactores, aparecerán también conectados al PLC como salidas del mismo, así como se puede observar en la figura 2.8.

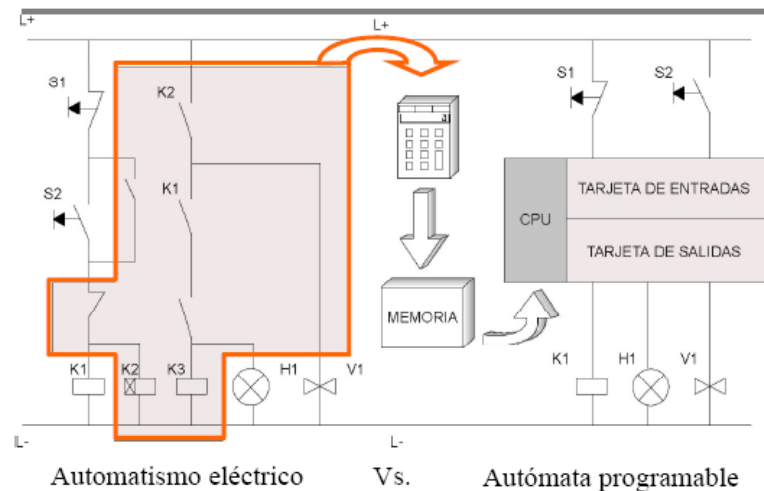


Figura 2.8 Comparación entre la lógica de relés y un PLC.

2.1.9 Funcionamiento de un PLC

Un PLC una vez conectado a la red eléctrica tiene básicamente dos modos de funcionamiento:

- Stop: En este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- Run: En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que el PLC pasa al modo Stop o bien se desconecta de la alimentación.

Cuando el PLC se encuentra en Run se está ejecutando de forma cíclica el programa que está grabado en su memoria ejecutando lo que se llama “Ciclo de Scan”

Un ciclo de scan consiste básicamente en cuatro pasos bien diferenciados:

1. Lectura de las entradas del PLC.
2. Ejecución del programa de control.
3. Escritura de las salidas del PLC.
4. Tareas internas.

Lectura de entradas, al comienzo de cada ciclo de scan, el sistema operativo del PLC comprueba el estado en el que se encuentran todos y cada uno de los elementos de entrada (sensores, pulsadores, etc.) que están conectados a los distintos módulos de entradas del PLC. Si un sensor está activado, el PLC pondrá un “1” lógico en una posición determinada de una zona de memoria especial llamada “Memoria de Entradas” o “Imagen del Proceso de Entradas”. Si por el contrario ese sensor no estuviese activado, entonces el PLC pondría un “0” lógico en la posición de memoria de entradas asignada para esa entrada. Si el sensor fuese analógico en vez de escribir un “1” o un “0”, se convertiría el valor de la magnitud física a un valor numérico que también se depositaría en una zona de la memoria de entradas analógicas. Esta operación de lectura de las entradas conlleva un cierto tiempo para ejecutarse totalmente, el cuál debe ser tenido en cuenta a la hora de calcular la duración del ciclo de scan. En cualquier caso, este tiempo suele ser despreciable con respecto a la duración de la ejecución del programa de control.

Ejecución del programa de control, una vez que la memoria de entradas ha sido totalmente actualizada el sistema operativo del PLC, comenzará a ejecutar las instrucciones del programa albergado en su memoria de programa del PLC. Lo hará secuencialmente comenzando por la primera instrucción del módulo de programa. La ejecución secuencial no implica ejecución lineal, es decir, que un programa puede contener instrucciones especiales que permitan hacer saltos hacia delante y hacia atrás, e incluso es posible que haya subrutinas e interrupciones. Pero en cualquier caso, la ejecución seguirá siendo secuencial siendo posible alterar esa secuencia de forma dinámica. Esa secuencia acabará teniendo una última instrucción que tras ser ejecutada pondrá fin a este paso del ciclo scan.

Escritura de salidas, cuando el sistema operativo del PLC detecta que se ha ejecutado la última instrucción del programa de control, éste comienza a revisar una por una todas las posiciones de su memoria de salidas. Si en una posición lee un “1” lógico, el PLC activará la salida correspondiente en el módulo de salidas, en el cual se puede encontrar un preaccionador o un accionador (por ejemplo una electroválvula), la cual se activara llevando a cabo la acción correspondiente (por ejemplo contar el paso de agua por un canal de riego) sobre algún elemento de proceso. Si el programa de control tras su ejecución genera señales en forma de valores digitalizados en la memoria de salidas analógicas del PLC, en esta fase son convertidas en valores determinados de corriente o tensión por medio de los módulos de salidas analógicas correspondientes. Estos valores de corriente o

tensión provocarán una acción proporcional sobre algún componente del proceso. Aunque este proceso consume cierta cantidad de tiempo, su duración es despreciable con respecto a la de la fase de ejecución del programa de control.

Tareas Internas, antes de comenzar un nuevo ciclo de scan, el PLC necesita realizar ciertas tareas internas como por ejemplo comprobar si se han producido errores, almacenar la duración del ciclo de scan, actualizar valores internos de sus tablas de datos, etc. De nuevo la duración de esta fase puede considerarse despreciable con respecto a las anteriores. Una vez que esta fase ha terminado el sistema operativo del PLC comenzará a ejecutar un nuevo ciclo de scan.

Perro guardián (Watch dog), la suma de la duración de las cuatro fases anteriores de un ciclo de scan determinan el tiempo de duración. Es de destacar la vital importancia que para el correcto funcionamiento de un sistema automatizado tiene una adecuada duración de ciclo de scan. Lo ideal sería que esta duración fuese la menor posible, pero a medida que se vayan añadiendo instrucciones al programa de control su duración se verá incrementada pudiendo llegar a provocar el desfase del equipo de control con respecto al proceso, si esto fuese así podría llegar a suceder que una variable del proceso por ejemplo un sensor, se activase en el mismo ciclo de scan. Teniendo en cuenta como funciona el PLC, esto provocaría que esa señal se “pierda” es decir, el PLC no sería consciente de que ese sensor ha cambiado dos veces de estado por lo que el programa de control no daría una respuesta adecuada a esa nueva situación y el proceso se descontrolaría.

El sistema operativo del PLC proporciona una herramienta para tratar de atenuar situaciones como las descritas denominada “perro guardián” o “watch dog”. El perro guardián se puede configurar con un valor de tiempo dado. Si un ciclo de scan cualquiera dura más que el tiempo para el cual esta configurado el perro guardián, entonces el PLC lo detecta y da una señal de error que el programador deberá tratar adecuadamente.

2.1.10 Arquitectura del PLC

Aunque todos los PLCs tienen una arquitectura interna como la que se puede observar en la figura 2.9 externamente suelen presentar una de dos posibles configuraciones:

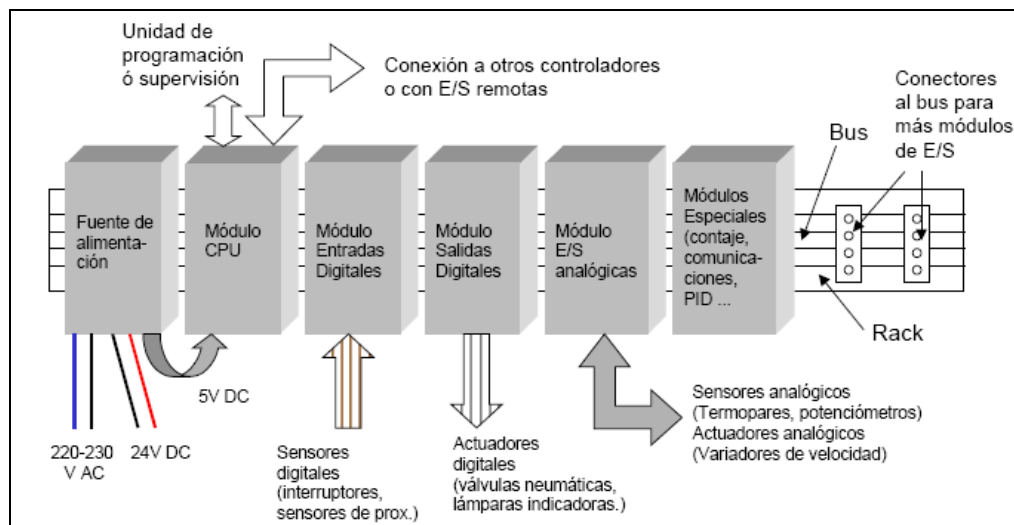


Figura 2.9 Arquitectura de un PLC.

- **Compacta.** En este tipo de PLCs todos los módulos anteriormente descritos están encapsulados bajo una misma carcasa plástica que hace del PLC un producto robusto y compacto.
- **Modular.** En este tipo de configuración cada módulo del PLC debe ser adquirido por separado por lo que hay que tener en cuenta las posibles incompatibilidades entre los distintos modelos, para posteriormente ser ensamblados para formar el PLC deseado. Esta configuración permite tener un PLC mucho más adaptado a las necesidades reales, pero por lo general suele ser una solución más cara. Este tipo de configuración se suele emplear en modelos de PLC de gama alta.

2.1.11 Lenguajes de programación de los PLCs

Los lenguajes de programación permiten introducir en un autómata todos los datos necesarios para gobernar y controlar una máquina o un proceso. Se componen de un juego de instrucciones y se rigen por reglas de sintaxis precisas que definen la forma de escribir, de leer y de modificar un programa. Existen varios lenguajes disponibles: LIST, Grafcet, de contactos y literal como se muestra en la figura 2.10. Es posible combinarlos en una misma aplicación para encontrar la mejor solución a un problema.

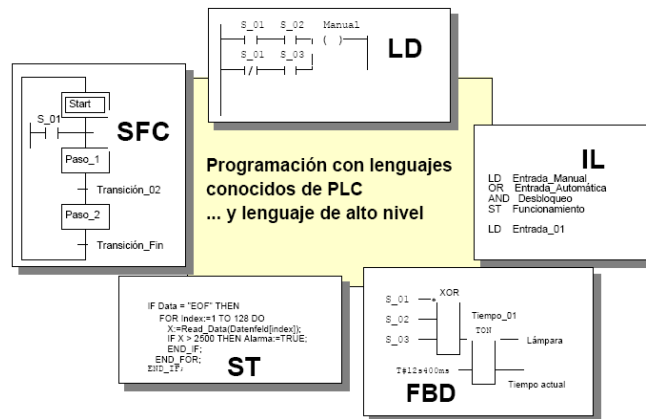


Figura 2.10 Tipos de Lenguajes de Programación de los PLCs.

A continuación se enlistan los principales lenguajes de programación para los PLCs:

1. El lenguaje LIST o de lista de instrucciones (Instrucción List –IL-) es un lenguaje de bajo nivel parecido al lenguaje ensamblador empleado para la programación de microcontroladores. Este lenguaje se basa en la utilización de un mnemónico que representa la instrucción seguido del operando u operandos sobre los que se aplica. Cada línea del programa contiene una única instrucción y su ejecución es secuencial comenzando por la primera de la lista. El lenguaje “lista de instrucciones” se inspira en las reglas del álgebra de Boole.
2. El lenguaje Grafcet permite representar de manera gráfica y estructurada el funcionamiento de un automatismo secuencial. Proviene de un método de análisis basado en la noción de etapas y transiciones unidas mediante enlaces orientados. A las etapas se asocian acciones y transiciones.
3. Lenguaje de contactos, también denominado LADDER, es totalmente gráfico y se adapta al tratamiento lógico simple de tipo combinatorio. Utiliza símbolos gráficos de contactos de apertura y cierre y de bobinas e este modo, un programa escrito en lenguaje de contactos es el clásico esquema eléctrico desarrollado. Es posible insertar en las redes de contactos bloques de funciones de temporizadores, contadores, registros, etc., y bloques de operaciones lógicas y aritméticas preprogramados.
4. Lenguaje literal o Texto estructurado (Structured Text –ST-) es un lenguaje literal de alto nivel que surge de adaptar el lenguaje C empleado en la programación de PCs a las necesidades propias del control de procesos. Es un lenguaje muy potente especialmente indicado para la representación de algoritmos de control complejos en los que sea necesario emplear bucles, condicionales, etc.

5. Diagrama de bloques funcionales, el lenguaje de los diagramas de bloque funcionales (Function Block Diagram –FBD-) es un lenguaje gráfico que surge como una evolución de los diagramas empleados por los ingenieros electrónicos para representar los circuitos lógicos. En estos las compuertas lógicas son representadas mediante símbolos estandarizados. Un circuito electrónico puede ser encapsulado en un integrado el cual puede ser utilizado en un nuevo diagrama mediante el símbolo adecuado. El lenguaje FBD sigue las mismas pautas.

2.1.12 Criterios de para la Selección de un PLC

A la hora de seleccionar qué autómata programable utilizar para llevar a cabo el control de una instalación se deben analizar una serie de criterios que pueden ser agrupados en dos categorías: cuantitativos y cualitativos.

1. Criterios Cuantitativos, dentro de estos criterios se pueden englobar todas aquellas características que definen a este tipo de equipos y que pueden ser medidas y por tanto comparadas, a saber:

- **Ciclo de Ejecución.** Mide el tiempo que el autómata tarda en ejecutar una instrucción o un Kbyte de instrucciones. Depende directamente de la velocidad de la CPU del equipo e influirá directamente en el ciclo de scan.
- **Capacidad de entradas/salidas.** Define el número de E/S que se pueden conectar a un equipo. Determina por tanto la capacidad del equipo para conectarse con el proceso.
- **Características de las entradas/salidas.** Determina el tipo de E/S que se pueden conectar al autómata. Determina por tanto la forma en que el equipo se relaciona con el proceso.
- **Módulos funcionales.** Algunos tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre el proceso como por ejemplo el posicionamiento de ejes, el control de procesos continuos, la noción del tiempo, etc.
- **Memoria de Programa.** Define el tamaño de la memoria del autómata programable y al igual que en el caso de los PCs, ésta se mide en bytes o múltiplos de bytes.
- **Conjunto de instrucciones.** No todos los autómatas son capaces de ejecutar los mismos tipos de instrucciones. Por ejemplo, no todos los autómatas son

capaces de realizar operaciones en coma flotante. Esta característica determinará la potencia del equipo para afrontar el control de ciertos tipos de procesos.

- **Comunicaciones.** Otra de las características más importantes a la hora de poder establecer comparaciones entre autómatas es la capacidad que tengan para intercambiar información con otros autómatas u otros módulos de E/S.

En la mayoría de los casos para llevar a cabo la elección final del tipo de autómata es necesario tener en cuenta otros criterios que son difícilmente medibles y por tanto comparables. Son los llamados criterios cualitativos.

2. Criterios Cualitativos, como su propio nombre indica son criterios que hacen referencia a aspectos que determinan en cierta medida la calidad del autómata. Son por ejemplo:

- **Ayudas al desarrollo de programas.** Hace referencia a la cantidad de información y ayuda que presta la empresa distribuidora del equipo a nivel local, estatal o el Internet, gran parte de esta información estará recogida en páginas web del fabricante. Será pues importante evaluar el idioma en que están escritas, la facilidad para encontrar la información buscada en las mismas y la capacidad de esta información para resolver problemas reales.
- **Fiabilidad del producto.** Es una característica muy importante que hace referencia directamente al funcionamiento del autómata. Por lo general la marca o nombre del fabricante del equipo es un aval suficiente para conocer el grado de fiabilidad del mismo.
- **Servicios del proveedor.** Es muy importante evaluar que servicios extra aporta el distribuidor del equipo a nivel local o nacional como: cursillos de formación, su precio, el lugar, capacidad para aportar recursos humanos, capacidad para aportar recursos técnicos, etc.
- **Normalización en planta.** Esta característica hace referencia a la capacidad del equipo para ser conectado e intercambiar información de manera correcta y efectiva con el resto de dispositivos y equipos que ya estén instalados en una planta dada. Vendrá determinada por la capacidad del autómata de soportar estándares

internacionales de comunicación, de programación, de conexión, de arquitectura, etc.

- **Compatibilidad con equipos de otras gamas.** Ahondando en el punto anterior, incluso puede darse el caso en que dos equipos del mismo fabricante pero de gamas distintas no sean compatibles entre sí, desde el punto de vista de la conexión y la capacidad de comunicación.
- **Coste.** Aunque el precio de un producto es un criterio cuantitativo que puede ser medido y comparado, su coste o valor apreciado no lo es. Este hace referencia a la apreciación de cuán caro o barato le parece a una persona un producto. En el caso de los autómatas programables, el resultado de este criterio vendrá dado por la correlación entre el coste del equipo y el resto de características cualitativas del mismo.

Estas características cualitativas a la larga acaban convirtiéndose en las más importantes a la hora de seleccionar no tanto qué equipo adquirir sino el fabricante.

2.2 Monitoreo a través de Pantallas de Toque

2.2.1 Pantallas táctiles o "touchscreen"⁴

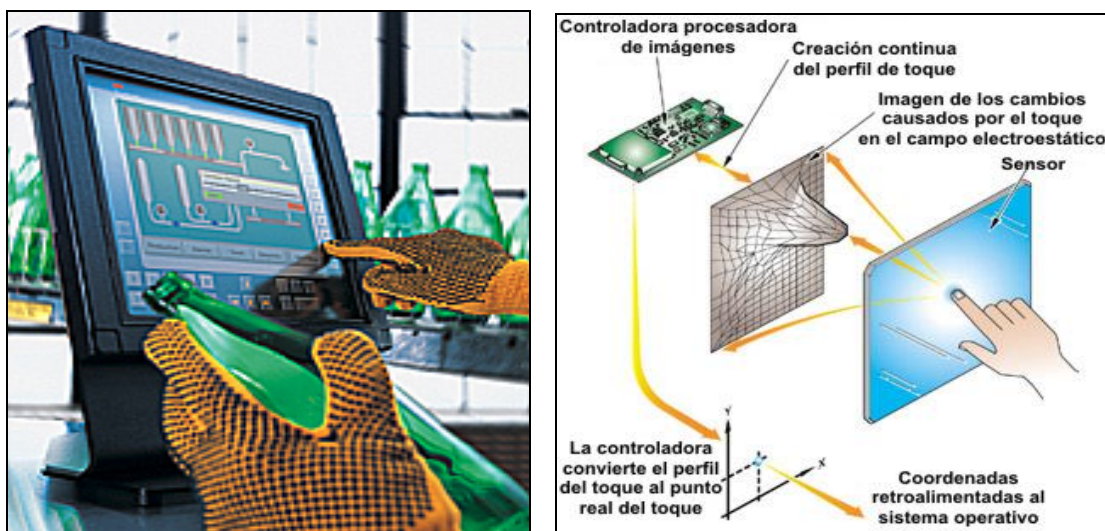


Figura 2.11 Pantalla Táctil.

⁴ Pantallas Táctiles, <http://www.tec-mex.com.mx/touchscreen/touch.htm>.

Muchos ordenadores portátiles usan el llamado "touchpad". Se trata de una pequeña superficie sobre la que desplazamos un dedo con la que controlamos el movimiento del cursor en la pantalla. También habremos visto las pantallas táctiles, tocando con un dedo sobre la pantalla simula la pulsación de botones como se muestra en la figura 2.11, en esta sección en particular se verá cómo funciona este dispositivo.

Existen varias tecnologías para implementar los sistemas táctiles, cada una basada en diferentes fenómenos y con distintas aplicaciones. Los sistemas táctiles más importantes son:

- Pantallas táctiles por infrarrojos
- Pantallas táctiles resistivas
- Pantallas táctiles capacitivas
- Pantallas táctiles de onda acústica superficial, (SAW)

Pantallas Táctiles de Infrarrojos, el sistema más antiguo y fácil de entender es el sistema de infrarrojos. En los bordes de la pantalla, es decir en la carcasa de la misma, existen unos emisores y receptores de infrarrojos. En un lado de la pantalla están los emisores y en el contrario los receptores. Tenemos una matriz de rayos infrarrojos vertical y horizontal. Al pulsar con el dedo o con cualquier objeto, sobre la pantalla interrumpimos un haz infrarrojo vertical y otro horizontal. El ordenador detecta que rayos han sido interrumpidos, conoce de este modo dónde hemos pulsado y actúa en consecuencia.

Pantallas táctiles resistivas, es un tipo de pantallas táctiles muy usado. La pantalla táctil propiamente dicha está formada por dos capas de material conductor transparente, con una cierta resistencia a la corriente eléctrica, y con una separación entre las dos capas. Cuando se toca la capa exterior se produce un contacto entre las dos capas conductoras. Un sistema electrónico detecta el contacto y midiendo la resistencia puede calcular el punto de contacto.

Pantallas táctiles "Touchscreen" capacitivas, en estas pantallas se añade una capa conductora al cristal del propio tubo. Una capa que almacena cargas se sitúa sobre el cristal del monitor. Cuando un usuario toca el monitor algunas cargas se transfieren al usuario, de tal forma que la carga en la capa capacitiva se decrementa. Este decrecimiento se mide en los circuitos situados en cada esquina del monitor. El ordenador calcula, por la diferencia

de carga entre cada esquina, el sitio concreto donde se tocó y envía la información al software de control de la pantalla táctil.

Pantallas táctiles de onda acústica superficial (SAW), A través de la superficie del cristal se transmiten dos ondas acústicas inaudibles para el hombre. Una de las ondas se transmite horizontalmente y la otra verticalmente. Cada onda se dispersa por la superficie de la pantalla rebotando en unos reflectores acústicos. Las ondas acústicas no se transmiten de forma continua, sino por trenes de impulsos. Dos detectores reciben las ondas, uno por cada eje. Cuando el usuario toca con su dedo en la superficie de la pantalla, el dedo absorbe una parte de la potencia acústica, atenuando la energía de la onda. El circuito controlador mide el momento en que recibe una onda atenuada y determina las coordenadas del punto de contacto. Además de las coordenadas X e Y, la tecnología SAW es capaz de detectar el eje Z, la profundidad, o la presión aproximada que se ha ejercido con el dedo, puesto que la atenuación será mayor cuanto más presión se ejerza ⁵.

2.2.2 Paneles de operador (OP)⁶

Los OP (Operator Panel) son paneles de operación que facilitan el acceso visual del operario al sistema de automatización, englobándose dentro del famoso "Human Machine Interface" (Interfaz Humano con la Maquinaria) como se ilustra en la figura 2.12.



Figura 2.12 Ejemplos Pantallas de Operador

⁵ Tecnologías de Pantallas Táctiles, <http://www.ecojoven.com/dos/05/tactil.html>.

⁶ Chacón Alex, *Paneles de Operador Apuntes de Clase Informática Industrial*, ESPE 2006.

Algunas facilidades que ofrecen los Paneles de Operador son:

- Acceso rápido y sencillo a los datos del sistema.
- Supervisión y control del proceso.
- Visualización del proceso (sólo en Paneles gráficos).
- Modificación de parámetros y órdenes (sólo en casos en que se lo requiera).

Los paneles de operador poseen una serie de ventajas que les hace ideales para su uso en sistemas de automatización, entre las cuales figuran:

- No se necesita una programación del PLC (salvo interacción con éste).
- No se emplea memoria de usuario.
- No se necesitan interfaces con el programa de aplicación.
- No consume tiempo de CPU en el PLC (salvo interacción con éste).
- Rápida actualización y visualización de los datos presentados.
- Configuración simple.
- Cuando la CPU del PLC está parada es posible establecer comunicación entre el OP y el PLC.

Todo OP posee los siguientes componentes:

- CPU (normalmente un procesador 486 o 386, etc.).
- Pantalla.
- Teclado.
- Puerto(s) de comunicación.
- Ranuras de expansión (según modelo y fabricante).

La CPU es la encargada de realizar todas las funciones del aparato. Se encarga de:

- Lectura del teclado o pantalla táctil.
- Lectura de datos por el puerto correspondiente de comunicación (serie, bus de campo, etc.).
- Procesamiento de los datos recogidos.
- Envío de datos por el puerto de comunicación (si es necesario).
- Presentación de los datos en pantalla.

Como es lógico la CPU posee su propia memoria RAM y ROM para poder almacenar el programa de tratamiento de datos y presentación (sistema operativo del OP) y para

almacenar los datos convenientes. De esta forma se evita consumir tiempo de CPU y memoria de otro sistema externo (como un PLC). El teclado puede ser configurable por el usuario, y puede ser más o menos completo según el tipo de OP, es posible emplear pantallas táctiles, suprimiendo el teclado.

En cuanto al tipo de pantalla hay varias posibilidades:

- Sólo texto (el número de filas y columnas depende del modelo).
- Gráfico monocromo.
- Gráfico en color.

Los OP permiten también una serie de accesorios según el modelo y fabricante, entre los cuales figuran:

- Baterías para funcionamiento en caso de fallo de alimentación.
- Comunicación Ethernet, serie (RS232 o RS485), etc.
- Comunicación con buses de campo (Profibus, Modbus, etc.).

Cabe destacar las pantallas de operador se han convertido en una herramienta muy útil y necesaria a la hora de automatizar un proceso, debido a su fácil manejo por parte de los operadores y su fácil programación por parte de los diseñadores de HMIs, además es una herramienta interactiva que configurada de una manera adecuada entrega al usuario la mayor cantidad de información posible acerca del proceso.

2.3 Software SCADA y Diseño de HMI's ⁷.

El objetivo principal de la automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. Desde hace ya varios años, se ha estado desarrollado un sistema, denominado SCADA, el cuál permite supervisar y controlar, las distintas variables que se encuentran en un proceso o planta. Para ello se deben utilizar distintos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc..., los cuales permiten al operador mediante la visualización en una pantalla de computador, tener el completo acceso al proceso.

⁷ Chacón Alex, *Sistemas SCADA Apuntes de Clase Informática Industrial*, ESPE 2006.

Existen como sabemos varios sistemas que permiten controlar y supervisar un proceso, como lo son: PLCs, DCS y SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí, mediante una red Ethernet, y así mejorar en tiempo real, la interfaz al operador.

Ahora no sólo se puede supervisar el proceso, sino además tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, documento Word, todo en ambiente Windows, siendo así todo el sistema más amigable.

2.3.1 Descripción General de un Sistema SCADA

El nombre **SCADA** significa: (*Supervisory Control And Data Acquisition*, Control Supervisor y Adquisición de datos). Un sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel con el usuario (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, etc.). Aunque inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos han ido surgiendo una serie de productos hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para éste tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, se realiza una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión. El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación, etc.) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios.

Los sistemas SCADA se utilizan en el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural, subterráneos, generación energética (convencional y nuclear)...

2.3.2 Características de un Sistema SCADA

Los sistemas SCADA, en su función de sistemas de control, dan una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas ofrecen: la de *supervisión*. Sistemas de control hay muchos y muy variados, todos bien aplicados, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada, es la característica de *control supervisado*. De hecho, la parte de control viene definida y supeditada, por el proceso a controlar, y en última instancia, por el hardware e instrumental de control (PLCs, controladores lógicos, armarios de control...) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta los cuales pueden existir previamente a la implantación del sistema SCADA, el cual se instalará sobre y en función de estos sistemas de control. En consecuencia, se supervisa el control de la planta y no solamente se monitorea las variables que en un momento determinado están actuando sobre la planta, si no que también, se puede actuar y variar los parámetros de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con la facilidad intuitiva que dan los sistemas SCADA.

La labor del supervisor representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo, de ésta acción depende en gran medida garantizar la calidad y eficiencia del proceso que se desarrolla. En el supervisor descansa la responsabilidad de orientar o corregir las acciones que se desarrollan, en el caso de los sistemas SCADA, estas recaen sobre el operario. Esto diferencia notablemente los sistemas SCADA de los sistemas clásicos de automatización donde las variables de control están distribuidas sobre los controladores electrónicos de la planta y dificulta mucho una variación en el proceso de control. La función de monitorización se realiza sobre un PC industrial ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, lo que se denomina un HMI (Human Machine Interface), los sistemas SCADA utilizan un HMI interactivo el cual permite detectar alarmas y a través de la pantalla solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en *tiempo real*. Esto otorga una gran flexibilidad a los sistemas SCADA. En definitiva, el modo supervisor del HMI de un sistema SCADA no solamente señala los problemas, sino lo más importante, orienta en los procedimientos para solucionarlos.

A menudo, las palabras SCADA y HMI inducen cierta confusión ya que todos los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC-Operario tipo HMI, pero no todos los sistemas de

automatización que tienen HMI son SCADA. La diferencia radica en la función de supervisión que pueden realizar estos últimos a través del HMI, dichas funciones se las detalla a continuación.

- **Adquisición y almacenado de datos**, para recoger, procesar y almacenar la información recibida, en forma continua y confiable.
- **Representación gráfica** y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas.
- Ejecutar **acciones de control**, para modificar la evolución del proceso, actuando o bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) o bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.
- **Arquitectura abierta y flexible** con capacidad de ampliación y adaptación
- **Conectividad** con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación
- **Supervisión**, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- **Transmisión**, de información con dispositivos de campo y otros PC.
- **Base de datos**, gestión de datos con bajos tiempos de acceso. Suele utilizar ODBC.
- **Presentación**, representación gráfica de los datos. Interfaz de Operador o HMI (Human Machine Interface).
- **Explotación** de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción, gestión administrativa y financiera.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

2.3.3 Prestaciones de un Sistema SCADA

Las prestaciones que puede ofrecernos un sistema SCADA eran impensables hace una década y son las siguientes:

- 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 volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Creación de informes, avisos y documentación en general.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas (bajo ciertas condiciones).
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómatas, menos especializado, etc.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC, con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco o impresora, control de actuadores, etc.

2.3.4 Componentes de Hardware de un Sistema SCADA

Un sistema SCADA, como aplicación de *software* industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada, como se muestra en la figura 2.13.

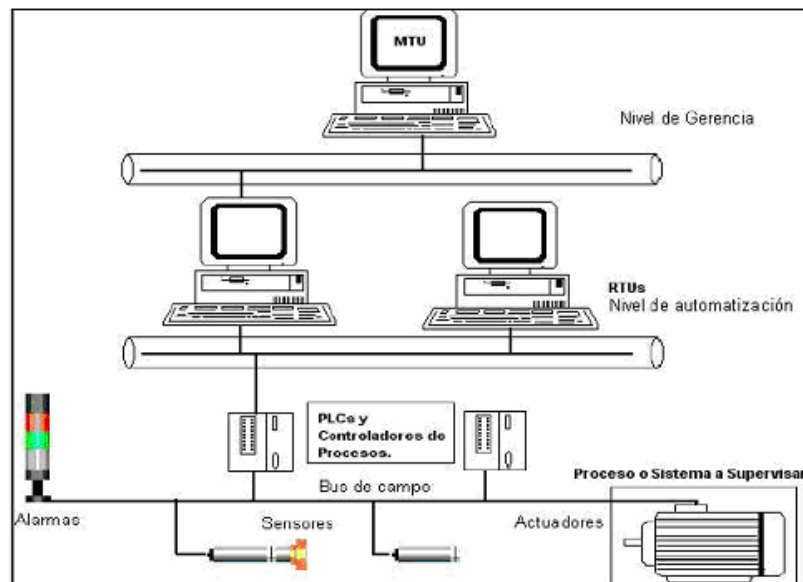


Figura 2.13 Estructura Básica de un Sistema SCADA.

Ordenador Central o MTU (*Master Terminal Unit*): Se trata del ordenador principal del sistema el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados (en sistemas red) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser un PC, el cual soporta el HMI. De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, el cual es el MTU que supervisa toda la estación.

Las funciones principales de la MTU son:

- Interroga en forma periódica a las RTU's, y les transmite consignas, siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.
- Actúa como interfase al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas, y la recolección y presentación de información historizada.
- Puede ejecutar software especializado que cumple funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. Por ejemplo, software para detección de pérdidas en un oleoducto.

Ordenadores Remotos o RTUs (*Remote Terminal Unit*): Estos ordenadores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionando y controlando las subestaciones del sistema, reciben las señales de los sensores de campo, y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA. Se encuentran en el nivel intermedio o de automatización, a un nivel superior está el MTU y a un nivel inferior los distintos instrumentos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos. Estos ordenadores no tienen porque ser PCs, ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel, por lo tanto suelen ser ordenadores industriales tipo armarios de control, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones intermedias en formato HMI.

Una tendencia actual es la de dotar a los PLCs (en función de las E/S a gestionar) con la capacidad de funcionar como RTUs gracias a un nivel de integración mayor y CPUs con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costes en sistemas donde las subestaciones no sean muy complejas sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso.

Red de comunicación: Éste es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el sistema SCADA, ya que no todos los softwares (así como los instrumentos de campo como PLCs) pueden trabajar con todos los tipos de BUS. Hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, podemos implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de BUS. Podemos encontrar SCADAs sobre formatos estándares como los RS-232, RS-422 y RS-485 y mediante un protocolo TCP/IP, pasando por todo tipo de buses de campo industriales, hasta formas más modernas de comunicación como Bluetooth (Bus de Radio), Micro-Ondas, Satélite, Cable...

A parte del tipo de BUS, existen interfaces de comunicación especiales para la comunicación en un sistema SCADA como puede ser módems para estos sistemas que soportan los protocolos de comunicación SCADA y facilitan la implementación de la aplicación. Otra característica de las comunicaciones de un sistema SCADA es que la mayoría se implementan sobre sistemas WAN de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar deslocalizados geográficamente.

Instrumentos de Campo: Son todos aquellos que permiten tanto realizar la automatización o control del sistema (PLCs, controladores de procesos industriales, y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores y alarmas). Una característica de los Sistemas SCADA es que sus componentes son diseñados por distintos proveedores, sin coordinación entre sí. Así, se tienen diferentes proveedores para las RTUs (incluso es posible que un sistema utilice RTUs de más de un proveedor), módems, radios, minicomputadores, software de supervisión e interfase con el operador, software de detección de pérdidas, etc...

2.3.5 Selección de un Sistema SCADA

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para manejar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.

- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere en tiempo real.

La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLCs, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

Antes de comenzar a dimensionar y seleccionar los equipos de control a utilizarse en una planta o proceso, existen ciertos parámetros importantes que se deben tener en cuenta y no pasar por alto, como son la compatibilidad de los equipos con la planta, facilidad de montaje, facilidad de adquisición en el mercado nacional, servicio técnico, precio, entre otros, estas características ya fueron puntualizadas en el capítulo anterior y en el presente utilizaremos estas herramientas para seleccionar los equipos que mejor se ajusten a nuestras necesidades.

Luego de realizar un exhaustivo análisis de las características de varios equipos que podían ser usados para el monitoreo de estas señales de alarma se decidió escoger un PLC del grupo SCHNEIDER en la marca Telemecanique del modelo TWIDO DRF40 como el que se muestra en la figura 3.1, debido a que el tipo de comunicación recomendada y requerida por el Sistema Papallacta Integrado para garantizar la compatibilidad en lo referente a equipos, sugiere la utilización del protocolo ModBus Ethernet, ya que en la amplia, sólida y moderna red que posee el Sistema Papallacta es este protocolo, el que actualmente poseen la mayoría de equipos en cada estación, garantizándose de esta manera el poder monitorear el equipo a través del sistema SCADA cuyo software de desarrollo es Intouch 9.0 del cual se posee el driver que permite la comunicación Modbus Ethernet adicionalmente cabe mencionar que los paneles de Operador que poseen las estaciones del Sistema Papallacta Integrado son del tipo Magelis XBT-6330, las cuales también utilizan el mencionado protocolo para su comunicación, a continuación en las tablas 3.1 y 3.2 se detallan los parámetros mas importantes del PLC TWIDO DRF40.



Fuente: Twido-Panorama 2006 Catálogo

Figura 3.1 PLC TWIDO DRF 40

Tabla 3.1 Características Ambientales PLC TWIDO DRF40

Características del Controlador Base TWIDO DRF40		
Temperatura de Operación	0 a 55	Grados Centígrados
Humedad Relativa	30 a 95%	Sin condensación
Grado de Protección	IP 20	
Resistencia de Vibración	10 a 57 Hz	
Resistencia de choque	147 m/s ²	en 11 ms
Batería de Backup	30 días	a 25°C

Tabla 3.2 Características principales PLC TWIDO DRF40

	Parámetro	Características
TWIDO DRF40		
(Entradas/Salidas) Discretas	40	
Entradas Discretas	24	24 VDC sink/source
Salidas Discretas	14	Relay
	2	Transistor
Módulos Expansión	7	Como Máximo
Discretos	8,16,32(I/O)	24 VDC
Analógicos	2,4,8	Configurables 4-20ma, 0-20ma, 0-10VDC, -10 10 VDC
ASI	62	Módulos
Contadores 5KHz	4	16 bits
Contadores 20KHz	2	32 bits
PWM	2	
Funciones	PID	
	Procesamiento de Eventos	
Comunicaciones		Modbus Master/Slave RTU. ASCII, Modbus Ethernet
RS 485	1	Mini Din/38.4 Kb/s
RS 232C	Opcional	Mini Din
Ethernet	1	RJ45
Voltaje de Alimentación	100...240 VAC	

Tabla 3.2 Características principales PLC TWIDO DRF40 (continuación)

Fuente Integrada	24 VDC	
Scan Time	1ms/1000 Instrucciones	
Programación		
Memoria de Aplicación	3000 instrucciones	6000 con cartucho de extensión de memoria
Bits internos	256	
Palabras internas	3000	
Bloques de función estándar	64 temporizadores, 128 Contadores	
	Double Words, Punto flotante	
	Trigonómicas, Reloj en tiempo real	
Lenguaje	Ladder y Lista de Instrucciones	
Software	Twido Soft o Twido Suite	

Como se puede notar, el controlador compacto por si solo no tiene la cantidad de entradas digitales que requiere el sistema ya que en promedio las señales de alarma que se necesita monitorear por cada estación es de 100 señales, es por ello que se ha visto la necesidad de utilizar la característica de este autómatas referente al uso de módulos de expansión que para este modelo son de máximo 7 módulos, estos módulos tienen la capacidad de conectar 8, 16 y 32 entradas o salidas, específicamente se ha decidió utilizar 4 módulos de 32 entradas como el que se muestra en la figura 3.2, obteniéndose un total de 128 entradas y dejando una reserva de 3 slots más, pudiendo en un futuro tener un total de 224 entradas, a continuación se detallan las características de estos módulos en la tabla 3.3. Cabe destacar que el tipo de señal que poseen todas y cada una de las señales de alarma a monitorearse es del tipo discreta, el rango de voltajes es 24VDC – 0VDC.



Fuente: Twido-Panorama 2006 Catálogo

Figura 3.2 Módulo de Expansión TWD DDI 32DK

Tabla 3.3 Características del Módulo de Expansión TWD DDI 32DK

Característica de los Módulos de Expansión TWD DDI 32DK	
Tipo	32 entradas
Conexión	Dos HE 10 Telefast macho
Entradas	
Rango de Voltajes	20.4 a 28.8 VDC
Corriente de Entrada	5mA por punto
Lógica	sink/source
Tiempo de respuesta	4ms

Los módulos de expansión TWD DDI 32DK como el que se ilustra en la figura 3.3, admiten 32 entradas a 24VDC, que es lo que se requiere, pero dichas entradas no pueden ser conectadas directamente al módulo, puesto que estos necesitan recibir las señales en borneras del tipo Telefast, las cuales reciben la señal y por medio de un bus de datos envían las señales a los módulos de expansión y estos a su vez envían los datos al PLC, a continuación se describen las características de estas borneras Telefast, en la tabla 3.4.



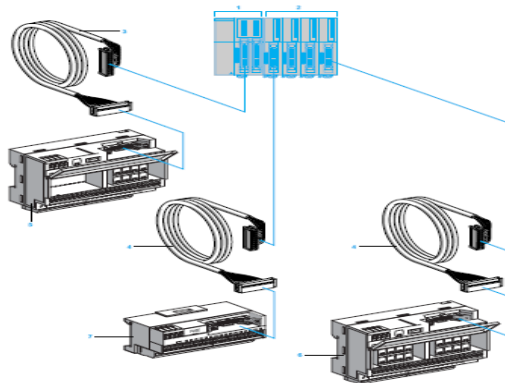
Fuente: Twido-Panorama 2006 Catálogo

Figura 3.3 Bornera Telefast ABE-16EPN20

Tabla 3.4 Características de las Borneras

Características de las Borneras Telefast ABE-16EPN20	
Voltaje entrada	24VDC
Voltaje de salida	24VDC
Corriente por canal	5mA
Número de I/O	16 entradas
Tipo de I/O	16 entradas sink (1 común)
Número de terminales por canal	2
Tipo de conexión	HE 10 conector macho
Protección	1 Fusible (2 A)

Las borneras Telefast se conectan a los módulos de expansión por medio de un cable tipo HE-10 como el que se observa en la figura 3.4 cuyas características se detallan a continuación, en la tabla 3.5.



Fuente: Twido-Panorama 2006 Catálogo

Figura 3.4 Cable Telefast HE 10 para PLC Twido

Tabla 3.5 Características del cable Telefast HE 10

Características del Cable HE 10 Telefast	
Vías	20
Conectores	2 HE 10 hembra
Cable calibre	22 AWG/cada vía
Longitud	0,5-1-2-3 y 5 metros

A continuación detallan la lista de equipos a utilizarse y el número de señales correspondientes a las alarmas en cada estación del Sistema Papallacta Integrado.

3.1 Hardware para la Estación Elevadora¹

Como se indicó en el capítulo 1 la Estación Elevadora es la primera estación en el tramo de bombeo del Sistema Papallacta Integrado, en la cual el sistema de alarmeros inteligentes pretende monitorear 82 señales de alarma, las cuales se detallan en la tabla 3.6.

¹ SCHORCH GMBH, Funcional Estación Elevadora, Enero 1990.

Tabla 3.6 Señales de Alarma Estación Elevadora

Señales de alarma de la Estación Elevadora	
No	Nombre
Panel 4	
1	Rectificador 24VDC fallo en Red
2	Rectificador 24VDC falta CA
3	Rectificador 24VDC falta CC
4	Rectificador 110VDC fallo en Red
5	Rectificador 110VDC falta CA
6	Rectificador 110VDC falta CC
7	Tensión 24VDC avería
8	Tensión 110VDC avería
9	6,6Kv entrada sobre corriente
10	6,6Kv fallo a tierra entrada
11	6,6Kv fallo voltaje entrada
12	500KVA auxiliar transformador sobre corriente
13	500KVA auxiliar transformador fallo tierra
14	500KVA auxiliar transformador temperatura presión
15	500KVA auxiliar transformador temperatura presión
16	500KVA auxiliar transformador "TUMETIC"
17	460 VAC no presentes
18	Fallo electrónico
19	Paro estación iniciado
20	Paro total estación
Panel 5	
22	Paro de emergencia estación
23	Paro de emergencia una bomba
24	Secuencia de arranque interrumpida
25	Fallo CPU 1
26	Fallo CPU 2
27	Fallo comunicación centro SCADA
28	Falla Válvula K101 A
29	Falla Válvula K101 B
30	Falla Válvula K101 C
31	Falla Válvula K101 D
32	Falla Válvula K101 E
33	Nivel bajo de pileta 63%
34	Nivel muy bajo de pileta 27%
35	Nivel Alto de One Way
36	Nivel bajo de One Way
37	Nivel muy bajo de One Way
38	Paro Emergencia Booster 1
39	Paro Emergencia Estación 1 bomba
40	Nivel alto de chimenea Booster1
41	Nivel bajo de chimenea Booster1
42	Nivel muy bajo de chimenea Booster1
Bomba 1	
43	Tensión 24VDC Avería
44	Tensión 110VDC Avería
45	Bomba Eléctrica Avería

Tabla 3.6 Señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

46	Dirección de Rotación
47	Vibraciones
48	Vibración iniciado
49	Sumatorio Temperatura
50	Sumatorio Temperatura
Bomba 2	
51	Tensión 24VDC Avería
52	Tensión 110VDC Avería
53	Bomba Eléctrica Avería
54	Dirección de Rotación
55	Vibraciones
56	Vibración iniciado
57	Sumatorio Temperatura
58	Sumatorio Temperatura
Bomba 3	
59	Tensión 24VDC Avería
60	Tensión 110VDC Avería
61	Bomba Eléctrica Avería
62	Dirección de Rotación
63	Vibraciones
64	Vibración iniciado
65	Sumatorio Temperatura
66	Sumatorio Temperatura
Bomba 4	
67	Tensión 24VDC Avería
68	Tensión 110VDC Avería
69	Bomba Eléctrica Avería
70	Dirección de Rotación
71	Vibraciones
72	Vibración iniciado
73	Sumatorio Temperatura
74	Sumatorio Temperatura
Bomba 5	
75	Tensión 24VDC Avería
76	Tensión 110VDC Avería
77	Bomba Eléctrica Avería
78	Dirección de Rotación
79	Vibraciones
80	Vibración iniciado
81	Sumatorio Temperatura
82	Sumatorio Temperatura

A continuación en la figura 3.5 se puede observar un esquema general de las gestiones que debería hacer el sistema de alarmeros en la Estación Elevadora.

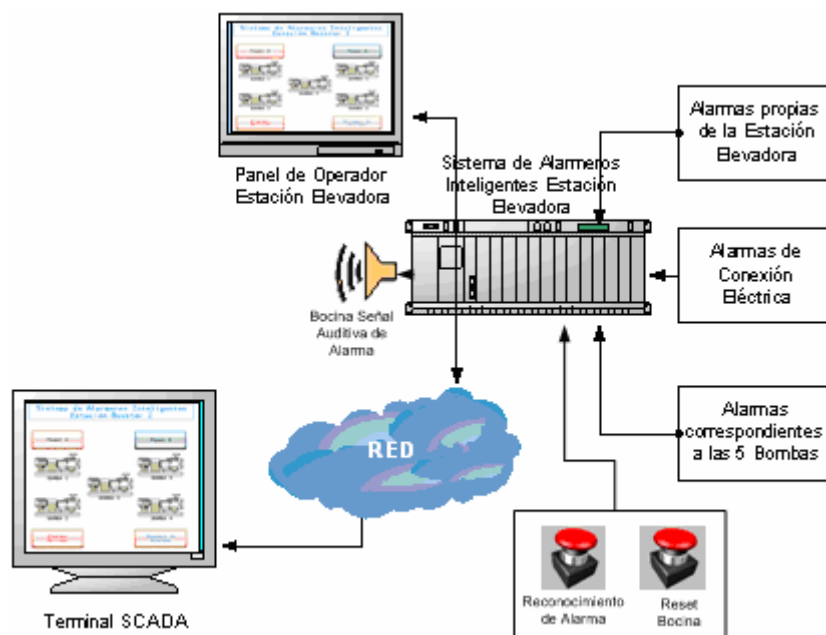


Figura 3.5 Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Elevadora.

En la tabla 3.7 se detalla la lista de equipos a utilizarse de acuerdo al número de señales correspondientes a las alarmas de la estación Elevadora.

Tabla 3.7 Lista de Equipos a Utilizarse en la Estación Elevadora.

Nombre	Descripción	Cantidad
TWIDO DRF40	Controlador Lógico Programable (PLC)	1
TWD DDI 32DK	Módulo de Expansión 32 Entradas Digitales	4
Borneras Telefast	Bornera 16 Entradas Digitales	8
Cable HE 10 Telefast	Cable de conexión Modulo-Bornera	8

3.2 Hardware para la Estación Booster I²

Como se indicó en el capítulo 1 la Estación Booster I es la segunda estación en el tramo de bombeo del Sistema Papallacta Integrado, en esta estación el sistema de alarmeros inteligentes pretende monitorear 124 señales de alarma, como se muestra en la tabla 3.8.

² SCHORCH GMBH, Funcional Estación Booster I, Enero 1990.

Tabla 3.8 Señales de Alarma Estación Booster I

Señales de Alarma Estación Booster I	
Panel 4	
1	Rectificador 24VDC Falla en RED
2	Rectificador 24VDC Falta CA
3	Rectificador 24VDC Falta CC
4	Rectificador 110 VDC FALLO EN RED
5	Rectificador 110 VDC Falta CA
6	Rectificador 110 VDC Falta CC
7	Tensión 24 VDC Avería
8	Tensión 110 VDC Avería
9	6.6Kv Entrada sobre corriente
10	6.6Kv Entrada protección de tierra
11	6.6Kv Entrada falta tensión
12	6.6Kv Entrada protección diferencial
13	500KVA Auxiliar sobre corriente
14	500KVA Auxiliar protección de tierra
15	460 V No presentes
16	132 KV Transformador acometida averiada
17	132 KV Transformador red trifásica desconectada
18	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 1
19	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 2
20	132 KV Corriente trifásica motor accionamiento
21	132 KV Transformador protección desenganche
22	132 KV Transformador protección
23	132 KV Transformador termómetro
24	132 KV Transformador interruptor nivel min. aceite
25	132 KV Transformador principal nivel min. aceite
26	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
27	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
28	500 KVA Auxiliar transformador "TUMETIC"
29	Fallo electrónico
30	Paro estación iniciado
31	Paro total estación
32	Reserva
33	Reserva
Panel 5	
34	Paro Emergencia estación
35	Paro emergencia una bomba
36	Secuencia de arranque interrumpida
37	Fallo CPU 1

Tabla 3.8 Señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

38	Fallo CPU 2
39	Fallo comunicación centro SCADA
40	Falla válvula K301A
41	Falla válvula K301B
42	Falla válvula K301C
43	Falla válvula K301D
44	Falla válvula K301E
45	Nivel alto de chimenea 100%
46	Nivel bajo de chimenea 16%
47	Nivel muy bajo de chimenea 8%
48	Paro de emergencia Booster 1
49	Paro bomba emergencia Booster 1
50	Nivel de túnel alto
51	Paro Turbina
52	Reserva
53	Reserva
54	Reserva
Bomba 1	
55	Tensión 24 VDC Avería
56	Tensión 110 VDC Avería
57	Bomba de aceite 1 Avería
58	Bomba de aceite 2 Avería
59	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
60	Bomba eléctrica Avería
61	Dirección de rotación
62	Vibraciones
63	Vibración iniciado
64	Sumatorio de temperaturas
65	Sumatorio de temperaturas
66	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
67	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
68	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 2	
69	Tensión 24 VDC Avería
70	Tensión 110 VDC Avería
71	Bomba de aceite 1 Avería
72	Bomba de aceite 2 Avería
73	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
74	Bomba eléctrica Avería
75	Dirección de rotación
76	Vibraciones

Tabla 3.8 Señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

77	Vibración iniciado
78	Sumatorio de temperaturas
79	Sumatorio de temperaturas
80	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
81	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
82	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 3	
83	Tensión 24 VDC Avería
84	Tensión 110 VDC Avería
85	Bomba de aceite 1 Avería
86	Bomba de aceite 2 Avería
87	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
88	Bomba eléctrica Avería
89	Dirección de rotación
90	Vibraciones
91	Vibración iniciado
92	Sumatorio de temperaturas
93	Sumatorio de temperaturas
94	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
95	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
96	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 4	
97	Tensión 24 VDC Avería
98	Tensión 110 VDC Avería
99	Bomba de aceite 1 Avería
100	Bomba de aceite 2 Avería
101	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
102	Bomba eléctrica Avería
103	Dirección de rotación
104	Vibraciones
105	Vibración iniciado
106	Sumatorio de temperaturas
107	Sumatorio de temperaturas
108	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
109	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
110	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 5	
111	Tensión 24 VDC Avería
112	Tensión 110 VDC Avería
113	Bomba de aceite 1 Avería

Tabla 3.8 Señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

114	Bomba de aceite 2 Avería
115	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
116	Bomba eléctrica avería
117	Dirección de rotación
118	Vibraciones
119	Vibración iniciado
120	Sumatorio de temperaturas
121	Sumatorio de temperaturas
122	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
123	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
124	Nivel de Aceite Mínimo

A continuación en la figura 3.6 se muestra un esquema general de las gestiones que debería hacer el sistema de alarmeros en la Estación Booster I.

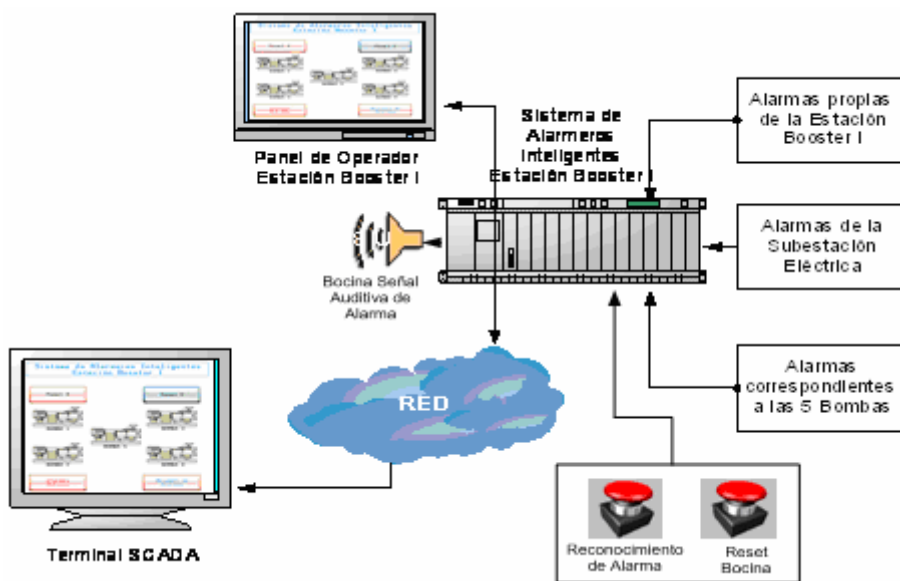


Figura 3.6 Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Booster I.

En la tabla 3.9 se detalla la lista de equipos a utilizarse de acuerdo al número de señales correspondientes a las alarmas de la estación Booster I.

Tabla 3.9 Lista de Equipos a Utilizarse en la Estación Booster I.

Nombre	Descripción	Cantidad
TWIDO DRF40	Controlador Lógico Programable (PLC)	1
TWD DDI 32DK	Módulo de Expansión 32 Entradas Digitales	4
Borneras Telefast	Bornera 16 Entradas Digitales	8
Cable HE 10 Telefast	Cable de conexión Modulo-Bornera	8

3.3 Hardware para la Estación Booster II³.

Como se indicó en el capítulo 1 la Estación Booster II es la tercera estación en el tramo de bombeo del Sistema Papallacta Integrado, en esta estación el sistema de alarmeros inteligentes pretende monitorear 124 señales de alarma, como se observa en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Señales de Alarma Estación Booster II

Señales de Alarma Estación Booster II	
Panel 4	
1	Rectificador 24VDC Falla en RED
2	Rectificador 24VDC Falta CA
3	Rectificador 24VDC Falta CC
4	Rectificador 110 VDC FALLO EN RED
5	Rectificador 110 VDC Falta CA
6	Rectificador 110 VDC Falta CC
7	Tensión 24 VDC Avería
8	Tensión 110 VDC Avería
9	6.6Kv Entrada sobre corriente
10	6.6Kv Entrada protección de tierra
11	6.6Kv Entrada falta tensión
12	6.6Kv Entrada protección diferencial
13	500KVA Auxiliar sobre corriente
14	500KVA Auxiliar protección de tierra
15	460 V No presentes
16	132 KV Transformador acometida averiada
17	132 KV Transformador red trifásica desconectada
18	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 1
19	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 2
20	132 KV Corriente trifásica motor accionamiento

³ SCHORCH GMBH, Funcional Estación Booster II, Enero 1990.

Tabla 3.10 Señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

21	132 KV Transformador protección desenganche
22	132 KV Transformador protección
23	132 KV Transformador termómetro
24	132 KV Transformador interruptor nivel min. aceite
25	132 KV Transformador principal nivel min. aceite
26	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
27	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
28	500 KVA Auxiliar transformador "TUMETIC"
29	Fallo electrónico
30	Paro estación iniciado
31	Paro total estación
32	Reserva
33	Reserva
Panel 5	
34	Paro Emergencia estación
35	Paro emergencia una bomba
36	Secuencia de arranque interrumpida
37	Fallo cpu1
38	Fallo cpu2
39	Fallo comunicación centro SCADA
40	Falla válvula K301A
41	Falla válvula K301B
42	Falla válvula K301C
43	Falla válvula K301D
44	Falla válvula K301E
45	Nivel alto de chimenea 100%
46	Nivel bajo de chimenea 16%
47	Nivel muy bajo de chimenea 8%
48	Paro de emergencia Booster 1
49	Paro bomba emergencia Booster 1
50	Nivel de túnel alto
51	Paro Turbina
52	Reserva
53	Reserva
54	Reserva
Bomba 1	
55	Tensión 24 VDC Avería
56	Tensión 110 VDC Avería
57	Bomba de aceite 1 Avería
58	Bomba de aceite 2 Avería
59	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería

Tabla 3.10 Señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

60	Bomba eléctrica Avería
61	Dirección de rotación
62	Vibraciones
63	Vibración iniciado
64	Sumatorio de temperaturas
65	Sumatorio de temperaturas
66	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
67	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
68	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 2	
69	Tensión 24 VDC Avería
70	Tensión 110 VDC Avería
71	Bomba de aceite 1 Avería
72	Bomba de aceite 2 Avería
73	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
74	Bomba eléctrica Avería
75	Dirección de rotación
76	Vibraciones
77	Vibración iniciado
78	Sumatorio de temperaturas
79	Sumatorio de temperaturas
80	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
81	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
82	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 3	
83	Tensión 24 VDC Avería
84	Tensión 110 VDC Avería
85	Bomba de aceite 1 Avería
86	Bomba de aceite 2 Avería
87	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
88	Bomba eléctrica Avería
89	Dirección de rotación
90	Vibraciones
91	Vibración iniciado
92	Sumatorio de temperaturas
93	Sumatorio de temperaturas
94	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
95	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
96	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 4	

Tabla 3.10 Señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

97	Tensión 24 VDC Avería
98	Tensión 110 VDC Avería
99	Bomba de aceite 1 Avería
100	Bomba de aceite 2 Avería
101	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
102	Bomba eléctrica Avería
103	Dirección de rotación
104	Vibraciones
105	Vibración iniciado
106	Sumatorio de temperaturas
107	Sumatorio de temperaturas
108	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
109	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
110	Nivel de Aceite Mínimo
Bomba 5	
111	Tensión 24 VDC Avería
112	Tensión 110 VDC Avería
113	Bomba de aceite 1 Avería
114	Bomba de aceite 2 Avería
115	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 Avería
116	Bomba eléctrica avería
117	Dirección de rotación
118	Vibraciones
119	Vibración iniciado
120	Sumatorio de temperaturas
121	Sumatorio de temperaturas
122	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA
123	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA
124	Nivel de Aceite Mínimo

A continuación en la figura 3.7 se muestra un esquema general de las gestiones que debería hacer el sistema de alarmeros en la Estación Booster II.

En la tabla 3.11 se detalla la lista de equipos a utilizarse de acuerdo al número de señales correspondientes a las alarmas de la estación Booster II.

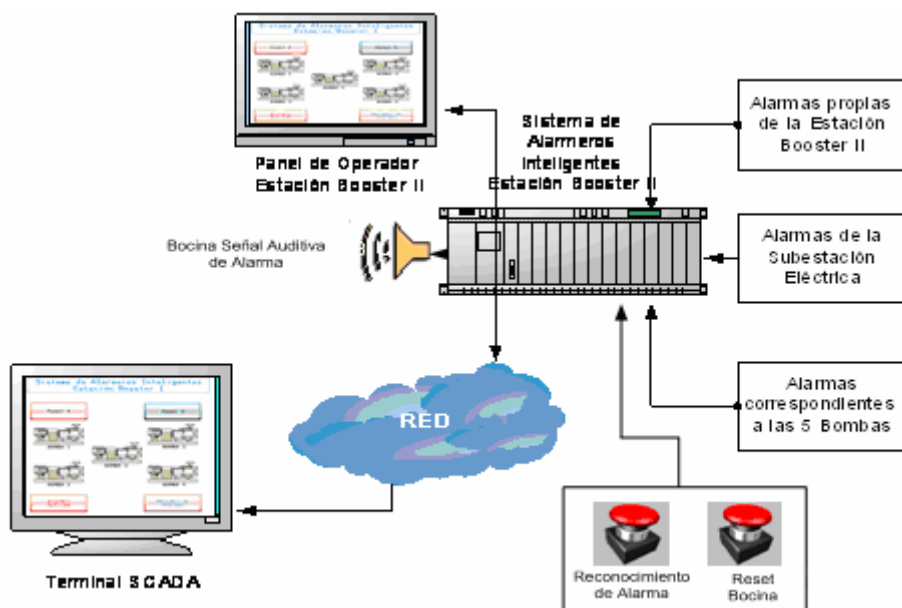


Figura 3.7 Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Booster II.

Tabla 3.11 Lista de Equipos a Utilizarse en la Estación Booster II.

Nombre	Descripción	Cantidad
TWIDO DRF40	Controlador Lógico Programable (PLC)	1
TWD DDI 32DK	Módulo de Expansión 32 Entradas Digitales	4
Borneras Telefast	Bornera 16 Entradas Digitales	8
Cable HE 10 Telefast	Cable de conexión Modulo-Bornera	8

3.4 Hardware para la Estación Recuperadora ⁴

Como se indicó en el capítulo 1, en la Estación Recuperadora de Energía esta ubicada también la Central Hidroeléctrica del mismo nombre, en esta estación el sistema de alarmeros inteligentes pretende monitorear 96 señales de alarma, como se indica en la tabla 3.12.

⁴ SCHORCH GMBH, Funcional Estación Recuperadora, Enero 1990.

Tabla 3.12 Señales de Alarma Estación Recuperadora de Energía

Señales de Alarma Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía	
No	NOMBRE
PANEL 1	
1	Rectificador 24VDC fallo en red
2	Rectificador 24VDC falla circuito C.A
3	Rectificador 24VDC falla circuito C.C
4	Rectificador 110VDC fallo en red
5	Rectificador 110VDC falla circuito C.A
6	Rectificador 110VDC falla circuito C.C
7	Tensión 24 VDC Avería
8	Tensión 110 VDC Avería
9	6.6 KV entrada sobre corriente
10	6.6 KV entrada protección de tierra
11	6.6 KV entrada falta tensión
12	6.6 KV entrada protección diferencial
13	500 KVA Auxiliar sobre corriente
14	500 KVA Auxiliar protección de tierra
15	460 No presentes
16	132 KV Transformador acometida averiada
17	132 KV Transformador red trifásica desconectada
18	132 KV Transformador ventiladores grupo 1
19	132 KV Transformador ventiladores grupo 2
20	132 KV Transformador corriente trifásica de motor accionamiento
21	132 KV Transformador protección desenganche
22	132 KV Transformador protección
23	132 KV Transformador termómetro
24	132 KV Transformador protección buchholz
25	132 KV Transformador relé de protección
26	132 KV Transformador nivel de aceite máximo
27	132 KV Transformador nivel de aceite mínimo
28	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
29	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión
30	500 KVA Auxiliar transformador "Tumetic"
Panel 3	
31	Corriente invertida
32	Sobrecorriente
33	Sobrevoltaje
34	Cortocircuito
35	Protección diferencial
36	Baja frecuencia
37	Puesta a tierra estator
38	Parada de emergencia
39	Fallo electrónico
40	Filtro de aceite alternador sucio
41	Flujo de aceite cojinete LA mínimo
42	Flujo de aceite cojinete LNA mínimo
43	Nivel de aceite muy bajo
44	Vibraciones en cojinetes alternador
45	Vibraciones en cojinetes alternador

Tabla 3.12 Señales de Alarma Estación Recuperadora de Energía (continuación)

46	Bomba 1000 M1 turbina avería
47	Bomba 1010 M1 turbina avería
48	Bomba CC turbina avería
49	Bomba 1 aceite generador fallo
50	Bomba 1 aceite generador fallo
51	Cierre emergencia avería
52	Regulación temperatura desconexión fusible
53	Sumatorio temperatura
54	Sumatorio temperatura
55	Presión regulación muy baja
56	Presión de aceite baja
57	Nivel de aceite muy bajo
58	Nivel de aceite bajo
59	Nivel de aceite alto
60	Filtro regulación de aceite sucio
61	Temperatura aceite alto
62	Temperatura aceite muy alto
63	Filtro 2047 sucio
64	Filtro 2060 sucio
65	Filtro 2072 sucio
66	Temperatura aceite generador muy alta
67	Fallo control válvula de aguja
68	Fallo de señal FC-400
69	Cierre rápido por ETR
70	Señal de velocidad perdida
71	Fallo voltaje regulador turbina
72	Velocidad excesiva turbina
73	Temperatura termómetro contactos
74	Temperatura termómetro contactos
75	Falta tensión auxiliar panel 6.6 KV
76	Falla de excitación
77	Temperatura aceite generador muy baja
78	MCC relé térmico ventilador disparo
Panel 4	
79	Paro emergencia booster 2
80	Paro bomba booster 2
81	Arranque bomba booster
82	Fallo energía cpu túnel
83	Fallo enlace cpu túnel
84	Nivel de túnel alto
85	Nivel de túnel bajo
86	Nivel de túnel muy bajo
87	Fallo energía CPU FIC-500
88	Fallo enlace CPU FIC-500
89	Daño acueducto
90	Válvula K503 cerrada
91	Nivel alto de pileta
92	Nivel bajo de pileta
93	Nivel muy bajo de pileta
94	Fallo CPU1

Tabla 3.12 Señales de Alarma Estación Recuperadora de Energía (continuación)

95	Fallo CPU2
96	Fallo comunicación centro SCADA

A continuación un esquema general de las gestiones que debería hacer el sistema de alarmeros en la Estación Recuperadora, ver figura 3.8.

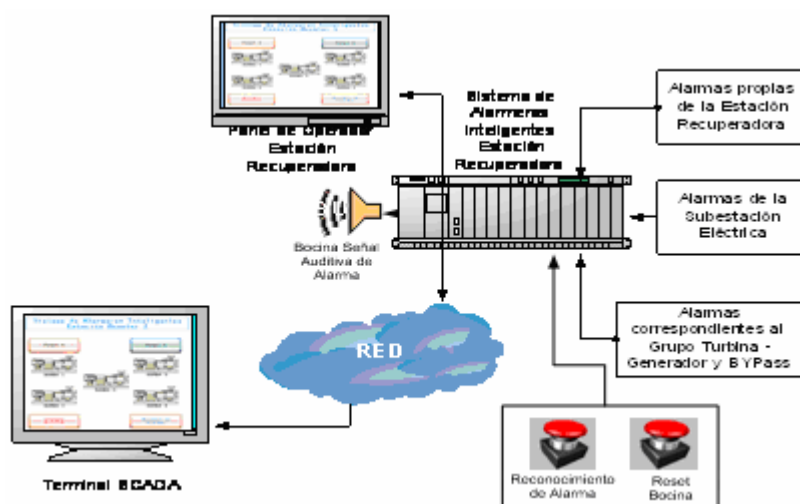


Figura 3.8 Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Recuperadora.

En la tabla 3.13 se detalla la lista de equipos a utilizarse de acuerdo al número de señales correspondientes a las alarmas de la estación Recuperadora.

Tabla 3.13 Lista de Equipos a Utilizarse en la Estación Recuperadora.

Nombre	Descripción	Cantidad
TWIDO DRF40	Controlador Lógico Programable (PLC)	1
TWD DDI 32DK	Módulo de Expansión 32 Entradas Digitales	4
Borneras Telefast	Bornera 16 Entradas Digitales	8
Cable HE 10 Telefast	Cable de conexión Módulo-Bornera	8

3.5. Hardware para la Simulación del PLC de Turbina ⁵

Como se indicó en el capítulo 1 el PLC de Máquina esta dedicado al control del grupo turbina-generator y de la válvula disipadora. La acción de control en la válvula disipadora

⁵ EMAAP-Q, Curso de Capacitación sobre el Sistema Papallacta, Capitulo #3, 1995.

o en la válvula de descarga de la turbina es desarrollada en función del caudal del bombeo y en caso de una falla este PLC es el encargado de detener la generación y abrir el ByPass si las condiciones así lo determinan, a continuación se enlistan el número de señales que opera el PLC de Máquina.

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora.

Número	Descripción	Módulo
Entradas		
0	S.S Manual	E
1	S.S Automático	E
2	S.S Prueba (Test)	E
3	Reservado	E
4	W.S Arranque unidad de maquina (Start)	E
5	W.S Parar unidad de maquina (Stop)	E
6	S.S Bomba principal de aceite 1000M1	E
7	S.S Bomba principal de aceite 1010M1	E
8	P.B Bomba de aceite del Governor 1000M1 encendida (ON)	E
9	P.B Bomba de aceite del Governor 1000M1 apagada (OFF)	E
10	P.B Bomba de aceite del Governor 1010M1 encendida (ON)	E
11	P.B Bomba de aceite del Governor 1010M1 apagada (OFF)	E
12	S.S Bomba 1 de aceite de Cojinetes	E
13	S.S Bomba 2 de aceite de Cojinetes	E
14	P.B Bomba 1 de aceite Cojinetes encendida (ON)	E
15	P.B Bomba 1 de aceite Cojinetes apagada (OFF)	E
16	P.B Bomba 2 de aceite Cojinetes encendida (ON)	E
17	P.B Bomba 2 de aceite Cojinetes apagada (OFF)	E
18	P.B Calentador del alternador encendido (ON)	E
19	P.B Calentador del alternador apagado (OFF)	E
20	P.B Válvula mariposa abierta (OPEN)	E
21	P.B Válvula mariposa cerrada (CLOSED)	E
22	P.B Disipadora encendida (ON)	E
23	P.B Disipadora apagada (OFF)	E
24	P.B Freno encendido (ON)	E
25	P.B Freno apagado (OFF)	E
26	P.B Válvula de llenado abierta (OPEN)	E
27	P.B Válvula de llenado cerrada (CLOSED)	E
28	P.B Válvula esférica abierta (OPEN)	E
29	P.B Válvula esférica cerrada (CLOSED)	E
30	S.S Sincronoscopio (encendido/apagado)(ON/OFF)	E
31	Reservado	E
32	W.S Arranque de Turbina (START)	E

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

33	W.S Paro de Turbina (STOP)	E
34	S.S Operación de Turbina	E
35	S.S Operación de By Pass	E
36	S.S Regulación externa	E
37	S.S Limitador de apertura	E
38	P.B 2 Bombas en operación	E
39	P.B 3 Bombas en operación	E
40	P.B 4 Bombas en operación	E
41	S.S Regulación Manual del Limitador de apertura	E
42	P.B Bomba de aceite del Governor DC encendida (ON)	E
43	P.B Bomba de aceite del Governor DC apagada (OFF)	E
44	Parada de emergencia (STOP)	E
45	S.S Local	E
46	S.S Remoto	E
47	Disipadora en operación	E
48	De estación maestra "Arranque de unidad de maquina"	E
49	De estación maestra "Parada de unidad de maquina"	E
50	De estación maestra "Arranque del by pass"	E
51	De estación maestra "Parada del by pass"	E
52	Governor de Turbina Lista para Arrancar	E
53	Control de perturbaciones en las agujas	E
54	Señal de nivel de agua (FIC 400)	E
55	ShutDown Rápido de Turbina	E
56	Governor de Turbina en Posición de Prueba	E
57	Señal de Velocidad	E
58	Voltaje Turbina Governor	E
59	Velocidad al 1%	E
60	Velocidad al 35%	E
61	Velocidad al 97%	E
62	Velocidad al 98%	E
63	Sobrevelocidad > 135%	E
64	Limitador de apertura con Bomba2 en operación	E
65	Limitador de apertura con Bomba3 en operación	E
66	Limitador de apertura con Bomba4 en operación	E
67	Todos los minibreakers de 24 VDC encendidos (ON)	E
68	Todos los minibreakers de 110 VDC encendidos (ON)	E
69	Limites de Temperatura no excedidos (SHUTDOWN)	E
70	Limites de Temperatura no excedidos (WARNING)	E
71	460 VAC presentes	E

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

72	Sin fallas Eléctricas	E
73	Sin fallas Mecánicas	E
74	Reservado	E
75	Nivel de agua a la salida del túnel bajo (LOW)	E
76	Nivel de agua a la salida del túnel demasiado bajo (TOO LOW)	E
77	2 Bombas por estación en funcionamiento	E
78	3 Bombas por estación en funcionamiento	E
79	4 Bombas por estación en funcionamiento	E
80	Nivel de aceite/suministro del alternador normal (Y4)	E
81	Reservado	E
82	Freno encendido ON 3020S1	E
83	Presión de agua en el frente de la válvula esférica 2004S5	E
84	Reservado/ Temperatura de aceite en el Tanque colector muy alta	E
85	Válvula manual en posición de operación 2088S1	E
86	Válvula manual en posición de operación 2065S2	E
87	Regulación de la presión de aceite demasiado baja 1043S1	E
88	Regulación de la presión de aceite baja 1043S3	E
89	Regulación de la presión de aceite OK 1043S5	E
90	Regulación de nivel de Aceite muy bajo (TOO LOW) 1081S1	E
91	Regulación de nivel de Aceite bajo (LOW) 1081S3	E
92	Regulación de nivel de Aceite alto (HIGH) 1081S7	E
93	Reservado	E
94	Flujo de aceite en cojinetes - DE Y10	E
95	Flujo de aceite en cojinetes - NDE Y11	E
96	Válvula de emergencia (shutdown) 2130S1	E
97	Válvula de emergencia (shutdown) 2131S1	E
98	Existe Presión de agua en compuerta principal 2002S5	E
99	Bomba de aceite 1000 del Governor encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM
100	Bomba de aceite 1010 del Governor encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM
101	Bomba1 de aceite de cojinetes encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM
102	Bomba2 de aceite de cojinetes encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM
103	Calentador del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E
104	Deflector completamente acoplado 2150S1	E
105	Deflector abierto al 100% 2150S9	E
106	Válvula de llenado abierta (OPEN) 2010S9	E
107	Válvula de llenado cerrada (CLOSED) 2010S1	E
108	Válvula esférica abierta (OPEN) 2001S9	E
109	Válvula esférica cerrada (CLOSED) 2001S1	E
110	Excitación o Excitatriz	E

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

111	DE-Excitación-Excitatriz	E
112	Breaker del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E
113	Válvula mariposa abierta (OPEN) 2080S9	E
114	Válvula mariposa cerrada (CLOSED) 2080S1	E
115	Disipadora cerrada (CLOSED) 2090S1	E
116	Disipadora abierta (OPEN) 100% 2090S9	E
117	Disipadora abierta al mínimo (Bomba2 operando) 2090S3	E
118	Disipadora abierta al máximo (Bomba2 operando) 2090S4	E
119	Disipadora abierta al mínimo (Bomba3 operando) 2090S5	E
120	Disipadora abierta al máximo (Bomba3 operando) 2090S6	E
121	Disipadora abierta al mínimo (Bomba4 operando) 2090S7	E
122	Disipadora abierta al máximo (Bomba4 operando) 2090S2	E
123	Bomba de aceite de Governor DC encendido/apagado (ON/OFF)	E
124	Ventilador de la bomba de aceite encendido/apagado (alternador) GEN MCC	E
125	Calentador de aceite del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E
126	Falla peligrosa en la tubería (SCADA)	E
127	Potencia <3%	E
128	Velocidad 1% 2372 N1	E
129	Sobrevelocidad 138% 2372 N1	E
130	Aguja1 cerrada (CLOSED) 2171S1	E
131	Aguja2 cerrada (CLOSED) 2172S1	E
132	Aguja3 cerrada (CLOSED) 2173S1	E
133	Presión en tubería de distribución existente 2015S5	E
134	Presión en el sello de revisión existente 2040S5	E
135	Temperatura del aire del alternador (caliente) (advertencia)	E
136	Temperatura del aire del alternador (caliente) (desconectado)	E
137	Temperatura del aire del FD.E. alternador izquierdo (frió) (advertencia)	E
138	Temperatura de aire del FD.E. alternador izquierdo (frió) (desconectado)	E
139	Temperatura del aire del N.E.D. alternador derecho (frió) (advertencia)	E
140	Temperatura del aire del N.E.D. Alternador derecho (frió) (desconectado)	E
141	Temperatura de los cojinetes del D.E. Alternador caliente (advertencia)	E
142	Temperatura de los cojinetes del D.E. alternador (desconectado)	E
143	Temperatura de los cojinetes del N.D.E. Alternador caliente (advertencia)	E
144	Temperatura de los cojinetes del N.D.E. alternador (desconectado)	E
145	Unidad de suministro de aceite L.S. Y5 calentador encendida (ON)	E
146	Unidad de suministro de aceite L.S. Y6 calentador apagada (OFF)	E
147	Unidad de suministro de aceite L.S. Y7 ventilador encendida (ON) , ventilador>45	E
148	Unidad de suministro de aceite L.S. Y8 ventilador apagada (OFF) , ventilador<35	E

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

149	Unidad de suministro de aceite L.S. Y9 alarma	E
150	Presión de aceite en bomba DC Alta (HIGH) 2034S6	E
151	Falla en Bomba de aceite de Governor DC	E
152	Presión de aceite en bomba DC Baja (LOW) 2034S4	E
153	Supervision de batería 24/110 V TOO LOW	E
154	Excitación/Excitatriz activada	E
155	Falla en Bombas de aceite de Governor	E
156	Disipadora no Activada	E
157	Regulación del Coseno PHI	E
158	Regulación del Seno PHI	E
159	Reserva	E
Salidas		
160	Bomba de aceite del Governor 1000M1 encendido/apagado (ON/OFF)	S
161	Bomba de aceite del Governor 1010M1 encendido/apagado (ON/OFF)	S
162	Bomba1 de aceite de cojinetes encendido/apagado (ON/OFF)	S
163	Bomba2 de aceite de cojinetes encendido/apagado (ON/OFF)	S
164	Calentador del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	S
165	Excitación/Dexcitación EXITATRIZ (F1-F2)	S
166	Unidad de conmutación a paralelo (ON/OFF)	S
167	Breaker del alternator (ON/OFF)	S
168	Válvula de emergencia (shutdown) 2130Y1	S
169	Válvula de emergencia (shutdown) 2131Y1	S
170	Válvula de llenado (abierto/cerrado) (OPEN/CLOSED) 2011Y1	S
171	Válvula esférica abierta (OPEN) 2020Y9	S
172	Válvula esférica cerrada (CLOSED) 2020Y1	S
173	Freno encendido (ON) 3005Y9	S
174	Freno apagado (OFF) 3005Y1	S
175	Arranque de regulador de Turbina (START) ETR 181-182	S
176	Parada de regulador de Turbina (STOP) ETR 183-184	S
177	BREAKER encendido (ON) ETR 185-186	S
178	Limitador de apertura Bomba2 en operación ETR 189-190	S
179	Limitador de apertura Bomba3 en operación ETR 191-192	S
180	Limitador de apertura Bomba4 en operación ETR 193-194	S
181	Regulación externa (FC400) (ETR 2003-204)	S
182	Calentador de unidad de suministro de aceite del alternador (ON/OFF)	S
183	Válvula Mariposa abierto/cerrado (OPEN/CLOSED) 2086 Y1	S
184	Válvula Mariposa abierta (OPEN) ETR 205-206	S
185	Válvula Mariposa Operación de emergencia (OPEN/CLOSED) 2088Y1	S
186	Válvula Disipadora abierta (OPEN) 2097 Y1	S
187	Válvula Disipadora cerrada (CLOSED) 2097 Y9	S

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

188	Emergencia Shutdown activado (Shutdown rápido por liberación a la salida) ERT 187-188	S
189	Bomba de aceite de Governor DC encendido/apagado	S
190	Ventilador de la bomba de aceite del cojinetes (ON/OFF)	S
191	Válvula Disipadora (operación de emergencia) (OPEN/CLOSED) 2065Y1	S
192	I.L "Manual"	S
193	I.L "Automático"	S
194	I.L "Prueba"	S
195	I.L "Local"	S
196	I.L "Remoto"	S
197	I.L "Exciter ON" EXITATRIZ	S
198	I.L "Sincronización ON"	S
199	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1000 encendida"	S
200	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1000 apagada"	S
201	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1010 encendida"	S
202	I.L." Bomba de aceite de Governor 1010 apagada"	S
203	I.L "Bomba1 de aceite de cojinetes encendida"	S
204	I.L "Bomba1 de aceite de cojinetes apagada"	S
205	I.L "Bomba2 de aceite de cojinetes encendida"	S
206	I.L "Bomba2 de aceite de cojinetes apagada"	S
207	I.L "Calentador del alternador encendido" (ON)	S
208	I.L "Calentador del alternador apagado" (OFF)	S
209	I.L "Válvula Mariposa abierta "	S
210	I.L "Válvula Mariposa cerrada "	S
211	I.L "Disipadora abierta "	S
212	I.L "Disipadora cerrada "	S
213	I.L "Freno encendido"	S
214	I.L "Freno apagado"	S
215	I.L "Válvula de llenado abierta"	S
216	I.L "Válvula de llenado cerrada"	S
217	I.L "Válvula esférica abierta"	S
218	I.L "Válvula esférica cerrada"	S
219	I.L "Bomba de aceite del Governor DC ON"	S
220	I.L "Bomba de aceite del Governor DC OFF"	S
221	I.L "Flujo de aceite mínimo D.E. ALT."	S
222	I.L "Flujo de aceite mínimo N.D.E. ALT."	S
223	I.L "Temperatura de aceite del alternador muy alta."	S
224	I.L "Requerimientos de puesta en marcha no cumplidos"	S
225	I.L "Turbina Lista para operación"	S
226	I.L "Run up"	S

Tabla 3.14 Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora (continuación)

227	I.L "Run Down"	S
228	I.L "Stand Still"	S
229	I.L "Regulación externa"	S
230	I.L "Regulación del limitador de apertura "	S
231	I.L "Alternador en operación "	S
232	I.L "Regulación del cos phi "	S
233	I.L "Regulación del sin phi "	S
234	I.L "Regulación de voltaje"	S
235	I.L "Temp. contactterm.alt. warning"	S
236	I.L "Temp. contactterm.alt. disconnect"	S
237	I.L "Requerimientos para arranque de by pass no cumplidos"	S
238	I.L "By pass listo para operar"	S
239	I.L "By pass en operación"	S
240	I.L "Temperatura de aceite del alternador muy baja"	S
241	I.L "Control automático de la estación master"	S
242	Reservado/Disipadora operación de emergencia	S
243	Reservado	S
244	Bomba2 en operación	S
245	Bomba3 en operación	S
246	Bomba4 en operación	S
247	Reservado	S
248	Reservado	S
249	Falla Mecánica	S
250	Falla Electrónica	S
251	Shutdown de emergencia	S
252	Reservado	S
253	Servicio auxiliar ON	S
254	Servicio auxiliar OFF	S
255	Reserva	S

El tipo de señal que poseen todas y cada una de las señales de control del PLC de Máquina es del tipo discreta, el rango de voltajes es 24VDC – 0VDC y en la Estación Recuperadora se tiene 160 señales de entrada y 96 señales de salida es decir un total de 256 de estas señales de control.

A continuación en la figura 3.9 se puede observar un esquema general de las gestiones que debería hacer el PLC de Simulación en la Estación Recuperadora.

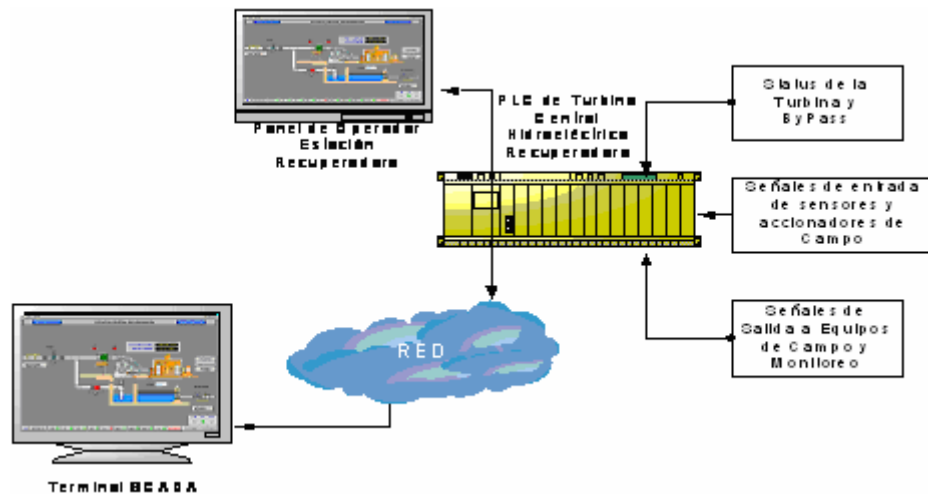


Figura 3.9 Esquema General de la Gestión del PLC de Turbina en la Estación Recuperadora.

Luego de realizar un exhaustivo análisis de las características de varios equipos que podían ser usados para la simulación del comportamiento del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía, se decidió escoger un PLC del grupo SCHNEIDER en la marca Telemecanique del modelo PREMIUM 2634M como el que se ilustra en la figura 3.10, cuyos parámetros más importantes se detallan a continuación en las tablas 3.15 y 3.16.



Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3. 10 PLC Premium 2634M

Tabla 3.15 Características ambientales PLC Premium 2634M

Características del Controlador Base		
Temperatura de Operación	0 a 55	Grados Centígrados
Humedad Relativa	30 a 95%	Sin condensación
Grado de Protección	IP 20	
Resistencia de Vibración	10 a 57 Hz	
Resistencia de choque	147 m/s ²	en 11 ms
Batería de Backup	30 días	a 25°C

Tabla 3.16 Características principales PLC PREMIUM 2634M

CPU 2634M	Descripción	Características
Rack	12 slots	
(Entradas/Salidas) Discretas	1024 máx.	
(Entradas/Salidas) Analógicas	80	
Aplicaciones Específicas	24 canales	
Tipo	Modular	
Módulos		
Discretos	8,16,32,64(I/O)	24 VDC
Analógicos	4,8(I/O)	Configurables 4-20ma, 0-20ma, 0-10VDC,10 -10 VDC
ASI	62 máx.	Módulos
Contadores 5KHz	24	16 bits
Contadores 20KHz	24	32 bits
PWM	24	
Funciones	PID, Aritméticas, Lógicas	
	Procesamiento de Eventos	
Comunicaciones/Servicios		Modbus Master/Slave RTU. ASCII, Modbus on TCP/IP
RS 232C	2	Mini Din
Ethernet	1	RJ45
		UniTelway sobre TCP/IP
		X-Way
		Basic Web Server
		Can Open
		Administración de Red
		I/O Scanning
Scan Time	4.72 Kinst/ms	
Programación		
Memoria de Aplicación	160Kbytes	920Kbytes con tarjeta PCMCIA

Tabla 3.16 Características principales PLC PREMIUM 2634M (continuación)

Bits internos	8056 bits	
Palabras internas	128 Kwords	
Bloques de función estándar	Contadores, Temporizadores	
	Double Words	
	Punto flotante	
	Trigonómicas	
	Reloj en tiempo real	
Lenguajes	Ladder, Lista de Instrucciones, SFC, Texto Estructurado y FBD	
Software	Unity Pro	

Al ser este PLC del tipo modular se debe dimensionar también el tipo de Rack o emplazamiento donde irá colocado el PLC, para este caso en particular se eligió un Rack que soporte 12 módulos de los cuales se utilizarán 8 y 4 quedarán disponibles, la fuente de alimentación que se puede observar en la figura 3.11 y las características de la misma se la indica en la tabla 3.17.

*TSX PSY 2600M*

Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

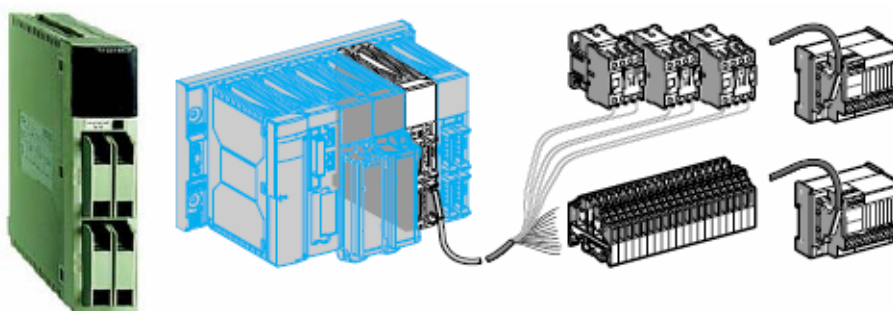
Figura 3.11 Fuente para PLC Premium**Tabla 3.17 Características de la Fuente TSX PSY 2600M.**

Fuente Modelo	TSX PSY 2600M
Entrada	
Voltaje Nominal	100/240 VAC
Limites	85/264 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Duración de Microcortes	<10ms

Tabla 3.17 Características de la Fuente TSX PSY 2600M (continuación)

Protección	Fusible 4 ^a
Salida	
Potencia Total Entregada	26 W
Salida 5VDC	
Voltaje Nominal	5 Vdc
Corriente Nominal	5 A
Potencia Típica	25 W
Salida 24VDC	
Voltaje Nominal	24 Vdc
Corriente Nominal	0.6
Potencia Típica	15 W

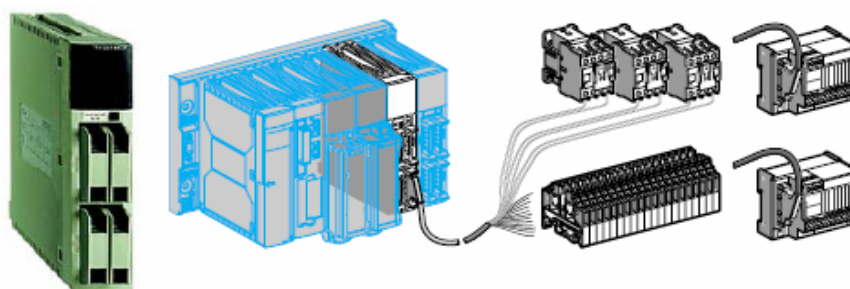
Los módulos de entradas y salidas se muestran en las figuras 3.12 y 3.13 respectivamente y sus principales características se describen a continuación en las tablas 3.18 y 3.19.



Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3.12 Módulo de Entradas Discretas para PLC Premium**Tabla 3.18 Características del módulo de entradas discretas TSX DEY 64D2K.**

TSX DEY 64D2K	
Módulo entradas Discretas	
Voltaje	24Vdc
Número de Canales	64
Conexión	He 10 conector Telefast



Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3.13 Módulo de salidas discretas para PLC Premium

Tabla 3.19 Características del módulo de salidas discretas TSX DEY 64T2K.

TSX DEY 64T2K	
Módulo salidas Discretas	
Voltaje	24Vdc
Corriente	0,1 A por canal
Número de Canales	64
Conexión	He 10 conector Telefast

Los módulos de expansión TSX DEY 64D2K admiten 64 entradas a 24VDC, pero dichas entradas no pueden ser conectadas directamente al módulo, puesto que estos necesitan recibir las señales en una bornera del tipo Telefast, como la que se muestra en la figura 3.14, las cuales reciben la señal y por medio de un bus de datos envían las señales a los módulos de expansión y estos a su vez envían los datos al PLC, a continuación se describen las características de estas borneras Telefast para PLC Premium en la tabla 3.20.



Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3.14 Bornera tipo Telefast para entradas discretas PLC Premium

Tabla 3.20 Características de las Borneras ABE 7H16R11

Características de las Borneras Telefast ABE 7H16R11	
Voltaje entrada	24VDC
Voltaje de salida	24VDC
Corriente por canal	5mA
Número de I/O	16 entradas
Tipo de I/O	16 entradas sink (1 común)
Número de terminales por canal	1
Tipo de conexión	HE 10 conector macho
Protección	1 Fusible (2 A)

Los módulos de expansión TSX DEY 64T2K soportan 64 salidas a 24VDC, pero dichas salidas no pueden ser conectadas directamente al módulo, puesto que estos necesitan enviar las señales a una bornera del tipo Telefast, las cuales a su vez reciben la señal por medio de un bus de datos provenientes de los módulos de expansión y estos a su vez reciben los datos que envía el PLC, a continuación se describen las características de estas borneras Telefast, ver figura 3.15 y tabla 3.21.

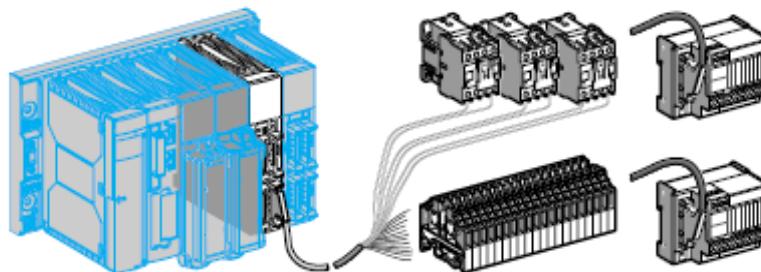


Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3.15 Bornera tipo Telefast para salidas discretas PLC Premium**Tabla 3.21 Características de las Borneras ABE 7H16S21**

Características de las Borneras Telefast ABE 7H16S21	
Voltaje entrada	24VD
Voltaje de salida	24VDC
Corriente por canal	100mA
Número de I/O	16 salidas
Tipo de I/O	16 entradas sink (1 común)
Número de terminales por canal	1
Tipo de conexión	HE 10 conector macho
Protección	1 Fusible (2 A)

Las borneras Telefast como la que se muestra en la figura 3.16 se conectan a los módulos de expansión por medio de un cable tipo HE-10, cuyas características se detallan a continuación en la tabla 3.22.



Fuente: Modicon Premium Automation Platform and Unity Software Catálogo 2003

Figura 3.16 Cable Telefast HE 10 para PLC Premium

Tabla 3.22 Características del cable Telefast HE 10

Características del Cable HE 10 Telefast	
Vías	20
Conectores	2 HE 10 hembra
Cable calibre	22 AWG/cada vía
Longitud	0,5-1-2-3 y 5 metros

Finalmente en la tabla 3.22 se detalla la lista de elementos a utilizarse para equipar el PLC de simulación correspondiente a la Turbina de la estación Recuperadora de Energía.

Tabla 3.23 Lista de Equipos a Utilizarse para el PLC de Simulación

Cantidad	Código	Descripción	Características
1	TSX P57 2623M	CPU PLC ETHERNET Premium	
1	TSX RKY12	Rack para PLC	Capacidad 12 módulos
1	TSX PSY2600	Fuente para PLC	110VAC
3	TSX DEY 64D2K	Módulo de Expansión 64 Entradas	A 24VDC
2	TSX DSY 64T2K	Módulo de Expansión 64 Salidas	24VDC
12	ABE 7H16R11	Telefast (Borneras) para módulos de 16 entradas.	24VDC
8	ABE 7H16S21	Telefast (Borneras) para módulos de 16 salidas.	24VDC
20	TSX CDP 203	Cable para conexión de módulos I/O	2 Metros

Cabe destacar que los elementos dimensionados en este capítulo se complementarán con otros adicionales que se mencionan más adelante en el capítulo de implementación, como son: elementos de protección contra sobrecorriente, sobre voltaje, cable UTP para la comunicación en red y demás.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

En el desarrollo del software para el Sistema de Alarmeros Inteligentes existen tres elementos claves a diferenciar y tomar en cuenta como son:

1. Entorno de Programación de los Controladores Lógicos Programables (PLCs).
2. Entorno de Programación y Diseño de pantallas para el Panel de Operador.
3. Entorno de Programación y Diseño de pantallas HMI para el sistema SCADA.

La correcta interacción de estos tres elementos es de fundamental importancia para el correcto funcionamiento del Sistema de Alarmeros Inteligentes, a continuación se detalla cada uno de estos tópicos.

4.1 Programación de los Controladores Lógicos Programables

En el capítulo anterior se determinó la utilización de 4 controladores lógicos programables del tipo TWIDO 40DRF para la gestión de las alarmas (Uno por cada Estación) y la utilización de un PLC Premium 2634M para la simulación del PLC de Maquina de la estación Recuperadora, a continuación se detalla la programación de cada uno de los PLCs.

4.1.1 Entorno de Programación del PLC TWIDO 40DRF ¹

Para programar un PLC TWIDO es necesario tener el software de programación del mismo el cual se denomina TwidoSoft y es el que se ha utilizado para el desarrollo de este proyecto en su versión 3.2.

¹ Schneider Electric S.A, Ayuda del Software TwidoSoft V3.2, 2002-2005.

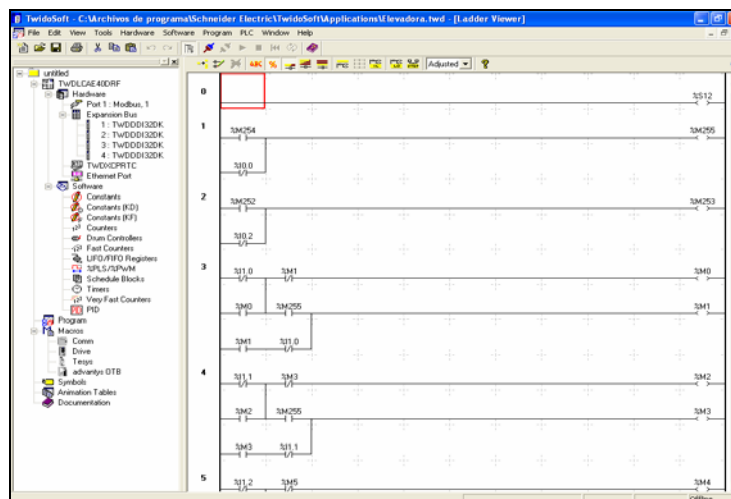


Figura 4.1. Software Twido Soft.

TwidoSoft es un entorno de desarrollo gráfico como lo muestra la figura 4.1, para crear, configurar, y mantener actualizado aplicaciones para controladores programables Twido, utilizando un ambiente de programación con lenguaje ladder logic o lógica de escalera. TwidoSoft permite crear programas, y luego transferirlos al controlador, este es un programa basado en Windows de 32-BIT y se puede usar bajo sistemas operativos Microsoft Windows 98, 2000 profesional o XP.

Las características del software TwidoSoft son:

- Interfaz de usuario de Windows estándar
- Programación y configuración de controladores Twido
- Comunicación con el controlador.

Los requerimientos mínimos de Hardware para usar TwidoSoft son:

- Procesador Pentium de 300MHz,
- 128 Mb de memoria RAM,
- 40 Mb de espacio disponible en el disco duro.

Antes de comenzar la programación es importante tener en cuenta las acciones que deberá realizar el sistema de Alarmeros Inteligentes y las decisiones que deberá tomar de acuerdo al caso, a continuación se enlistan dichas acciones:

1. Monitorear continuamente todas y cada una de las señales de alarma, en cada una de las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado, dichas señales fueron detalladas en el capítulo anterior.

2. En caso de presentarse una señal de alarma el sistema enviara una señal auditiva al operador de estación, para que él este informado de que se ha presentado una condición anormal, también en las pantallas HMI tanto del sistema SCADA como en las pantallas táctiles de operador, aparecerán indicadores intermitentes por medio de los cuales el operador podrá distinguir cual de las señales de alarma se ha accionado.
3. El operador podrá realizar acciones como reconocimiento de Alarma y Reset de Bocina por medio de los pulsadores, en los paneles SCHORCH, también a través de las HMIs del sistema SCADA o de los paneles táctiles de Operador, de cada Estación.
4. La señal de Reset de Bocina servirá para que el operador pueda silenciar temporalmente la señal auditiva emitida por en Sistema de Alarmeros, esta opción se utilizará en casos donde la señal de alarma se presente continuamente o en labores de mantenimiento donde pudieren presentarse señales de falsa alarma y sea requerido silenciar la señal auditiva.
5. La señal de Reconocimiento de Alarma servirá para saber si la señal de alarma accionada fue falsa, temporal o continua presente, para el caso en el que fuese falsa alarma, esta simplemente será registrada en un histórico de alarmas y el indicador intermitente desaparecerá indicando así que la condición anormal ha sido superada, para el caso en el que la señal de alarma siga presente de la misma forma se guardará un registro histórico la señal de alarma, además el indicador intermitente pasará a una visualización continua hasta que la condición anormal sea superada, una vez superada dicha condición el indicador desaparecerá indicando así que la condición anormal ha sido solucionada.
6. Todas estas condiciones detalladas en los ítems anteriores podrán ser gestionadas tanto desde las HMIs del sistema SCADA como también desde los paneles táctiles de Operador, de cada Estación.

4.1.2 Entorno de Programación del PLC PREMIUM 2634 M ²

El software utilizado para programar el PLC Premium 2634M es Unity Pro en su versión XL 2.3 el cual es un entorno de programación para los Controladores Lógicos

² Schneider Electric S.A, Ayuda del Software Unity Pro XL V2.3, 2006.

Programables (PLCs): Telemecanique Modicon Premium, Telemecanique Modicon Atrium, Telemecanique Modicon Quantum y Telemecanique Modicon Momentum que de ahora en adelante serán llamados Premium, Atrium, Quantum y Momentum, respectivamente.

Unity Pro ofrece los siguientes lenguajes de programación para la creación de software de aplicación:

- Lenguaje de bloques de funciones FBD
- Lenguaje de diagrama de contactos LD
- Lista de instrucciones IL
- Texto estructurado ST
- Gráfica de función secuencial SFC (Grafcet)).

Todos estos lenguajes de programación se pueden mezclar dentro de un mismo proyecto y cumplen la norma CEI 61131-3.

Los bloques de las múltiples bibliotecas incluidas en el paquete de Unity Pro abarcan desde bloques para la ejecución de operaciones booleanas simples hasta bloques para el control de circuitos complejos, pasando por bloques para operaciones con cadenas de caracteres (strings) y campos (matrices).

Para facilitar su visualización, los distintos bloques se agrupan en bibliotecas y éstas a su vez, en familias. Los bloques se pueden utilizar en los lenguajes de programación FBD, LD, IL y ST.

Un programa puede estar compuesto por:

- Una tarea maestra (MAST)
- Una tarea rápida (FAST)
- Entre una y cuatro tareas auxiliares (AUX)
- Secciones asignadas a una de las tareas definidas
- Secciones para el procesamiento de eventos controlados por tiempo (Timerx)
- Secciones para el procesamiento de eventos controlados por hardware (EVTx)
- Secciones de subrutinas (SR)

La interfase de usuario está compuesta por varias ventanas y barras de herramientas que se

pueden organizar de forma libre como se muestra en la figura 4.2 y en la tabla 4.1.

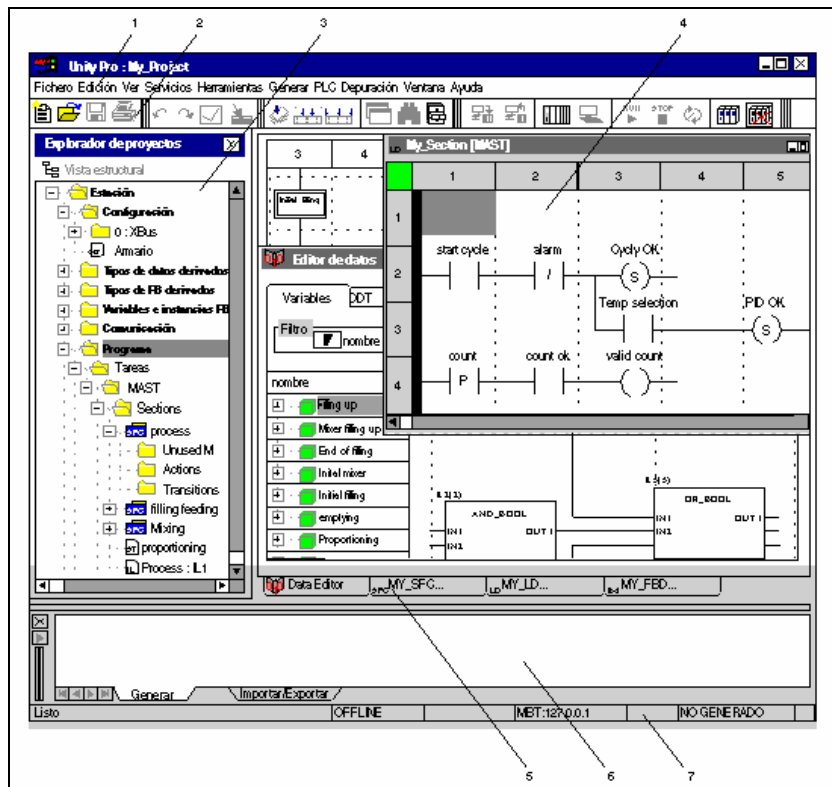


Figura 4.2 Software Unity Pro

Tabla 4.1 Descripción de pantalla Unity Pro

Número	Descripción
1	Barra de menús
2	Barra de herramientas
3	Explorador de proyectos
4	Ventana de editor (editores de lenguajes de programación, editor de datos, etc.)
5	Fichas para el acceso directo a la ventana del editor
6	Ventana de resultados (proporciona información acerca de los errores producidos, del seguimiento de señales, de las funciones de importación, etc.).
7	Barra de estado

A continuación se detallan los requerimientos del sistema para instalar el software Unity Pro XL Versión 2.3 en PC IBM compatible:

- Velocidad del procesador 1.2GHz.
- 512MB de memoria RAM.
- 4 GB de Espacio Libre en Disco.

- Sistema Operativo Windows XP o 2000.

4.1.3 Entorno de Programación y Diseño de pantallas para Panel de Operador³

El software utilizado para programar los paneles táctiles de operador es Vijeo Designer, el cual es un software para la creación de proyectos de interfaces hombre-máquina (HMI) diseñado por Schneider Electric Industries, SAS. Las aplicaciones de usuario (proyectos HMI creados en Vijeo-Designer) se pueden ejecutar en un gran número de ordenadores, plataformas y de entornos, en función de sus necesidades, este software incluye dos entornos uno es el Vijeo Designer propiamente dicho en donde se diseña, configura y programa las pantallas HMI y el Vijeo Designer Runtime que es donde se ejecuta la aplicación.

Con Vijeo-Designer, puede crear visualizaciones de pantallas avanzadas con gráficos funcionales y animaciones que cumplan todos los requisitos, desde el más simple al más complejo. De igual modo, el enfoque único de Vijeo-Designer respecto al diseño y la implementación de HMI reduce al mínimo los riesgos de las tareas de programación. A continuación en la tabla 4.2 se muestran las distintas clases de pantallas que se pueden programar con Vijeo Designer, se presentan las pantallas de las series XBTG de productos Interfaz Hombre-Máquina. Estos productos son pantallas táctiles gráficas que funcionan a un voltaje de 24 voltios CC. Los que proporciona la presente serie tienen distintas características y ventajas, que se enumeran a continuación:

- El tamaño de la pantalla.
- La resolución de la pantalla.
- La tecnología y el color de la pantalla.
- La comunicación.

³ Schneider Electric S.A., Ayuda del Software Vijeo Designer, 2006.

Tabla 4.2. Tipos de panel de Operador programables con Vijeo Designer

Número de serie La siguiente tabla le presenta los distintos productos XBTG:						
Número de serie	Tamaño de pantalla	Resolución Píxeles	Mono/Color	Tecnología de pantalla	Conexión serie	Ethernet
XBTG2110	5.7"	QVGA 320x240	Modo azul	STN	1	No
XBTG2120	5.7"	QVGA 320x240	Monocromático	STN	1	No
XBTG2130	5.7"	QVGA 320x240	Monocromático	STN	2	Sí
XBTG2220	5.7"	QVGA 320x240	Color	STN	1	No
XBTG2330	5.7"	QVGA 320x240	Color	TFT	2	Sí
XBTG4320	7.4"	VGA 640x480	Color	TFT	1	No
XBTG4330	7.4"	VGA 640x480	Color	TFT	2	Sí
XBTG5230	10.4"	VGA 640x480	Color	STN	2	Sí
XBTG5330	10.4"	VGA 640x480	Color	TFT	2	Sí
XBTG6330	12.1"	SVGA 800x600	Color	TFT	2	Sí

STN y TFT **STN:** Scan Twisted Neumatic also known as passive matrix.
TFT: Transistor de película delgada, siglas del inglés Thin Film Transistors, también conocido como de matriz activa.

En la tabla 4.3 se muestran los requisitos del sistema para instalar Vijeo-Designer.

Tabla 4.3 Requisitos del sistema para instalar Vijeo-Designer

	Vijeo-Designer (entorno de desarrollo)	Vijeo-Designer Runtime (entorno Runtime)
Plataforma	PC	XBTG
CPU	Intel Celeron 566MHz o más rápido (se recomienda Pentium III a 1GHz o más rápido)	Refiérase al manual del usuario
Memoria	128 MB mínimo (se recomienda 512 MB o más)	
Espacio disponible en disco	400 MB o más en el disco duro	
Sistema operativo	Microsoft Windows 2000 o Microsoft Windows XP (inglés, francés, alemán, italiano o español)	
Explorador web	Microsoft Internet Explorer 5.0 o posterior	

4.1.4 Entorno de Programación y Diseño de pantallas HMI para el Sistema SCADA⁴

InTouch, es un entorno diseñado para crear aplicaciones de tipo HMI SCADA con características completas y potentes que utilizan las características de Windows al máximo, incluyendo el Intercambio dinámico de datos (DDE), enlace de objetos e incrustaciones

⁴ Wonderware Corporation, Intouch Guía de Usuario, Enero 1997.

(OLE), gráficos y más. InTouch también se puede ampliar agregando asistentes personalizados, objetos genéricos y extensiones de script.

Las aplicaciones InTouch abarcan una multitud de mercados verticales incluyendo procesamiento de alimentos, semiconductores, agua, petróleo, gas, automotores, químicos, farmacéuticos, pulpa y papel, transporte, servicios públicos, entre otros. Intouch incluye dos entornos claramente diferenciados el primero WindowMaker, que es un entorno orientado al diseño como se observa en la figura 4.3, configuración y programación de la pantallas HMI SCADA y el WindowViewer Runtime que es donde se ejecuta la aplicación, el programa InTouch necesita que se instale una llave de hardware en el puerto paralelo de la impresora con el fin de ejecutar los programas y opciones permitidas en la computadora. La llave se conecta al puerto paralelo y debe estar presente cada vez que se ejecute InTouch. Si no se detecta ninguna llave, InTouch muestra un mensaje de aviso y no permite el acceso al programa.

Otra herramienta importante de destacar por su utilidad es el Factory Suite de Intouch, el cual esta encargado de manejar los distintos drivers dedicados a la comunicación entre los equipos y el sistema SCADA, en este Factory Suite se puede encontrar drivers para la comunicación con PLCs de distintos Fabricantes como Modicon, Telemecanique, Allen Bradley, entre otros y sus distintos protocolos de comunicación como son Modbus, ModbusTCP/IP, Profibus, DH+, etc., garantizando así un sistema de arquitectura abierta y flexible.

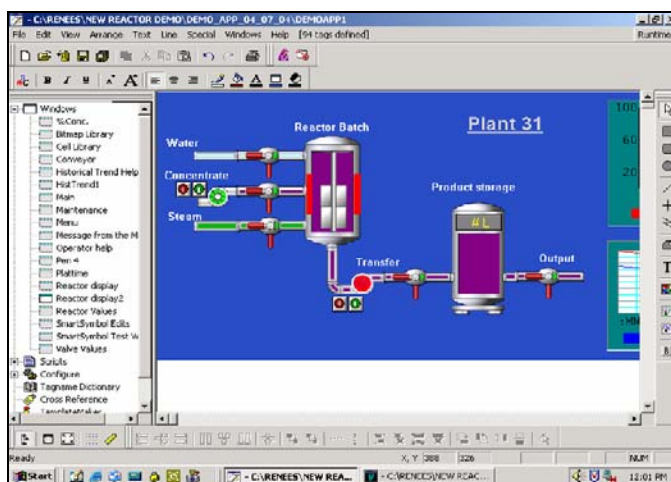


Figura 4.3 Ejemplo de programación con Intouch 9.0.

Una vez especificados los distintos entornos de programación se procederá a explicar el desarrollo de software por cada estación, el cual está distribuido en tres grandes grupos que se enlistan a continuación:

1. Programación de un PLC Twido DRF40
2. Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador.
3. Programación y Diseño de pantallas HMI SCADA.

El Sistema de Alarmeros Inteligentes fue desarrollado con la lógica de programación que se observa en la figura 4.4.

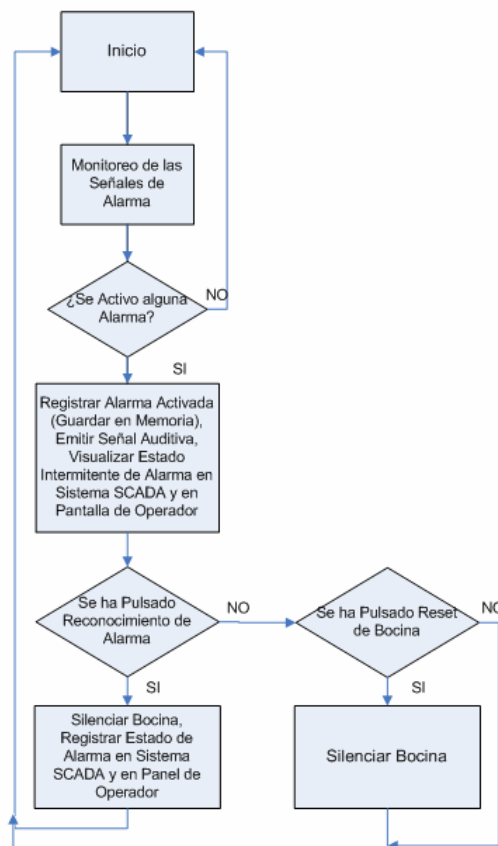


Figura 4.4. Lógica de Programación del Sistema de Alarmeros Inteligentes

4.2. Software para la Estación Elevadora

4.2.1 Programación de un PLC Twido DRF40 para la estación Elevadora

Como se explicó anteriormente el software para los controladores programables Twido es TwidoSoft, el primer parámetro a ser configurado para la programación del PLC de esta

estación es el modelo del mismo, que en este caso es el TWDLCAA40DRF y posteriormente se designa la dirección IP que llevará el dispositivo de ahora en adelante, esto servirá para en un futuro poder identificar cada PLC, dentro de la red del Sistema Papallacta Integrado, la dirección de este PLC es la 172.20.10.170 como se muestra en la figura 4.5.

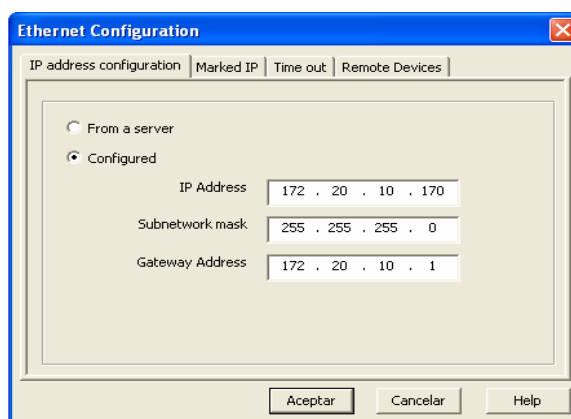


Figura 4.5. Configuración dirección IP controlador Estación Elevadora.

Ahora es importante realizar una distribución clara de las direcciones de entradas, direcciones de memoria, estados lógicos y colores que se asignarán a las señales de alarma de acuerdo a su importancia y también se puntualizarán las señales de control del sistema de alarmeros para esta estación como se muestra en las tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4. Señales de Control para el Sistema de Alarmeros en la Estación Elevadora

Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes de la Estación Elevadora			
Nombre	Cod. en Plano	Dir. en PLC	Estado Lógico
Reconocimiento de Alarma por Pulsador	Rec_1	%I0.0	H
Reconocimiento de Alarma por Software		%M254	
Reset Bocina por Pulsador	Rst_1	%I0.2	H
Reset Bocina por Software		%M252	
Bocina	Bocina	%Q0.5	

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora

Señales de alarma de la Estación Elevadora						
No	Nombre	Color	No. en Plano	Dir. en PLC	Tipo Alarma	Estado Lógico
Panel 4				%M		
1	Rectificador 24VDC fallo en Red	Intermitente	1	0	Pre-Alarma	L
		Amarillo		1	Alarma	
2	Rectificador 24VDC falta CA	Intermitente	2	2	Pre-Alarma	L
		Amarillo		3	Alarma	
3	Rectificador 24VDC falta CC	Intermitente	3	4	Pre-Alarma	L
		Amarillo		5	Alarma	
4	Rectificador 110VDC fallo en Red	Intermitente	4	6	Pre-Alarma	L
		Amarillo		7	Alarma	
5	Rectificador 110VDC falta CA	Intermitente	5	8	Pre-Alarma	L
		Amarillo		9	Alarma	
6	Rectificador 110VDC falta CC	Intermitente	6	10	Pre-Alarma	L
		Amarillo		11	Alarma	
7	Tensión 24VDC avería	Intermitente	8	14	Pre-Alarma	L
		Rojo		15	Alarma	
8	Tensión 110VDC avería	Intermitente	9	16	Pre-Alarma	L
		Rojo		17	Alarma	
9	6,6Kv entrada sobre corriente	Intermitente	10	18	Pre-Alarma	H
		Rojo		19	Alarma	
10	6,6Kv fallo a tierra entrada	Intermitente	11	20	Pre-Alarma	H

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

		Rojo		21	Alarma	
11	6,6Kv fallo voltaje entrada	Intermitente	12	22	Pre-Alarma	H
		Rojo		23	Alarma	
12	500KVA auxiliar transformador sobre corriente	Intermitente	13	24	Pre-Alarma	H
		Rojo		25	Alarma	
13	500KVA auxiliar transformador fallo tierra	Intermitente	14	26	Pre-Alarma	H
		Rojo		27	Alarma	
14	500KVA auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	15	28	Pre-Alarma	H
		Amarillo		29	Alarma	
15	500KVA auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	16	30	Pre-Alarma	H
		Rojo		31	Alarma	
16	500KVA auxiliar transformador "TUMETIC"	Intermitente	17	32	Pre-Alarma	H
		Rojo		33	Alarma	
17	460 VAC no presentes	Intermitente	18	34	Pre-Alarma	H
		Rojo		35	Alarma	
18	Fallo electrónico	Intermitente	19	36	Pre-Alarma	H
		Rojo		37	Alarma	
19	Paro estación iniciado	Intermitente	20	38	Pre-Alarma	H
		Rojo		39	Alarma	
20	Paro total estación	Intermitente	21	40	Pre-Alarma	H
		Rojo		41	Alarma	
Panel 5						
22	Paro de emergencia estación	Intermitente	22	42	Pre-Alarma	L
		Rojo		43	Alarma	

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

23	Paro de emergencia una bomba	Intermitente	23	44	Pre-Alarma	L
		Amarillo		45	Alarma	
24	Secuencia de arranque interrumpida	Intermitente	24	46	Pre-Alarma	L
		Amarillo		47	Alarma	
25	Fallo CPU 1	Intermitente	25	48	Pre-Alarma	L
		Amarillo		49	Alarma	
26	Fallo CPU 2	Intermitente	26	50	Pre-Alarma	L
		Amarillo		51	Alarma	
27	Fallo comunicación centro SCADA	Intermitente	27	52	Pre-Alarma	L
		Amarillo		53	Alarma	
28	Falla Válvula K101 A	Intermitente	28	54	Pre-Alarma	L
		Amarillo		55	Alarma	
29	Falla Válvula K101 B	Intermitente	29	56	Pre-Alarma	L
		Amarillo		57	Alarma	
30	Falla Válvula K101 C	Intermitente	30	58	Pre-Alarma	L
		Amarillo		59	Alarma	
31	Falla Válvula K101 D	Intermitente	31	60	Pre-Alarma	L
		Amarillo		61	Alarma	
32	Falla Válvula K101 E	Intermitente	32	62	Pre-Alarma	L
		Amarillo		63	Alarma	
33	Nivel bajo de pileta 63%	Intermitente	33	64	Pre-Alarma	L
		Amarillo		65	Alarma	
34	Nivel muy bajo de pileta 27%	Intermitente	34	66	Pre-Alarma	L
		Rojo		67	Alarma	

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

35	Nivel Alto de One Way	Intermitente	35	68	Pre-Alarma	L
		Amarillo		69	Alarma	
36	Nivel bajo de One Way	Intermitente	36	70	Pre-Alarma	L
		Amarillo		71	Alarma	
37	Nivel muy bajo de One Way	Intermitente	37	72	Pre-Alarma	L
		Rojo		73	Alarma	
38	Paro Emergencia Booster 1	Intermitente	38	74	Pre-Alarma	L
		Amarillo		75	Alarma	
39	Paro Emergencia Estación 1 bomba	Intermitente	39	76	Pre-Alarma	L
		Amarillo		77	Alarma	
40	Nivel alto de chimenea Booster1	Intermitente	40	78	Pre-Alarma	L
		Amarillo		79	Alarma	
41	Nivel bajo de chimenea Booster1	Intermitente	41	80	Pre-Alarma	L
		Amarillo		81	Alarma	
42	Nivel muy bajo de chimenea Booster1	Intermitente	42	82	Pre-Alarma	L
		Rojo		83	Alarma	
Bomba 1						
43	Tensión 24VDC Avería	Intermitente	43	84	Pre-Alarma	L
		Rojo		85	Alarma	
44	Tensión 110VDC Avería	Intermitente	44	86	Pre-Alarma	L
		Rojo		87	Alarma	
45	Bomba Eléctrica Avería	Intermitente	45	88	Pre-Alarma	L
		Rojo		89	Alarma	
46	Dirección de Rotación	Intermitente	46	90	Pre-Alarma	L

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

		Rojo		91	Alarma	
47	Vibraciones	Intermitente	47	92	Pre-Alarma	L
		Amarillo		93	Alarma	
48	Vibración iniciado	Intermitente	48	94	Pre-Alarma	L
		Rojo		95	Alarma	
49	Sumatorio Temperatura	Intermitente	49	96	Pre-Alarma	L
		Amarillo		97	Alarma	
50	Sumatorio Temperatura	Intermitente	50	98	Pre-Alarma	L
		Rojo		99	Alarma	
Bomba 2						
51	Tensión 24VDC Avería	Intermitente	51	100	Pre-Alarma	L
		Rojo		101	Alarma	
52	Tensión 110VDC Avería	Intermitente	52	102	Pre-Alarma	L
		Rojo		103	Alarma	
53	Bomba Eléctrica Avería	Intermitente	53	104	Pre-Alarma	L
		Rojo		105	Alarma	
54	Dirección de Rotación	Intermitente	54	106	Pre-Alarma	L
		Rojo		107	Alarma	
55	Vibraciones	Intermitente	55	108	Pre-Alarma	L
		Amarillo		109	Alarma	
56	Vibración iniciado	Intermitente	56	110	Pre-Alarma	L
		Rojo		111	Alarma	
57	Sumatorio Temperatura	Intermitente	57	112	Pre-Alarma	L
		Amarillo		113	Alarma	

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

58	Sumatorio Temperatura	Intermitente	58	114	Pre-Alarma	L
		Rojo		115	Alarma	
Bomba 3						
59	Tensión 24VDC Avería	Intermitente	59	116	Pre-Alarma	L
		Rojo		117	Alarma	
60	Tensión 110VDC Avería	Intermitente	60	118	Pre-Alarma	L
		Rojo		119	Alarma	
61	Bomba Eléctrica Avería	Intermitente	61	120	Pre-Alarma	L
		Rojo		121	Alarma	
62	Dirección de Rotación	Intermitente	62	122	Pre-Alarma	L
		Rojo		123	Alarma	
63	Vibraciones	Intermitente	63	124	Pre-Alarma	L
		Amarillo		125	Alarma	
64	Vibración iniciado	Intermitente	64	126	Pre-Alarma	L
		Rojo		127	Alarma	
65	Sumatorio Temperatura	Intermitente	65	128	Pre-Alarma	L
		Amarillo		129	Alarma	
66	Sumatorio Temperatura	Intermitente	66	130	Pre-Alarma	L
		Rojo		131	Alarma	
Bomba 4						
67	Tensión 24VDC Avería	Intermitente	67	132	Pre-Alarma	L
		Rojo		133	Alarma	
68	Tensión 110VDC Avería	Intermitente	68	134	Pre-Alarma	L

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

		Rojo		135	Alarma	
69	Bomba Eléctrica Avería	Intermitente	69	136	Pre-Alarma	L
		Rojo		137	Alarma	
70	Dirección de Rotación	Intermitente	70	138	Pre-Alarma	L
		Rojo		139	Alarma	
71	Vibraciones	Intermitente	71	140	Pre-Alarma	L
		Amarillo		141	Alarma	
72	Vibración iniciado	Intermitente	72	142	Pre-Alarma	L
		Rojo		143	Alarma	
73	Sumatorio Temperatura	Intermitente	73	144	Pre-Alarma	L
		Amarillo		145	Alarma	
74	Sumatorio Temperatura	Intermitente	74	146	Pre-Alarma	L
		Rojo		147	Alarma	
Bomba 5						
75	Tensión 24VDC Avería	Intermitente	75	148	Pre-Alarma	L
		Rojo		149	Alarma	
76	Tensión 110VDC Avería	Intermitente	76	150	Pre-Alarma	L
		Rojo		151	Alarma	
77	Bomba Eléctrica Avería	Intermitente	77	152	Pre-Alarma	L
		Rojo		153	Alarma	
78	Dirección de Rotación	Intermitente	78	154	Pre-Alarma	L
		Rojo		155	Alarma	
79	Vibraciones	Intermitente	79	156	Pre-Alarma	L
		Amarillo		157	Alarma	

Tabla 4.5. Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora (continuación)

80	Vibración iniciado	Intermitente	80	158	Pre-Alarma	L
		Rojo		159	Alarma	
81	Sumatorio Temperatura	Intermitente	81	160	Pre-Alarma	L
		Amarillo		161	Alarma	
82	Sumatorio Temperatura	Intermitente	82	162	Pre-Alarma	L
		Rojo		163	Alarma	

El programa completo del PLC para la Estación Elevadora se encuentra en el anexo 1.1, cabe destacar que el mencionado PLC fue configurado con la lógica de programación indicada en la figura 4.4.

4.2.2 Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador de la Estación Elevadora

El software utilizado para desarrollar las pantallas de Operador es Vijeo Designer, para crear una nueva aplicación se debe primero abrir el software y después elegir crear una nueva aplicación como se muestra en la figura 4.6.

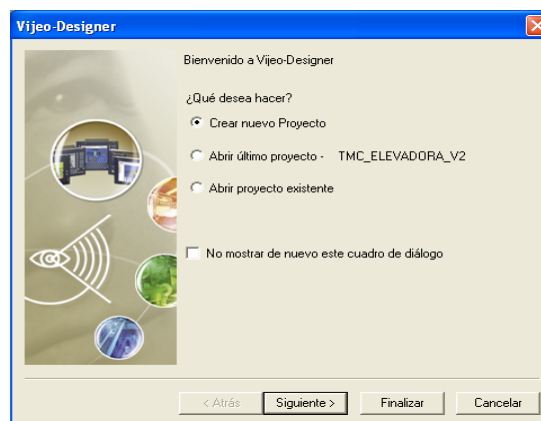


Figura 4.6 Pantalla de presentación de Vijeo Designer.

El siguiente paso es darle un nombre al proyecto, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7 Creación de Proyecto en Vijeo Designer.

A continuación se escoge el tipo de pantalla táctil a usar, que para este caso es la XBTG-6330, como se muestra en la figura 4.8.



Figura 4.8 Selección del tipo de panel de Operador en Vijeo Designer.

El siguiente paso es asignar una dirección IP a la pantalla táctil como se muestra en la figura 4.9, y para esta estación la dirección IP del panel táctil de operador es 172.20.10.169.



Figura 4.9 Configuración de la dirección IP del panel de Operador.

Ahora se debe seleccionar el protocolo de comunicaciones como se observa en la figura 4.10 y los equipos de los cuales la pantalla táctil va a recibir la información, para este caso el panel de operador se debe comunicar con el PLC Twido DRF40 de la Estación Elevadora que fue programado anteriormente.

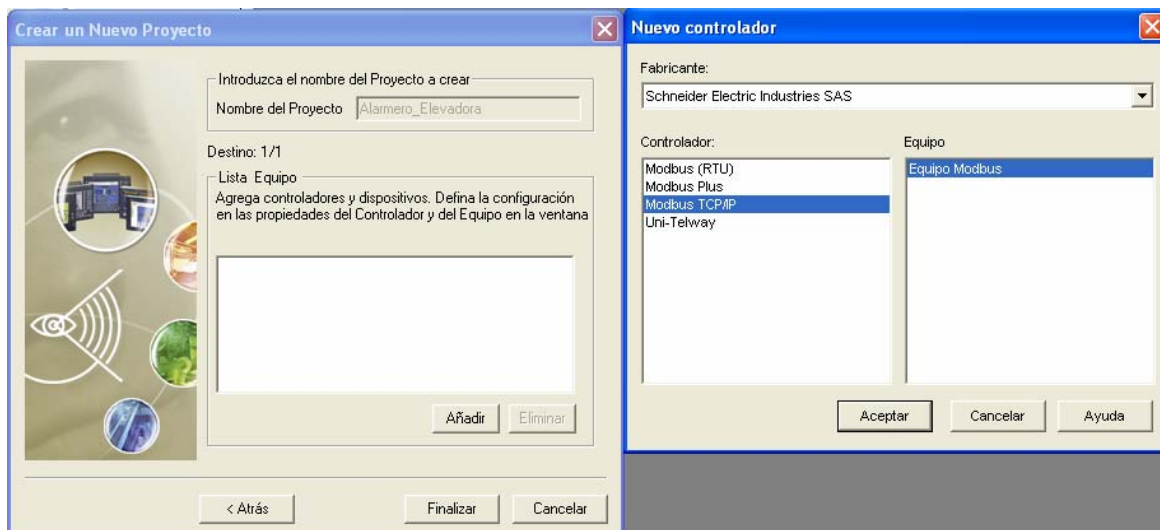


Figura 4.10 Selección del protocolo de comunicaciones del panel de operador.

El siguiente paso es proceder a la configuración y diseño de las pantallas HMI de acuerdo al número de señales de alarma de esta estación. Se distribuyeron las pantallas de la siguiente manera:

1. Una pantalla principal de Menú donde se distribuyen los accesos a las distintas alarmas, como se muestra en la figura 4.11, a esta pantalla se accede mediante una barra de menú situada en la parte inferior de la pantalla por medio del botón Alarmas, en esta pantalla se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las alarmas del panel 4, panel 5, alarmas de cada una de las bombas, alarmas activas y resumen de alarmas.



Figura 4.11 Pantalla de menú para el panel de operador Estación Elevadora.

2. La segunda pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cuatro donde se muestran las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC además de las alarmas de 6,6KV y 500KVA, como se muestra en la figura 4.12, en esta pantalla y en las que se muestran a continuación se pueden observar botones en la parte inferior los cuales sirven para desplazarse entre las pantallas de alarmas o para regresar a la pantalla de menú, también la parte superior derecha de las pantallas se puede observar la fecha y la hora.

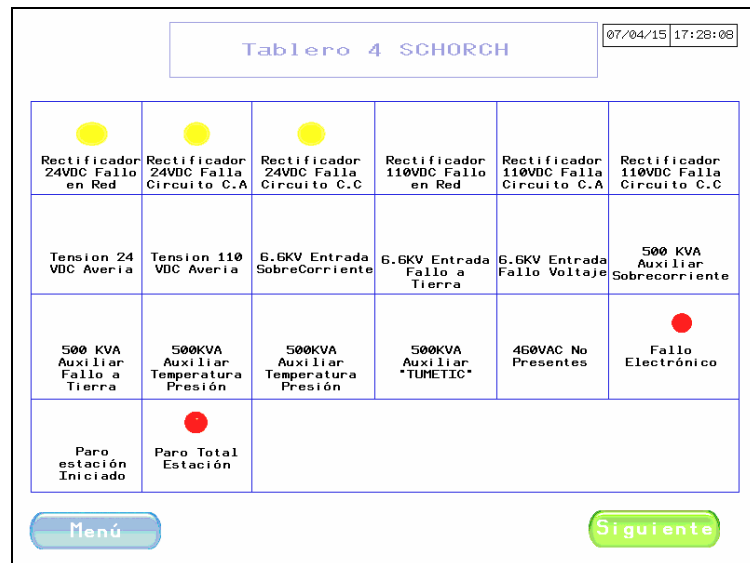


Figura 4.12 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 4 de la Estación Elevadora

- La tercera pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cinco en donde se muestran las señales pertinentes al sistema SCADA además de las alarmas de las válvulas K101, como se muestra en la figura 4.13.

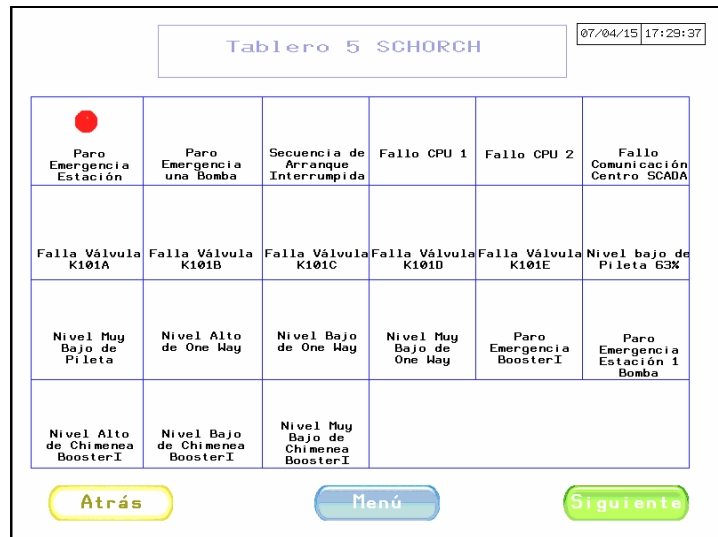


Figura 4.13 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 5 de la Estación Elevadora

- El siguiente conjunto de pantallas son las correspondientes a cada una de las bombas de la estación Elevadora como se muestra en las figuras de la 4.14 a la 4.18.

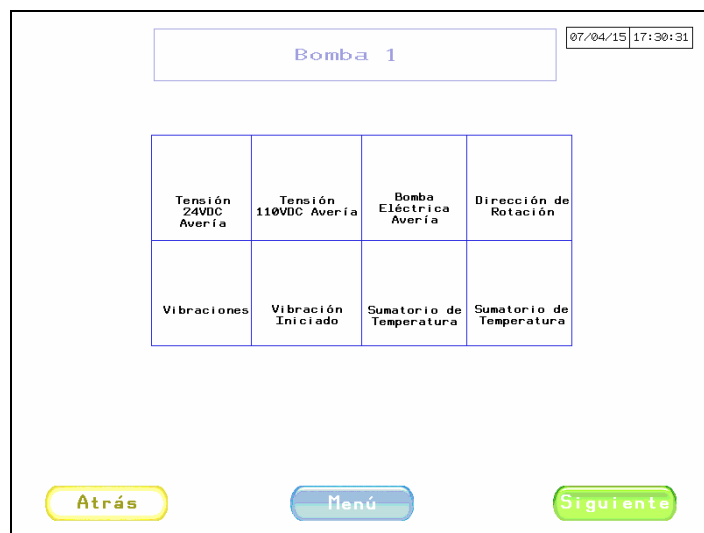


Figura 4.14 Pantalla de alarmas de la Bomba # 1 de la Estación Elevadora

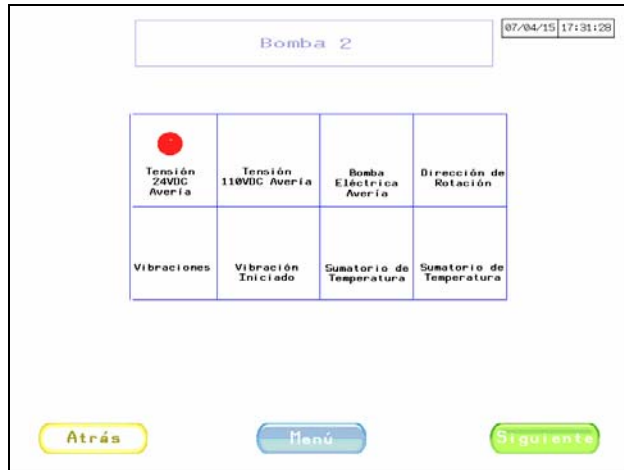


Figura 4.15 Pantalla de alarmas de la Bomba # 2 de la Estación Elevadora

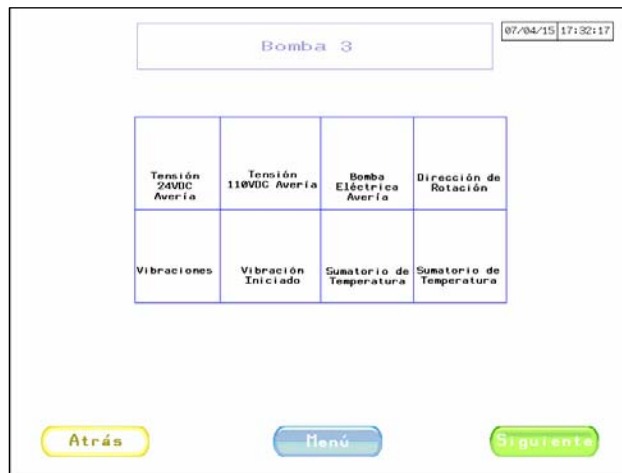


Figura 4.16 Pantalla de alarmas de la Bomba # 3 de la Estación Elevadora

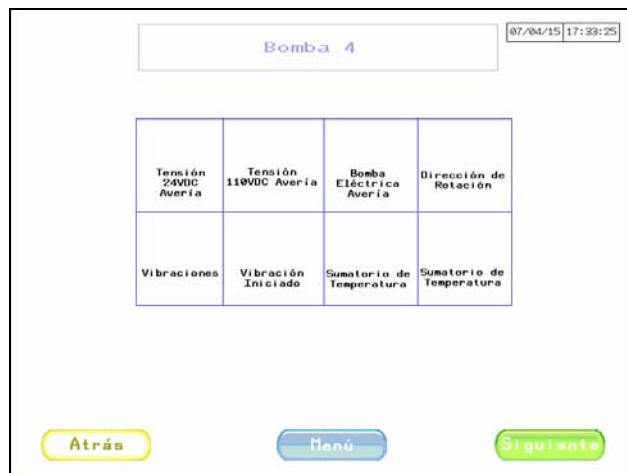


Figura 4.17 Pantalla de alarmas de la Bomba # 4 de la Estación Elevadora

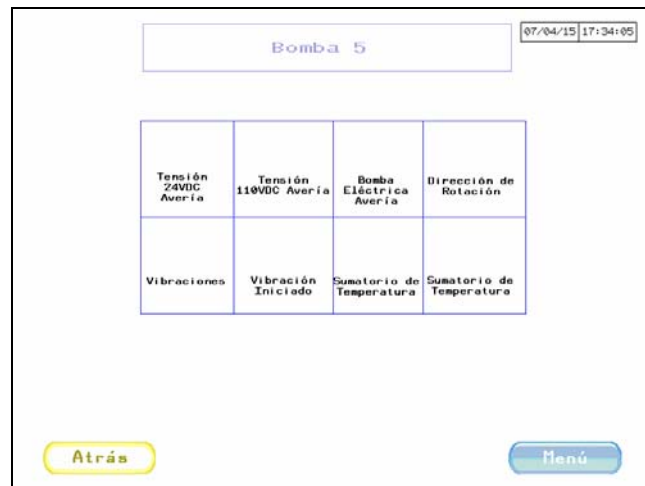


Figura 4.18 Pantalla de alarmas de la Bomba # 5 de la Estación Elevadora

5. La octava pantalla se observa en la figura 4.19, esta es la encargada de demostrar las alarmas activas en ese momento, en la misma también se puede observar un botón en la parte inferior que sirve para regresar a la pantalla de menú, además de dos botones que sirven para el reconocimiento de alarma y reset de bocina, por medio de estos botones se envían las señales correspondientes al PLC de esta estación, para realizar las acciones mencionadas.

No.	Mensaje	Fecha	Hora	Estado
12	Tensión 24VDC Avería Alarma	07/04/15	17:27:43	ACTIVO
11	Tensión 24VDC Avería Advertencia	07/04/15	17:27:39	ACTIVO
10	Paro de Emergencia Estación Advertencia	07/04/15	17:27:33	ACTIVO
9	Paro Total Estación Alarma	07/04/15	17:27:28	ACTIVO
8	Paro Estación Iniciado Advertencia	07/04/15	17:27:21	ACTIVO
7	Fallo Electrónico Alarma	07/04/15	17:27:17	ACTIVO
6	Rectificador 24VDC Falta CC Alarma	07/04/15	17:26:56	ACTIVO
5	Rectificador 24VDC Falta CC Advertencia	07/04/15	17:26:52	ACTIVO
4	Rectificador 24VDC Falta CA Alarma	07/04/15	17:26:48	ACTIVO
3	Rectificador 24VDC Falta CA Advertencia	07/04/15	17:26:45	ACTIVO
2	Rectificador 24VDC Fallo en Red Alarma	07/04/15	17:26:41	ACTIVO
1	Rectificador 24VDC Fallo en Red Advertencia	07/04/15	17:26:36	ACTIVO

Figura 4.19 Pantalla de alarmas activas de la Estación Elevadora

6. Finalmente se tiene una pantalla en la que se muestra el estado de todas las alarmas de la estación, esta se ilustra en la figura 4.20.

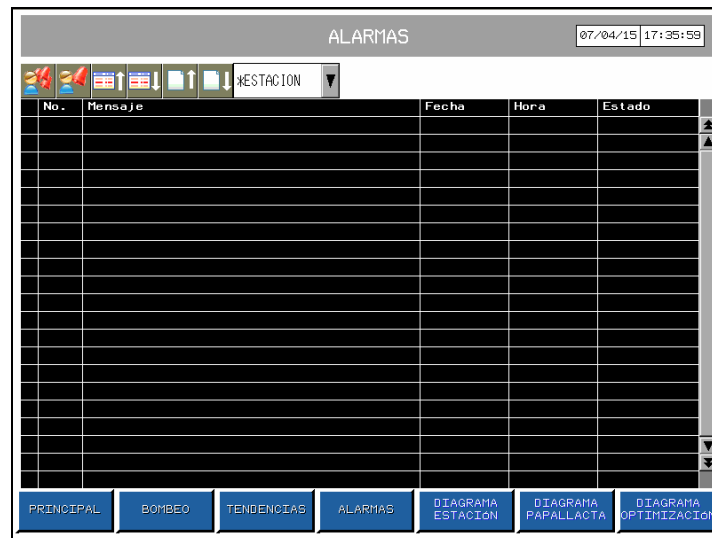


Figura 4.20 Pantalla de alarmas de la Estación Elevadora

4.2.3 Programación y Diseño de pantallas HMI para el Sistema SCADA correspondientes a la Estación Elevadora

Anteriormente se explicó que el sistema SCADA que monitorea las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado esta desarrollado bajo la plataforma Intouch en su versión 9.0 y es en este software en el que se han desarrollado las interfaces HMI correspondientes al sistema de Alarmeros inteligentes para la estación Elevadora. Para el desarrollo de las mencionadas interfaces se procedió a realizar una distribución de las señales de alarma de manera muy similar a la realizada en los paneles de operador, esto debido a la necesidad de mantener uniformidad y correspondencia entre los paneles de operador y los terminales SCADA. Se distribuyo las pantallas HMIs SCADA de la siguiente manera:

1. Una pantalla principal de Menú donde se distribuyen los accesos a las distintas alarmas, como se muestra en la figura 4.21, en esta pantalla se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las alarmas del panel 4, panel 5, alarmas de cada una de las bombas, alarmas activas e histórico de alarmas.



Figura 4.21 Pantalla SCADA de Menú de la Estación Elevadora

- La segunda pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cuatro en donde se muestran las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC además de las alarmas de 6,6KV y 500KVA, como se muestra en la figura 4.22, en esta pantalla y en las siguientes también se pueden observar botones en la parte inferior que sirven para desplazarse por las pantallas de alarmas o para regresar a la pantalla de menú.

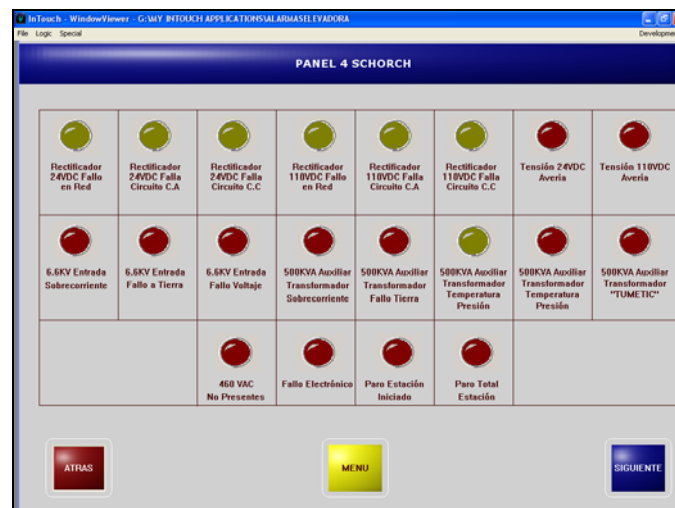


Figura 4.22 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 4 de la Estación Elevadora

- La tercera pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cinco en donde se muestran las señales pertinentes al sistema

SCADA además de las alarmas de las válvulas K101, como se muestra en la figura 4.23.

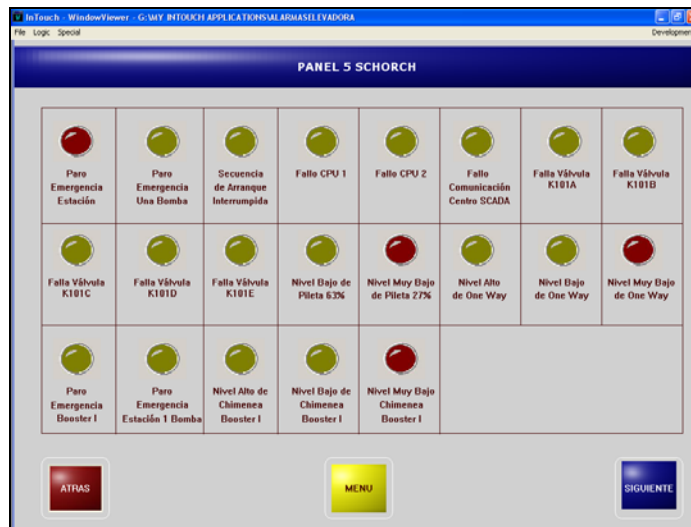


Figura 4.23 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 5 de la Estación Elevadora

4. El siguiente conjunto de pantallas son las correspondientes a cada una de las bombas de la estación Elevadora como se muestra en las figuras de la 4.24 a la 4.28.

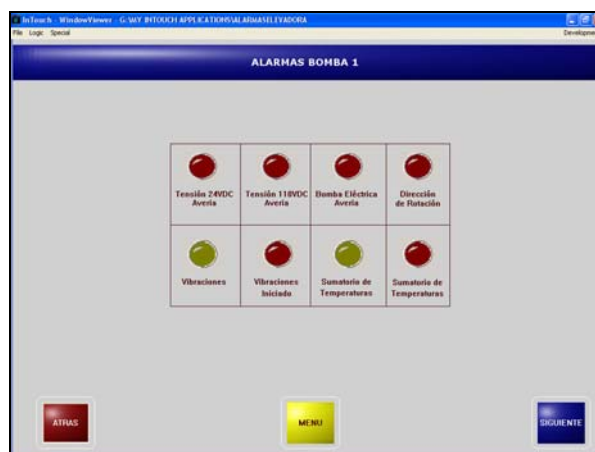


Figura 4.24 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 1 Estación Elevadora

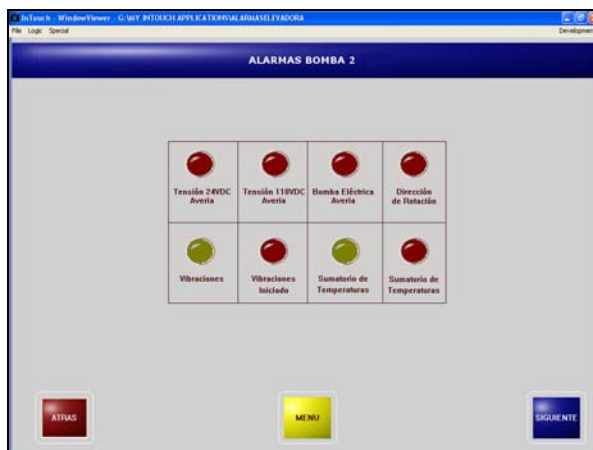


Figura 4.25 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 2 Estación Elevadora

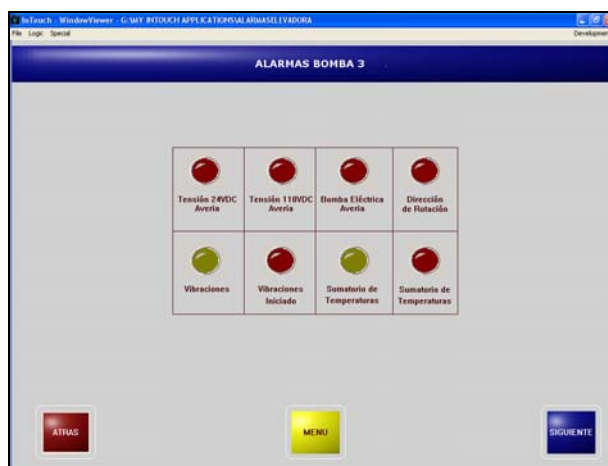


Figura 4.26 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 3 Estación Elevadora

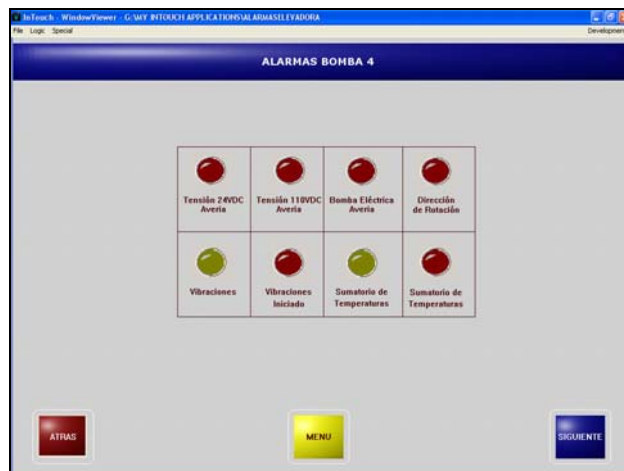


Figura 4.27 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 4 Estación Elevadora

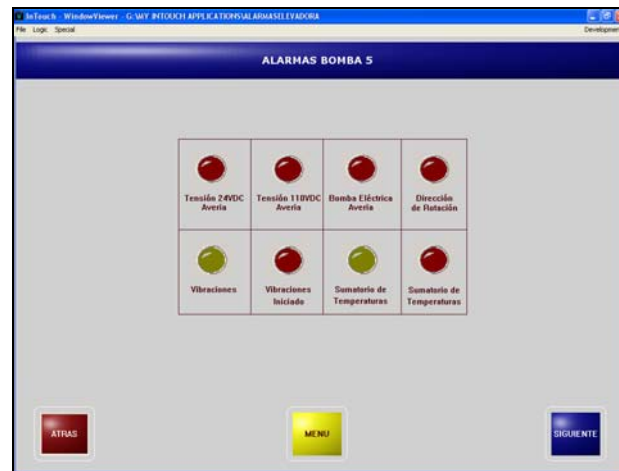


Figura 4.28 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 5 Estación Elevadora

5. En la figura 4.29 se puede observar la pantalla correspondiente a las alarmas activas, en esta pantalla se podrá observar todas las alarmas accionadas en ese momento, además de los botones de desplazamiento en esta pantalla se pueden observar dos botones que son los de reconocimiento de alarma y reset de bocina, por medio de estos botones se envían las señales correspondientes al PLC de esta estación.

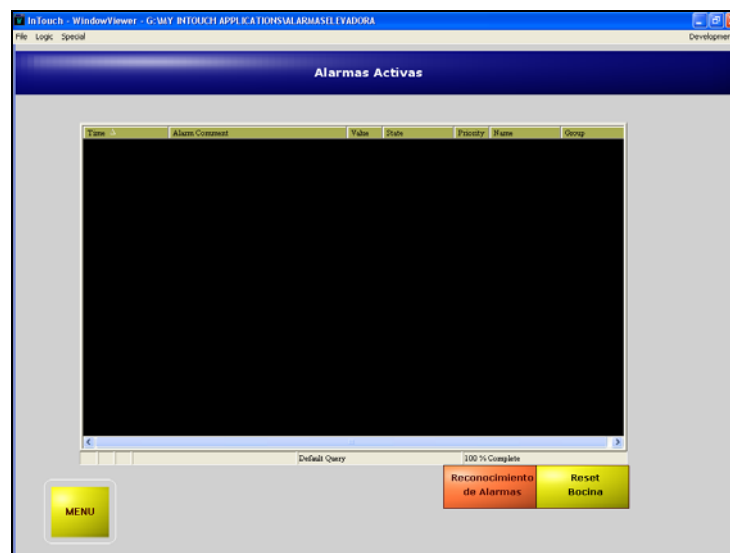


Figura 4.29 Pantalla SCADA de alarmas activas Estación Elevadora

6. En la figura 4.30, se tiene una pantalla en la que se muestra el estado histórico de todas las alarmas de la estación.

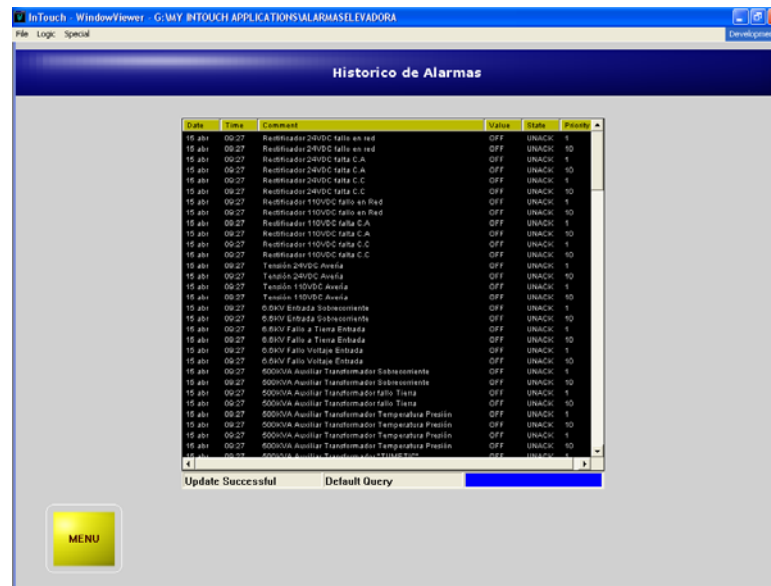


Figura 4.30 Pantalla SCADA de histórico de alarmas Estación Elevadora

Finalmente para que la pantallas HMI SCADA puedan obtener los datos correspondientes al sistema de alarmeros inteligentes de la estación Elevadora es necesario configurar la comunicación, que se realiza a través del protocolo Modbus Ethernet para el cual InTouch ha incorporado un driver denominado MBENET el cual se configuró de la siguiente manera.

1. Se accede al Factory Suite de Wonderware como se muestra en la figura 4.31 y se escoge el driver Modbus Ethernet.

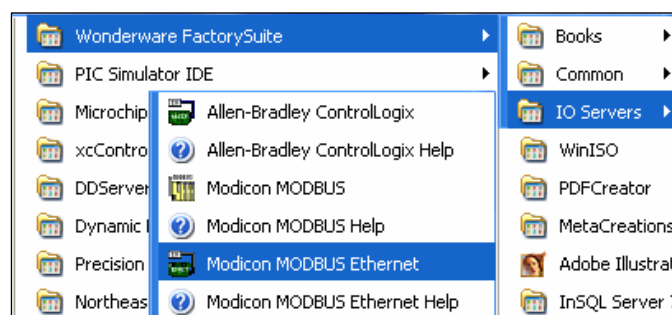


Figura 4.31 Driver ModBus Ethernet de Wonderware

2. El siguiente paso es configurar el tópico y la dirección IP del equipo a ser monitoreado como se muestra en la figura 4.32.

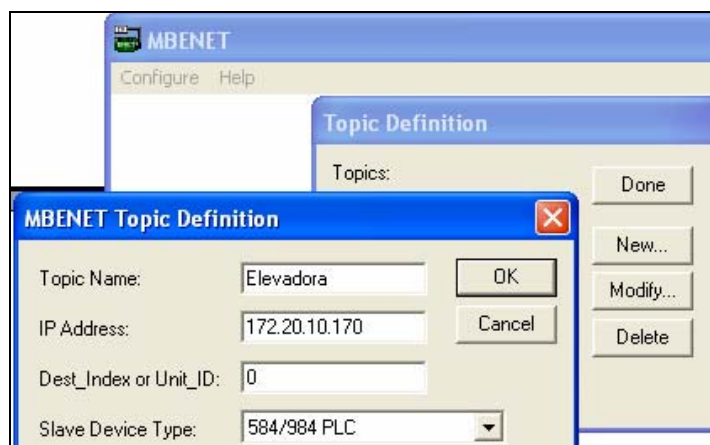


Figura 4.32 Configuración SCADA del Tópico y la dirección IP Estación Elevadora

4.3 Software para la Estación Booster I

El software desarrollado para la estación Booster I sigue parámetros de programación similares a los utilizados para la Estación Elevadora, la única diferencia radica en el número de señales a monitorear que para este caso son 124 señales de alarma.

4.3.1 Programación de un PLC Twido DRF40 para la estación Booster I

Como se explicó anteriormente la lógica de programación para Sistema de Alarmeros Inteligentes se ilustra en la figura 4.4 y es en base a esta lógica que se configuró el PLC destinado a esta Estación, el programa detallado se lo puede encontrar en el anexo 1.1, es importante mencionar que la dirección IP, que llevará este dispositivo de ahora en adelante es la 172.20.10.137, esto servirá para en un futuro poder identificar cada PLC dentro de la red del Sistema Papallacta Integrado.

A continuación se realizará la distribución de las direcciones de entrada, direcciones de memoria, estados lógicos y colores que se asignarán a las señales de alarma de acuerdo a su importancia y también se puntualizará las señales de control del sistema de alarmeros para esta estación, como se muestra en las tablas 4.6 y 4.7.

Tabla 4.6. Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes de la Estación Booster I

Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes de la Estación Booster I				
No	Nombre	Cod. en Plano	Dir. en PLC	Estado Lógico
Panel 3				
	Reconocimiento de Alarma por Pulsador	Rec_1	%I0.0	H
	Reconocimiento de Alarma por Software		%M254	
	Reset Bocina por Pulsador	Rst_1	%I0.2	H
	Reset Bocina por Software		%M252	
	Bocina	Bocina	%Q0.5	

4.3.2 Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador de la Estación Booster I

Como se explicó anteriormente el software utilizado para desarrollar las pantallas de Operador es Vijeo Designer, para crear esta aplicación se siguieron los mismos parámetros descritos en la sección 4.1.2. El siguiente paso es asignar una dirección IP a la pantalla táctil como se muestra en la figura 4.8, para este panel de operador la dirección IP asignada es la 172.20.10.136.

La configuración y diseño de las pantallas HMI se la realizó de acuerdo al número de señales de alarma de esta estación y se distribuyeron las pantallas de la siguiente manera:

1. Una pantalla principal de Menú donde se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las alarmas del panel 4, panel 5, alarmas de cada una de las bombas, alarmas activas y resumen de alarmas, la cual se muestra en la figura 4.33.

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I

Señales de Alarma Estación Booster I						
Panel 4	Nombre	Color	No. en Plano	Dir. PLC	Tipo Alarma	Polaridad
				%M		
1	Rectificador 24VDC Falla en RED	Intermitente	25	48	Pre-Alarma	L
		Amarillo		49	Alarma	
2	Rectificador 24VDC Falta CA	Intermitente	26	50	Pre-Alarma	L
		Amarillo		51	Alarma	
3	Rectificador 24VDC Falta CC	Intermitente	27	52	Pre-Alarma	L
		Amarillo		53	Alarma	
4	Rectificador 110 VDC FALLO EN RED	Intermitente	28	54	Pre-Alarma	L
		Amarillo		55	Alarma	
5	Rectificador 110 VDC Falta CA	Intermitente	29	56	Pre-Alarma	L
		Amarillo		57	Alarma	
6	Rectificador 110 VDC Falta CC	Intermitente	30	58	Pre-Alarma	L
		Amarillo		59	Alarma	
7	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	32	62	Pre-Alarma	L
		Rojo		63	Alarma	
8	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	33	64	Pre-Alarma	L
		Rojo		65	Alarma	
9	6.6Kv Entrada sobre corriente	Intermitente	1	0	Pre-Alarma	H
		Rojo		1	Alarma	
10	6.6Kv Entrada protección de tierra	Intermitente	2	2	Pre-Alarma	H
		Rojo		3	Alarma	
11	6.6Kv Entrada falta tensión	Intermitente	3	4	Pre-Alarma	H
		Rojo		5	Alarma	

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

12	6.6Kv Entrada protección diferencial	Intermitente	4	6	Pre-Alarma	H
		Rojo		7	Alarma	
13	500KVA Auxiliar sobre corriente	Intermitente	5	8	Pre-Alarma	H
		Rojo		9	Alarma	
14	500KVA Auxiliar protección de tierra	Intermitente	6	10	Pre-Alarma	H
		Rojo		11	Alarma	
15	460 V No presentes	Intermitente	8	14	Pre-Alarma	H
		Rojo		15	Alarma	
16	132 KV Transformador acometida averiada	Intermitente	9	16	Pre-Alarma	H
		Amarillo		17	Alarma	
17	132 KV Transformador red trifásica desconectada	Intermitente	10	18	Pre-Alarma	H
		Amarillo		19	Alarma	
18	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 1	Intermitente	11	20	Pre-Alarma	H
		Amarillo		21	Alarma	
19	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 2	Intermitente	12	22	Pre-Alarma	H
		Amarillo		23	Alarma	
20	132 KV Corriente trifásica motor accionamiento	Intermitente	13	24	Pre-Alarma	L
		Amarillo		25	Alarma	
21	132 KV Transformador protección desenganche	Intermitente	14	26	Pre-Alarma	L
		Rojo		27	Alarma	
22	132 KV Transformador protección	Intermitente	15	28	Pre-Alarma	L
		Amarillo		29	Alarma	
23	132 KV Transformador termómetro	Intermitente	16	30	Pre-Alarma	L
		Amarillo		31	Alarma	
24	132 KV Transformador interruptor nivel min. aceite	Intermitente	17	32	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		33	Alarma	
25	132 KV Transformador principal nivel min. aceite	Intermitente	18	34	Pre-Alarma	L
		Amarillo		35	Alarma	
26	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	19	36	Pre-Alarma	L
		Amarillo		37	Alarma	
27	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	20	38	Pre-Alarma	L
		Rojo		39	Alarma	
28	500 KVA Auxiliar transformador "TUMETIC"	Intermitente	21	40	Pre-Alarma	L
		Rojo		41	Alarma	
29	Fallo electrónico	Intermitente	22	42	Pre-Alarma	L
		Rojo		43	Alarma	
30	Paro estación iniciado	Intermitente	23	44	Pre-Alarma	L
		Rojo		45	Alarma	
31	Paro total estación	Intermitente	24	46	Pre-Alarma	L
		Rojo		47	Alarma	
Panel 5						
34	Paro Emergencia estación	Intermitente	34	66	Pre-Alarma	L
		Rojo		67	Alarma	
35	Paro emergencia una bomba	Intermitente	35	68	Pre-Alarma	L
		Amarillo		69	Alarma	
36	Secuencia de arranque interrumpida	Intermitente	36	70	Pre-Alarma	L
		Amarillo		71	Alarma	
37	Fallo CPU1	Intermitente	37	72	Pre-Alarma	L
		Amarillo		73	Alarma	
38	Fallo CPU2	Intermitente	38	74	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		75	Alarma	
39	Fallo comunicación centro SCADA	Intermitente	39	76	Pre-Alarma	L
		Amarillo		77	Alarma	
40	Falla válvula K301A	Intermitente	40	78	Pre-Alarma	L
		Amarillo		79	Alarma	
41	Falla válvula K301B	Intermitente	41	80	Pre-Alarma	L
		Amarillo		81	Alarma	
42	Falla válvula K301C	Intermitente	42	82	Pre-Alarma	L
		Amarillo		83	Alarma	
43	Falla válvula K301D	Intermitente	43	84	Pre-Alarma	L
		Amarillo		85	Alarma	
44	Falla válvula K301E	Intermitente	44	86	Pre-Alarma	L
		Amarillo		87	Alarma	
45	Nivel alto de chimenea 100%	Intermitente	45	88	Pre-Alarma	L
		Amarillo		89	Alarma	
46	Nivel bajo de chimenea 16%	Intermitente	46	90	Pre-Alarma	L
		Amarillo		91	Alarma	
47	Nivel muy bajo de chimenea 8%	Intermitente	47	92	Pre-Alarma	L
		Rojo		93	Alarma	
48	Paro de emergencia Booster 1	Intermitente	53	104	Pre-Alarma	L
		Amarillo		105	Alarma	
49	Paro bomba emergencia Booster 1	Intermitente	54	106	Pre-Alarma	L
		Amarillo		107	Alarma	
50	Nivel de túnel alto	Intermitente	51	100	Pre-Alarma	L
		Amarillo		101	Alarma	

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		103	Alarma	
Bomba 1						
55	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	56	110	Pre-Alarma	L
		Rojo		111	Alarma	
56	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	55	108	Pre-Alarma	L
		Rojo		109	Alarma	
57	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	57	112	Pre-Alarma	L
		Amarillo		113	Alarma	
58	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	58	114	Pre-Alarma	L
		Amarillo		115	Alarma	
59	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	59	116	Pre-Alarma	L
		Rojo		117	Alarma	
60	Bomba eléctrica avería	Intermitente	60	118	Pre-Alarma	L
		Rojo		119	Alarma	
61	Dirección de rotación	Intermitente	61	120	Pre-Alarma	L
		Amarillo		121	Alarma	
62	Vibraciones	Intermitente	62	122	Pre-Alarma	L
		Amarillo		123	Alarma	
63	Vibración iniciado	Intermitente	63	124	Pre-Alarma	L
		Rojo		125	Alarma	
64	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	64	126	Pre-Alarma	L
		Amarillo		127	Alarma	
65	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	65	128	Pre-Alarma	L
		Rojo		129	Alarma	
66	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	66	130	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Rojo		131	Alarma	
67	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	67	132	Pre-Alarma	L
		Rojo		133	Alarma	
68	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	68	134	Pre-Alarma	L
		Rojo		135	Alarma	
Bomba 2						
69	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	70	138	Pre-Alarma	L
		Rojo		139	Alarma	
70	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	69	136	Pre-Alarma	L
		Rojo		137	Alarma	
71	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	71	140	Pre-Alarma	L
		Amarillo		141	Alarma	
72	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	72	142	Pre-Alarma	L
		Amarillo		143	Alarma	
73	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	73	144	Pre-Alarma	L
		Rojo		145	Alarma	
74	Bomba eléctrica avería	Intermitente	74	146	Pre-Alarma	L
		Rojo		147	Alarma	
75	Dirección de rotación	Intermitente	75	148	Pre-Alarma	L
		Amarillo		149	Alarma	
76	Vibraciones	Intermitente	76	150	Pre-Alarma	L
		Amarillo		151	Alarma	
77	Vibración iniciado	Intermitente	77	152	Pre-Alarma	L
		Rojo		153	Alarma	
78	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	78	154	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		155	Alarma	
79	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	79	156	Pre-Alarma	L
		Rojo		157	Alarma	
80	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	80	158	Pre-Alarma	L
		Rojo		159	Alarma	
81	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	81	160	Pre-Alarma	L
		Rojo		161	Alarma	
82	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	82	162	Pre-Alarma	L
		Rojo		163	Alarma	
Bomba 3						
83	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	84	166	Pre-Alarma	L
		Rojo		167	Alarma	
84	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	83	164	Pre-Alarma	L
		Rojo		165	Alarma	
85	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	85	168	Pre-Alarma	L
		Amarillo		169	Alarma	
86	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	86	170	Pre-Alarma	L
		Amarillo		171	Alarma	
87	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	87	172	Pre-Alarma	L
		Rojo		173	Alarma	
88	Bomba eléctrica avería	Intermitente	88	174	Pre-Alarma	L
		Rojo		175	Alarma	
89	Dirección de rotación	Intermitente	89	176	Pre-Alarma	L
		Amarillo		177	Alarma	
90	Vibraciones	Intermitente	90	178	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		179	Alarma	
91	Vibración iniciado	Intermitente	91	180	Pre-Alarma	L
		Rojo		181	Alarma	
92	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	92	182	Pre-Alarma	L
		Amarillo		183	Alarma	
93	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	93	184	Pre-Alarma	L
		Rojo		185	Alarma	
94	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	94	186	Pre-Alarma	L
		Rojo		187	Alarma	
95	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	95	188	Pre-Alarma	L
		Rojo		189	Alarma	
96	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	96	190	Pre-Alarma	L
		Rojo		191	Alarma	
Bomba 4						
97	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	98	194	Pre-Alarma	L
		Rojo		195	Alarma	
98	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	97	192	Pre-Alarma	L
		Rojo		193	Alarma	
99	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	99	196	Pre-Alarma	L
		Amarillo		197	Alarma	
100	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	100	198	Pre-Alarma	L
		Amarillo		199	Alarma	
101	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	101	200	Pre-Alarma	L
		Rojo		201	Alarma	
102	Bomba eléctrica avería	Intermitente	102	202	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Rojo		203	Alarma	
103	Dirección de rotación	Intermitente	103	204	Pre-Alarma	L
		Amarillo		205	Alarma	
104	Vibraciones	Intermitente	104	206	Pre-Alarma	L
		Amarillo		207	Alarma	
105	Vibración iniciado	Intermitente	105	208	Pre-Alarma	L
		Rojo		209	Alarma	
106	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	106	210	Pre-Alarma	L
		Amarillo		211	Alarma	
107	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	107	212	Pre-Alarma	L
		Rojo		213	Alarma	
108	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	108	214	Pre-Alarma	L
		Rojo		215	Alarma	
109	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	109	216	Pre-Alarma	L
		Rojo		217	Alarma	
110	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	110	218	Pre-Alarma	L
		Rojo		219	Alarma	
Bomba 5						
111	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	112	222	Pre-Alarma	L
		Rojo		223	Alarma	
112	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	111	220	Pre-Alarma	L
		Rojo		221	Alarma	
113	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	113	224	Pre-Alarma	L
		Amarillo		225	Alarma	
114	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	114	226	Pre-Alarma	L

Tabla 4.7 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I (continuación)

		Amarillo		227	Alarma	
115	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	115	228	Pre-Alarma	L
		Rojo		229	Alarma	
116	Bomba eléctrica avería	Intermitente	116	230	Pre-Alarma	L
		Rojo		231	Alarma	
117	Dirección de rotación	Intermitente	117	232	Pre-Alarma	L
		Amarillo		233	Alarma	
118	Vibraciones	Intermitente	118	234	Pre-Alarma	L
		Amarillo		235	Alarma	
119	Vibración iniciado	Intermitente	119	236	Pre-Alarma	L
		Rojo		237	Alarma	
120	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	120	238	Pre-Alarma	L
		Amarillo		239	Alarma	
121	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	121	240	Pre-Alarma	L
		Rojo		241	Alarma	
122	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	122	242	Pre-Alarma	L
		Rojo		243	Alarma	
123	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	123	244	Pre-Alarma	L
		Rojo		245	Alarma	
124	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	124	246	Pre-Alarma	L
		Rojo		247	Alarma	

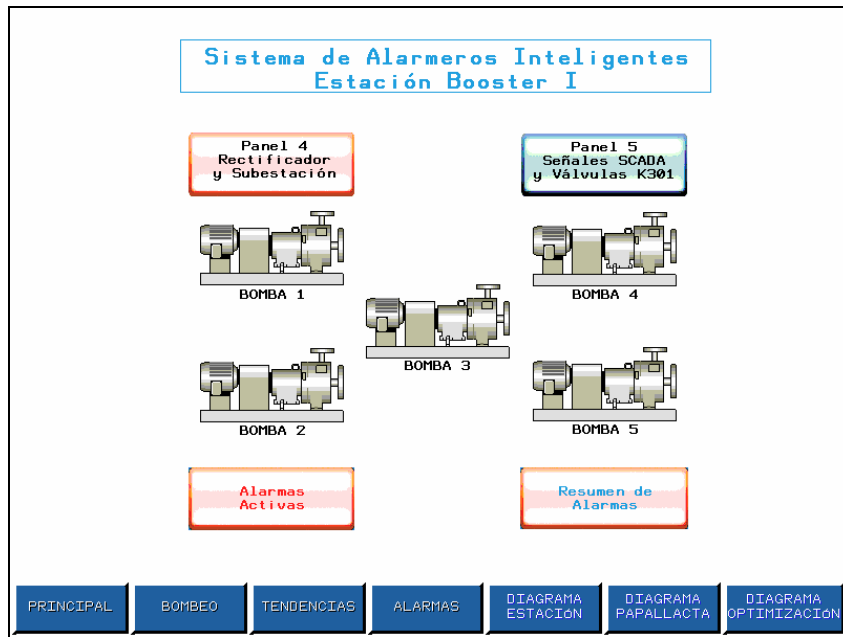


Figura 4.33 Pantalla de menú para el panel de operador Estación Booster I.


- La segunda y tercera pantalla muestran las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cuatro en donde se pueden observar las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC además de las alarmas de la subestación eléctrica, tal como se muestra en las figuras 4.34 y 4.35.

Tablero 4.1 SCHORCH						07/04/15 17:43:15
Rectificador 24VDC Fallo en Red	Rectificador 24VDC Fallo Circuito C.A	Rectificador 24VDC Fallo Circuito C.C	Rectificador 110VDC Fallo en Red	Rectificador 110VDC Fallo Circuito C.A	Rectificador 110VDC Fallo Circuito C.C	
Tension 24 VDC Averia	Tension 110 VDC Averia	6.6KV Entrada Sobre Corriente	6.6KV Entrada Protección de Tierra	6.6KV Entrada Falta Tension	6.6KV Entrada Protección Diferencial	
500 KVA Auxiliar Sobrecorriente	500 KVA Auxiliar Protección de Tierra	460V No Presentes	132 KV Transformador Acometida Averia			

Figura 4.34 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 4.1 Estación Booster I

Tablero 4.2 SCHORCH

07/04/15 17:44:25

132 KV Transformador Ventiladores Grupo 2	132 KV Transformador Corriente Trifásica de Motor Accionamiento	132 KV Transformador Protección Desenganche	132 KV Transformador Protección	132 KV Transformador Termómetro	132 KV Transformador Interruptor Nivel Mínimo Aceite
132 KV Transformador Principal Nivel Mínimo Aceite	500KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presión	500 KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presión	500 KVA Auxiliar Transformador "Tumetic"	Fallo Electrónico	Paro Estación Iniciado
 132 KV Transformador Red Trifásica Desconectada	132 KV Transformador Ventiladores Grupo 1	Paro Total Estación			

Atrás
Menú
Siguiente

Figura 4.35 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 4.2 Estación Booster I

- La tercera pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cinco, en el cual se muestran las señales pertinentes al sistema SCADA además de las alarmas de las válvulas K201, tal como se muestra en la figura 4.36.

Tablero 5 SCHORCH

07/04/15 17:45:27

Paro Emergencia Estación	Paro Emergencia una Bomba	Secuencia de Arranque Interrumpida	Fallo CPU 1	Fallo CPU 2	Fallo Comunicación Centro SCADA
Falla Válvula K301A	Falla Válvula K301B	Falla Válvula K301C	Falla Válvula K301D	Falla Válvula K301E	Nivel Alto de Chimenea 100%
Nivel Bajo de Chimenea 16%	Nivel Muy Bajo de Chimenea	Paro de Emergencia Booster I	Paro Bomba Emergencia Booster I	Nivel de Tunnel Alto	Paro Turbina

Atrás
Menú
Siguiente

Figura 4.36 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 5 Estación Booster I

4. El siguiente conjunto de pantallas son las correspondientes a cada una de las bombas de la estación Booster I tal como se muestra en las figuras 4.37 a la 4.41.



Figura 4.37 Pantalla de alarmas de la Bomba 1 Estación Booster I

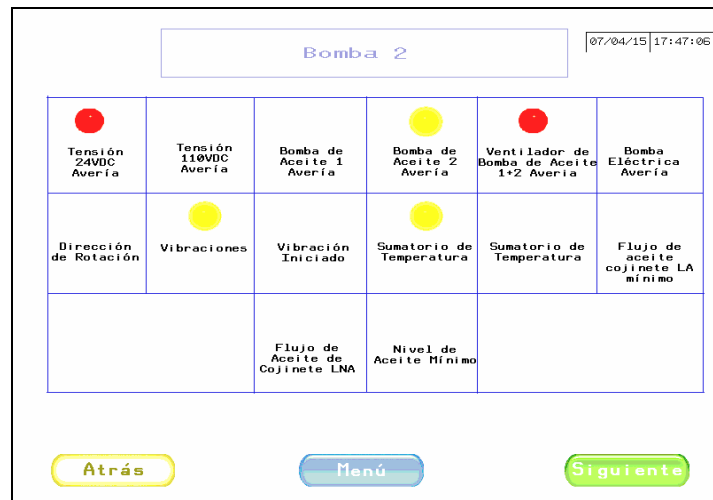


Figura 4.38 Pantalla de alarmas de la Bomba 2 Estación Booster I

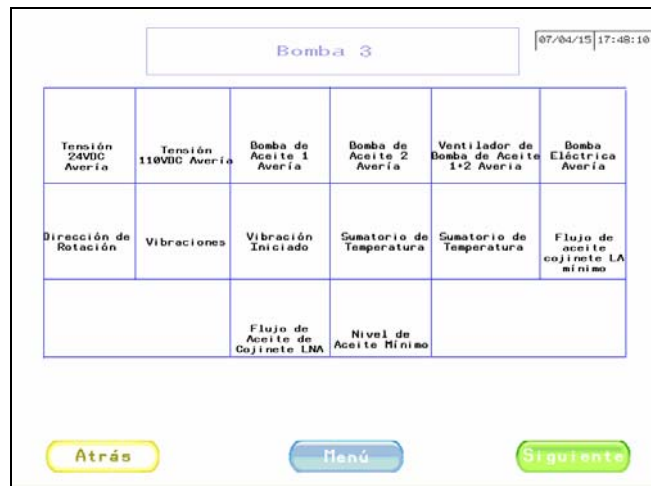


Figura 4.39 Pantalla de alarmas de la Bomba 3 Estación Booster I

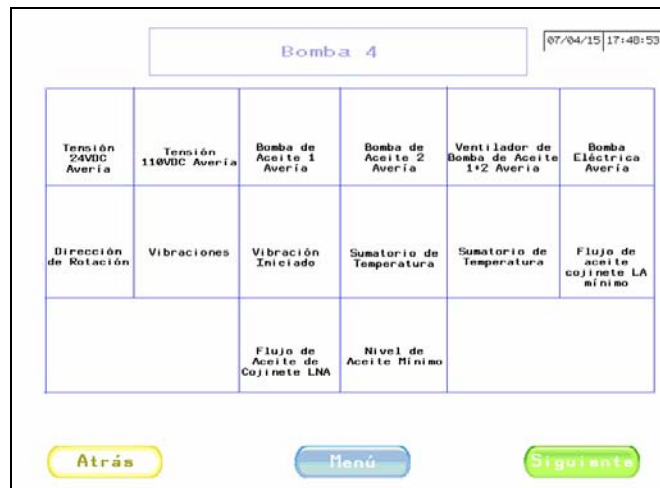


Figura 4.40 Pantalla de alarmas de la Bomba 4 Estación Booster I

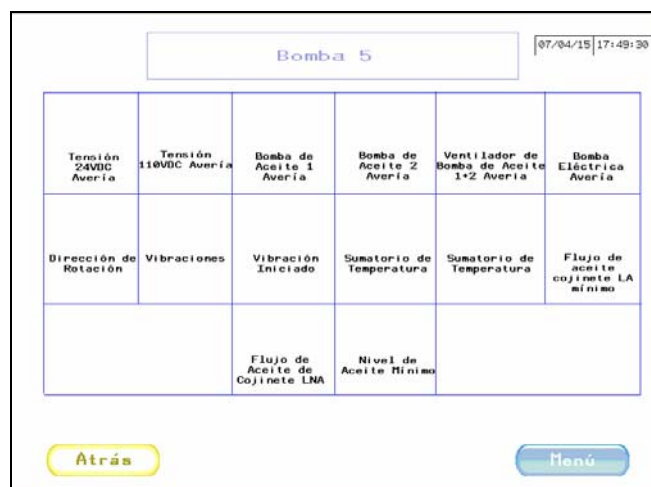


Figura 4.41 Pantalla de alarmas de la Bomba 5 Estación Booster I

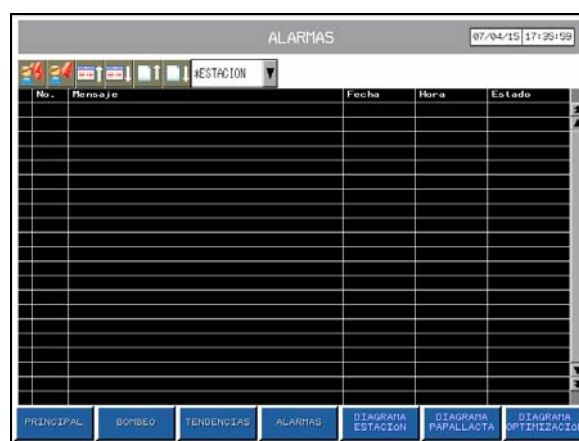
5. La novena pantalla es la correspondiente a las alarmas activas, en esta pantalla se podrá observar todas las alarmas accionadas en ese momento, además de los botones de desplazamiento en esta pantalla, se pueden observar dos botones que son los botones de reconocimiento de alarma y reset de bocina respectivamente, por medio de estos botones se envían las señales correspondientes al PLC de esta estación, ver figura 4.42.



No.	Mensaje	Fecha	Hora	Estado
12	Tensión 24VDC Avería Alarma	07/04/15	17:27:43	ACTIVO
11	Tensión 24VDC Avería Advertencia	07/04/15	17:27:39	ACTIVO
10	Paro de Emergencia Estación Advertencia	07/04/15	17:27:33	ACTIVO
9	Paro Total Estación Alarma	07/04/15	17:27:29	ACTIVO
8	Paro Estación Iniciado Advertencia	07/04/15	17:27:21	ACTIVO
7	Falla Electrónico Alarma	07/04/15	17:27:17	ACTIVO
6	Rectificador 24VDC Falta CC Alarma	07/04/15	17:26:56	ACTIVO
5	Rectificador 24VDC Falta CC Advertencia	07/04/15	17:26:52	ACTIVO
4	Rectificador 24VDC Falta CA Alarma	07/04/15	17:26:40	ACTIVO
3	Rectificador 24VDC Falta CA Advertencia	07/04/15	17:26:40	ACTIVO
2	Rectificador 24VDC Fallo en Red Alarma	07/04/15	17:26:41	ACTIVO
1	Rectificador 24VDC Fallo en Red Advertencia	07/04/15	17:26:36	ACTIVO

Figura 4.42. Pantalla de alarmas activas Estación Booster I

6. Finalmente se tiene una pantalla en la que se muestra el estado de todas las alarmas de la estación Booster I, como lo muestra la figura 4.43.



No.	Mensaje	Fecha	Hora	Estado
-----	---------	-------	------	--------

Figura 4.43 Pantalla de alarmas Estación Booster I

4.3.3 Programación y Diseño de pantallas HMI para el Sistema SCADA correspondientes a la Estación Booster I

En primer lugar, se procederá a la configuración y diseño de las pantallas HMI, de acuerdo al número de señales de alarma de esta estación, se distribuyeron las pantallas de manera muy similar a la realizada para los paneles de operador:

1. La pantalla principal contiene un Menú donde se distribuyen los accesos a las distintas alarmas, como se muestra en la figura 4.44, en esta pantalla se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las alarmas del panel 4, panel 5, alarmas de cada una de las bombas, alarmas activas e histórico de alarmas.



Figura 4.44 Pantalla SCADA de Menú de la Estación Booster I

2. La segunda y tercer pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cuatro en donde se muestran las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC, además de las alarmas de subestación, como se muestra en las figuras 4.45 y 4.46, en todas las pantallas también se pueden observar botones que se muestran en la parte inferior y sirven para desplazarse por el conjunto de pantallas ya sea hacia adelante, hacia atrás o para regresar a la pantalla de menú.

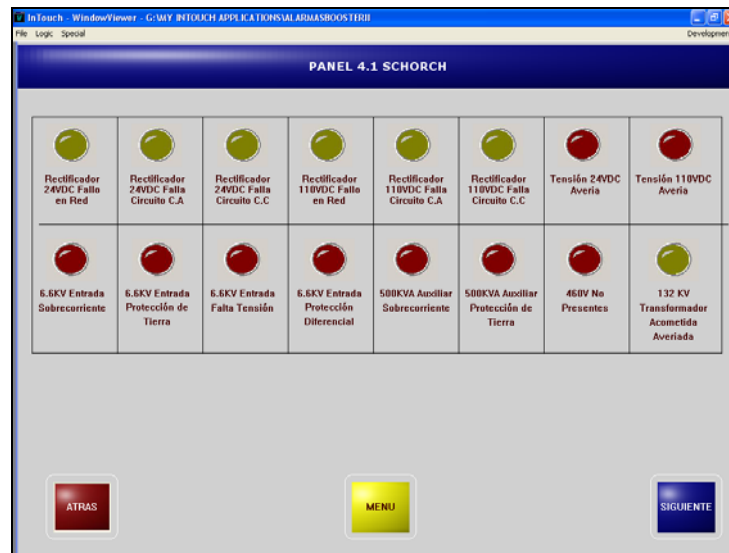


Figura 4.45 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 4.1 Estación Booster I

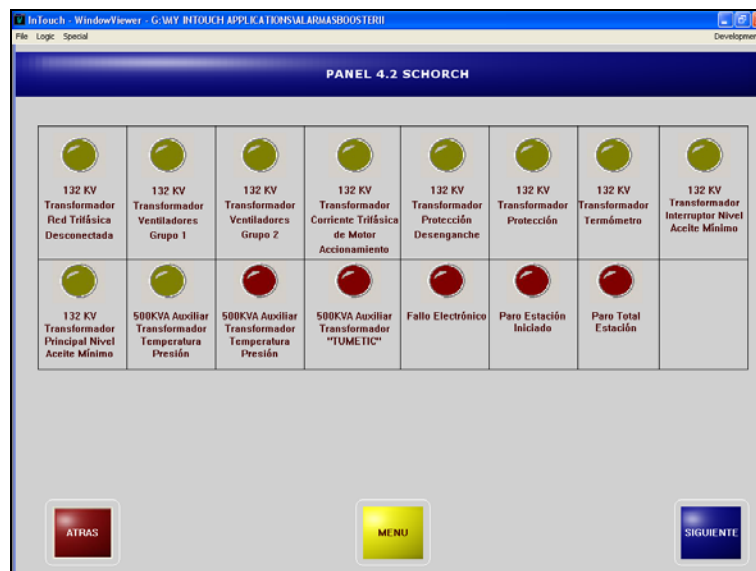


Figura 4.46 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 4.2 Estación Booster I

- La tercera pantalla esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número cinco, en donde se muestran las señales del sistema SCADA, además de las alarmas de las válvulas K201, como se muestra en la figura 4.47.

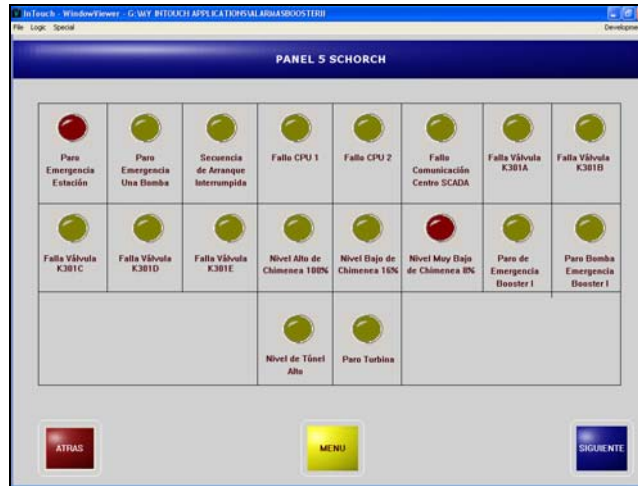


Figura 4.47 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 5 Estación Booster I

- El siguiente conjunto de pantallas son las correspondientes a cada una de las bombas de la estación Booster I, como se muestra en las figuras de la 4.48 a la 4.52.

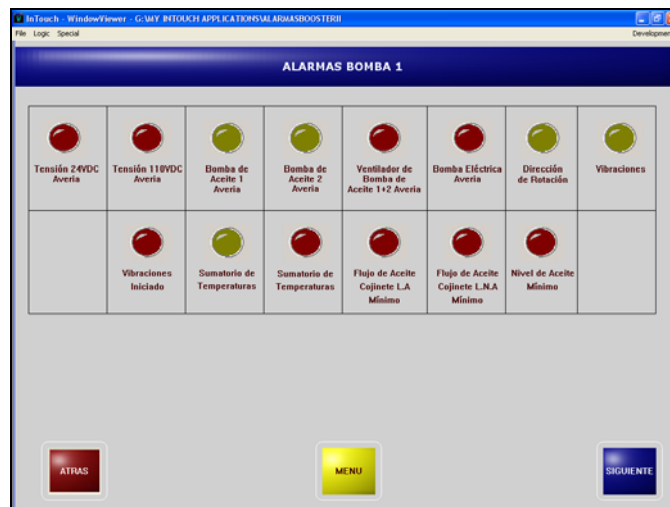


Figura 4.48 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 1 Estación Booster I

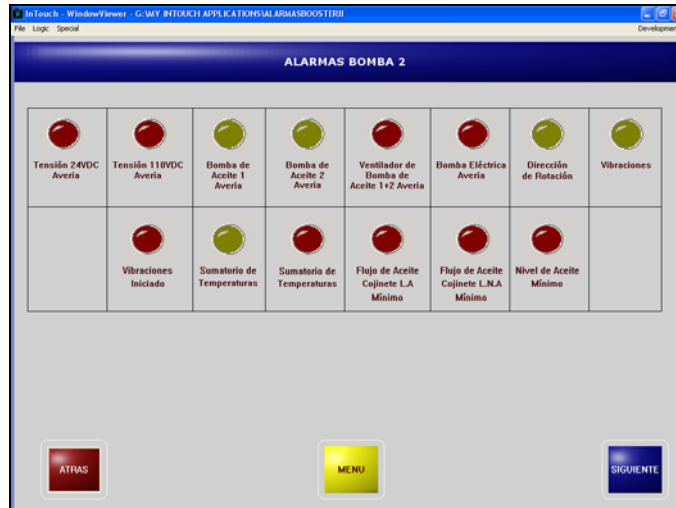


Figura 4.49 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 2 Estación Booster I

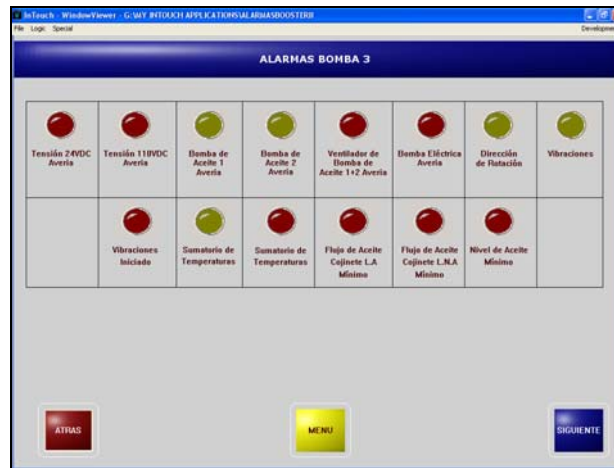


Figura 4.50 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 4 Estación Booster I

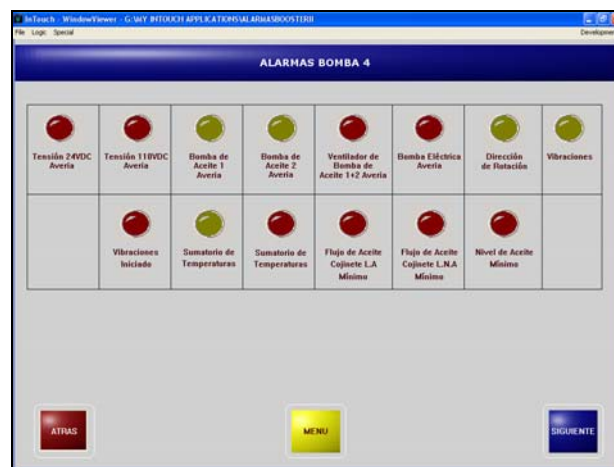


Figura 4.51 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 5 Estación Booster I

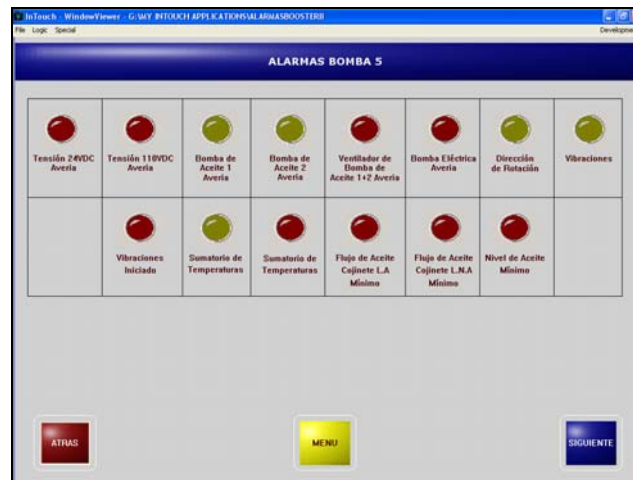


Figura 4.52 Pantalla SCADA de alarmas de la Bomba # 5 Estación Booster I

5. La octava pantalla es la que contiene las alarmas activas, como se observa en la figura 4.53 en esta pantalla se podrá ver todas las alarmas accionadas en ese momento, en la misma también se puede observar dos botones que son de reconocimiento de alarma y reset de bocina, por medio de estos botones se envían las señales correspondientes al PLC de esta estación.

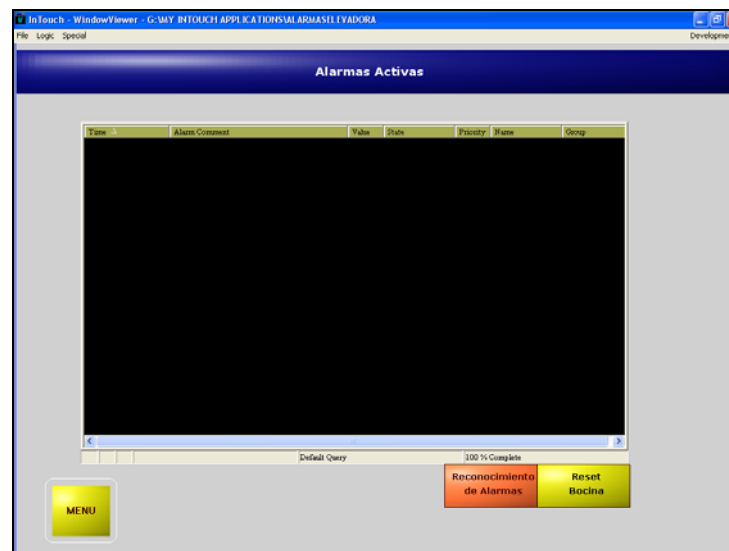


Figura 4.53 Pantalla SCADA de alarmas activas Estación Booster I

6. Posteriormente se tiene una pantalla en la que se muestra el estado histórico de todas las alarmas de la estación, esta pantalla se ilustra en la figura 4.54.

Date	Time	Comment	Value	State	Priority
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC fallo en red	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC fallo en red	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC falta C.A	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC falta C.A	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC falta C.C	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 24VDC falta C.C	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC fallo en Red	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC fallo en Red	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC falta C.A	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC falta C.A	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC falta C.C	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Reductor 110VDC falta C.C	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Temperatura 24VDC Anomalia	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Temperatura 24VDC Anomalia	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	Temperatura 110VDC Anomalia	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	Temperatura 110VDC Anomalia	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	0.5KV Entrada Subestacion	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	0.5KV Entrada Subestacion	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 1 Terna Entrada	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 1 Terna Entrada	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 2 Terna Entrada	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 2 Terna Entrada	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 3 Terna Entrada	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	0.5KV Fallo 3 Terna Entrada	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Subestacion	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Subestacion	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador fallo Terna	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador fallo Terna	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	10
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	1
15 Jun	00:27	500KVA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	10

Figura 4.54 Pantalla SCADA de histórico de alarmas Estación Booster I

- Finalmente para que la pantallas HMI SCADA puedan obtener lo datos correspondientes al sistema de alarmeros inteligentes de la estación Booster I es necesario configurar la comunicación, que para este caso se la realiza por medio del protocolo Modbus Ethernet a través la dirección IP del PLC que es la 172.20.10.137.

4.4 Software para la Estación Booster II

El software desarrollado para la estación Booster II es idéntico al desarrollado para la estación Booster I debido a la similitud entre ellas, ya que estas estaciones de bombeo son consideradas gemelas, es decir de similares características tanto en equipos, como en el número de señales a monitorear.

4.4.1 Programación de un PLC Twido DRF40 para la estación Booster II

Como se explicó anteriormente la lógica de programación para Sistema de Alarmeros Inteligentes se ilustra en la figura 4.4 y es en base a está lógica que se configuró el PLC destinado a esta Estación, el programa detallado se lo puede encontrar en el anexo 1.1, es importante mencionar que la dirección IP, que llevará este dispositivo de ahora en adelante

es la 172.20.10.128, esto servirá para en un futuro poder identificar cada PLC dentro de la red del Sistema Papallacta Integrado.

A continuación se realizará la distribución de las direcciones de entrada, direcciones de memoria, estados lógicos y colores que se asignarán a las señales de alarma de acuerdo a su importancia y también se puntualizará las señales de control del sistema de alarmeros para esta estación, como se muestra en las tablas 4.8 y 4.9.

Tabla 4.8. Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes Estación Booster II

Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes de la Estación Booster II				
No	Nombre	Cod. en Plano	Dir. en PLC	Estado Lógico
Panel 3				
	Reconocimiento de Alarma por Pulsador	Rec_1	%I0.0	H
	Reconocimiento de Alarma por Software		%M254	
	Reset Bocina por Pulsador	Rst_1	%I0.2	H
	Reset Bocina por Software		%M252	
	Bocina	Bocina	%Q0.5	

4.4.2 Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador de la Estación Booster II

Como se explicó anteriormente el software utilizado para desarrollar las pantallas de Operador de esta estación es similar al realizado para la estación Booster I, pero la dirección IP asignada a la pantalla táctil de esta estación es la 172.20.10.127, el resto de parámetros como distribución de pantallas, botones y demás se lo puede observar en el subcapítulo 4.1.4 correspondiente a la estación Booster I.

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II

Señales de Alarma Estación Booster II						
Panel 4	Nombre	Color	No. en Plano	Dir. PLC	Tipo Alarma	Polaridad
				%M		
1	Rectificador 24VDC Falla en RED	Intermitente	25	48	Pre-Alarma	L
		Amarillo		49	Alarma	
2	Rectificador 24VDC Falta CA	Intermitente	26	50	Pre-Alarma	L
		Amarillo		51	Alarma	
3	Rectificador 24VDC Falta CC	Intermitente	27	52	Pre-Alarma	L
		Amarillo		53	Alarma	
4	Rectificador 110 VDC FALLO EN RED	Intermitente	28	54	Pre-Alarma	L
		Amarillo		55	Alarma	
5	Rectificador 110 VDC Falta CA	Intermitente	29	56	Pre-Alarma	L
		Amarillo		57	Alarma	
6	Rectificador 110 VDC Falta CC	Intermitente	30	58	Pre-Alarma	L
		Amarillo		59	Alarma	
7	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	32	62	Pre-Alarma	L
		Rojo		63	Alarma	
8	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	33	64	Pre-Alarma	L
		Rojo		65	Alarma	
9	6.6Kv Entrada sobre corriente	Intermitente	1	0	Pre-Alarma	H
		Rojo		1	Alarma	
10	6.6Kv Entrada protección de tierra	Intermitente	2	2	Pre-Alarma	H
		Rojo		3	Alarma	
11	6.6Kv Entrada falta tensión	Intermitente	3	4	Pre-Alarma	H
		Rojo		5	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

12	6.6Kv Entrada protección diferencial	Intermitente	4	6	Pre-Alarma	H
		Rojo		7	Alarma	
13	500KVA Auxiliar sobre corriente	Intermitente	5	8	Pre-Alarma	H
		Rojo		9	Alarma	
14	500KVA Auxiliar protección de tierra	Intermitente	6	10	Pre-Alarma	H
		Rojo		11	Alarma	
15	460 V No presentes	Intermitente	8	14	Pre-Alarma	H
		Rojo		15	Alarma	
16	132 KV Transformador acometida averiada	Intermitente	9	16	Pre-Alarma	H
		Amarillo		17	Alarma	
17	132 KV Transformador red trifásica desconectada	Intermitente	10	18	Pre-Alarma	H
		Amarillo		19	Alarma	
18	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 1	Intermitente	11	20	Pre-Alarma	H
		Amarillo		21	Alarma	
19	132 KV Transformador ventiladores GRUPO 2	Intermitente	12	22	Pre-Alarma	H
		Amarillo		23	Alarma	
20	132 KV Corriente trifásica motor accionamiento	Intermitente	13	24	Pre-Alarma	L
		Amarillo		25	Alarma	
21	132 KV Transformador protección desenganche	Intermitente	14	26	Pre-Alarma	L
		Rojo		27	Alarma	
22	132 KV Transformador protección	Intermitente	15	28	Pre-Alarma	L
		Amarillo		29	Alarma	
23	132 KV Transformador termómetro	Intermitente	16	30	Pre-Alarma	L
		Amarillo		31	Alarma	
24	132 KV Transformador interruptor nivel min. aceite	Intermitente	17	32	Pre-Alarma	L

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

		Amarillo		33	Alarma	
25	132 KV Transformador principal nivel min. aceite	Intermitente	18	34	Pre-Alarma	L
		Amarillo		35	Alarma	
26	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	19	36	Pre-Alarma	L
		Amarillo		37	Alarma	
27	500 KVA Auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	20	38	Pre-Alarma	L
		Rojo		39	Alarma	
28	500 KVA Auxiliar transformador "TUMETIC"	Intermitente	21	40	Pre-Alarma	L
		Rojo		41	Alarma	
29	Fallo electrónico	Intermitente	22	42	Pre-Alarma	L
		Rojo		43	Alarma	
30	Paro estación iniciado	Intermitente	23	44	Pre-Alarma	L
		Rojo		45	Alarma	
31	Paro total estación	Intermitente	24	46	Pre-Alarma	L
		Rojo		47	Alarma	
Panel 5						
34	Paro Emergencia estación	Intermitente	34	66	Pre-Alarma	L
		Rojo		67	Alarma	
35	Paro emergencia una bomba	Intermitente	35	68	Pre-Alarma	L
		Amarillo		69	Alarma	
36	Secuencia de arranque interrumpida	Intermitente	36	70	Pre-Alarma	L
		Amarillo		71	Alarma	
37	Fallo CPU1	Intermitente	37	72	Pre-Alarma	L
		Amarillo		73	Alarma	
38	Fallo CPU2	Intermitente	38	74	Pre-Alarma	L

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

		Amarillo		75	Alarma	
39	Fallo comunicación centro SCADA	Intermitente	39	76	Pre-Alarma	L
		Amarillo		77	Alarma	
40	Falla válvula K301A	Intermitente	40	78	Pre-Alarma	L
		Amarillo		79	Alarma	
41	Falla válvula K301B	Intermitente	41	80	Pre-Alarma	L
		Amarillo		81	Alarma	
42	Falla válvula K301C	Intermitente	42	82	Pre-Alarma	L
		Amarillo		83	Alarma	
43	Falla válvula K301D	Intermitente	43	84	Pre-Alarma	L
		Amarillo		85	Alarma	
44	Falla válvula K301E	Intermitente	44	86	Pre-Alarma	L
		Amarillo		87	Alarma	
45	Nivel alto de chimenea 100%	Intermitente	45	88	Pre-Alarma	L
		Amarillo		89	Alarma	
46	Nivel bajo de chimenea 16%	Intermitente	46	90	Pre-Alarma	L
		Amarillo		91	Alarma	
47	Nivel muy bajo de chimenea 8%	Intermitente	47	92	Pre-Alarma	L
		Rojo		93	Alarma	
48	Paro de emergencia Booster 1	Intermitente	53	104	Pre-Alarma	L
		Amarillo		105	Alarma	
49	Paro bomba emergencia Booster 1	Intermitente	54	106	Pre-Alarma	L
		Amarillo		107	Alarma	
50	Nivel de túnel alto	Intermitente	51	100	Pre-Alarma	L
		Amarillo		101	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

51	Paro Turbina	Intermitente	52	102	Pre-Alarma	L
		Amarillo		103	Alarma	
Bomba 1						
55	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	56	110	Pre-Alarma	L
		Rojo		111	Alarma	
56	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	55	108	Pre-Alarma	L
		Rojo		109	Alarma	
57	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	57	112	Pre-Alarma	L
		Amarillo		113	Alarma	
58	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	58	114	Pre-Alarma	L
		Amarillo		115	Alarma	
59	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	59	116	Pre-Alarma	L
		Rojo		117	Alarma	
60	Bomba eléctrica avería	Intermitente	60	118	Pre-Alarma	L
		Rojo		119	Alarma	
61	Dirección de rotación	Intermitente	61	120	Pre-Alarma	L
		Amarillo		121	Alarma	
62	Vibraciones	Intermitente	62	122	Pre-Alarma	L
		Amarillo		123	Alarma	
63	Vibración iniciado	Intermitente	63	124	Pre-Alarma	L
		Rojo		125	Alarma	
64	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	64	126	Pre-Alarma	L
		Amarillo		127	Alarma	
65	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	65	128	Pre-Alarma	L
		Rojo		129	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

66	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	66	130	Pre-Alarma	L
		Rojo		131	Alarma	
67	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	67	132	Pre-Alarma	L
		Rojo		133	Alarma	
68	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	68	134	Pre-Alarma	L
		Rojo		135	Alarma	
Bomba 2						
69	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	70	138	Pre-Alarma	L
		Rojo		139	Alarma	
70	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	69	136	Pre-Alarma	L
		Rojo		137	Alarma	
71	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	71	140	Pre-Alarma	L
		Amarillo		141	Alarma	
72	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	72	142	Pre-Alarma	L
		Amarillo		143	Alarma	
73	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	73	144	Pre-Alarma	L
		Rojo		145	Alarma	
74	Bomba eléctrica avería	Intermitente	74	146	Pre-Alarma	L
		Rojo		147	Alarma	
75	Dirección de rotación	Intermitente	75	148	Pre-Alarma	L
		Amarillo		149	Alarma	
76	Vibraciones	Intermitente	76	150	Pre-Alarma	L
		Amarillo		151	Alarma	
77	Vibración iniciado	Intermitente	77	152	Pre-Alarma	L
		Rojo		153	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

78	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	78	154	Pre-Alarma	L
		Amarillo		155	Alarma	
79	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	79	156	Pre-Alarma	L
		Rojo		157	Alarma	
80	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	80	158	Pre-Alarma	L
		Rojo		159	Alarma	
81	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	81	160	Pre-Alarma	L
		Rojo		161	Alarma	
82	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	82	162	Pre-Alarma	L
		Rojo		163	Alarma	
Bomba 3						
83	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	84	166	Pre-Alarma	L
		Rojo		167	Alarma	
84	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	83	164	Pre-Alarma	L
		Rojo		165	Alarma	
85	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	85	168	Pre-Alarma	L
		Amarillo		169	Alarma	
86	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	86	170	Pre-Alarma	L
		Amarillo		171	Alarma	
87	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	87	172	Pre-Alarma	L
		Rojo		173	Alarma	
88	Bomba eléctrica avería	Intermitente	88	174	Pre-Alarma	L
		Rojo		175	Alarma	
89	Dirección de rotación	Intermitente	89	176	Pre-Alarma	L
		Amarillo		177	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

90	Vibraciones	Intermitente	90	178	Pre-Alarma	L
		Amarillo		179	Alarma	
91	Vibración iniciado	Intermitente	91	180	Pre-Alarma	L
		Rojo		181	Alarma	
92	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	92	182	Pre-Alarma	L
		Amarillo		183	Alarma	
93	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	93	184	Pre-Alarma	L
		Rojo		185	Alarma	
94	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	94	186	Pre-Alarma	L
		Rojo		187	Alarma	
95	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	95	188	Pre-Alarma	L
		Rojo		189	Alarma	
96	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	96	190	Pre-Alarma	L
		Rojo		191	Alarma	
Bomba 4						
97	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	98	194	Pre-Alarma	L
		Rojo		195	Alarma	
98	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	97	192	Pre-Alarma	L
		Rojo		193	Alarma	
99	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	99	196	Pre-Alarma	L
		Amarillo		197	Alarma	
100	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	100	198	Pre-Alarma	L
		Amarillo		199	Alarma	
101	Ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	101	200	Pre-Alarma	L
		Rojo		201	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

102	Bomba eléctrica avería	Intermitente	102	202	Pre-Alarma	L
		Rojo		203	Alarma	
103	Dirección de rotación	Intermitente	103	204	Pre-Alarma	L
		Amarillo		205	Alarma	
104	Vibraciones	Intermitente	104	206	Pre-Alarma	L
		Amarillo		207	Alarma	
105	Vibración iniciado	Intermitente	105	208	Pre-Alarma	L
		Rojo		209	Alarma	
106	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	106	210	Pre-Alarma	L
		Amarillo		211	Alarma	
107	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	107	212	Pre-Alarma	L
		Rojo		213	Alarma	
108	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	108	214	Pre-Alarma	L
		Rojo		215	Alarma	
109	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	109	216	Pre-Alarma	L
		Rojo		217	Alarma	
110	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	110	218	Pre-Alarma	L
		Rojo		219	Alarma	
Bomba 5						
111	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	112	222	Pre-Alarma	L
		Rojo		223	Alarma	
112	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	111	220	Pre-Alarma	L
		Rojo		221	Alarma	
113	Bomba de aceite 1 avería	Intermitente	113	224	Pre-Alarma	L
		Amarillo		225	Alarma	

Tabla 4.9 Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II (continuación)

114	Bomba de aceite 2 avería	Intermitente	114	226	Pre-Alarma	L
		Amarillo		227	Alarma	
115	ventilador de bomba de aceite 1+ 2 avería	Intermitente	115	228	Pre-Alarma	L
		Rojo		229	Alarma	
116	Bomba eléctrica avería	Intermitente	116	230	Pre-Alarma	L
		Rojo		231	Alarma	
117	Dirección de rotación	Intermitente	117	232	Pre-Alarma	L
		Amarillo		233	Alarma	
118	Vibraciones	Intermitente	118	234	Pre-Alarma	L
		Amarillo		235	Alarma	
119	Vibración iniciado	Intermitente	119	236	Pre-Alarma	L
		Rojo		237	Alarma	
120	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	120	238	Pre-Alarma	L
		Amarillo		239	Alarma	
121	Sumatorio de temperaturas	Intermitente	121	240	Pre-Alarma	L
		Rojo		241	Alarma	
122	Flujo mínimo de aceite Cojinete LA	Intermitente	122	242	Pre-Alarma	L
		Rojo		243	Alarma	
123	Flujo mínimo de aceite Cojinete LNA	Intermitente	123	244	Pre-Alarma	L
		Rojo		245	Alarma	
124	Nivel de Aceite Mínimo	Intermitente	124	246	Pre-Alarma	L
		Rojo		247	Alarma	

4.4.3 Programación y Diseño de pantallas HMI para el Sistema SCADA correspondiente a la Estación Booster II

De igual forma que el apartado anterior, el diseño de las pantallas HMI SCADA correspondientes al sistema de Alarmeros inteligentes para la estación Booster II, son similares a las desarrolladas para la estación Booster I, es por esta razón que se pasará a detallar únicamente los parámetros en los que estas difieren. Para que las pantallas HMI SCADA, puedan obtener los datos correspondientes al sistema de alarmeros inteligentes, de la estación Booster II, es necesario configurar la comunicación, que se realiza a través del protocolo Modbus Ethernet, estableciendo el tópic y la dirección IP que para este caso es la 172.20.10.128.

4.5. Software para la Estación Recuperadora

4.5.1 Programación de un PLC Twido DRF40 para la estación Recuperadora.

El software destinado para el controlador programable Twido correspondiente a la estación Recuperadora, está basado en la lógica de programación que se muestra en la figura 4.4, el programa completo se lo puede observar en el anexo 1.1, la dirección designada para este PLC es la 172.20.10.33. Luego de configurar la dirección IP es importante realizar una distribución clara de las direcciones de entradas, direcciones de memoria, estados lógicos y colores que se asignarán a las señales de alarma de acuerdo a su importancia y también, se puntualizará las señales de control del sistema de alarmeros para esta estación, esta distribución se la puede observar en las tablas 4.10 y 4.11.

Tabla 4.10 Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes Estación Recuperadora.

Señales de control del Sistema de Alarmeros Inteligentes de la Estación Recuperadora				
No	Nombre	Cod. en Plano	Dir. en PLC	Estado Lógico
Panel 3				
	Reconocimiento de Alarma por Pulsador	Rec_1	%I0.0	H
	Reconocimiento de Alarma por Software		%M254	
	Reset Bocina por Pulsador	Rst_1	%I0.2	H
	Reset Bocina por Software		%M252	
	Bocina	Bocina	%Q0.5	

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora

Señales de Alarma Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía						
No	NOMBRE	COLOR	No. en Plano	Dir. PLC	Tipo de Alarma	Polaridad
PANEL 1				%M		
1	Rectificador 24VDC fallo en red	Intermitente	25	48	Pre-Alarma	H
		Amarillo		49	Alarma	
2	Rectificador 24VDC falla circuito C.A	Intermitente	26	50	Pre-Alarma	H
		Amarillo		51	Alarma	
3	Rectificador 24VDC falla circuito C.C	Intermitente	27	52	Pre-Alarma	H
		Amarillo		53	Alarma	
4	Rectificador 110VDC fallo en red	Intermitente	28	54	Pre-Alarma	H
		Amarillo		55	Alarma	
5	Rectificador 110VDC falla circuito C.A	Intermitente	29	56	Pre-Alarma	H
		Amarillo		57	Alarma	
6	Rectificador 110VDC falla circuito C.C	Intermitente	30	58	Pre-Alarma	H
		Amarillo		59	Alarma	
7	Tensión 24 VDC Avería	Intermitente	24	46	Pre-Alarma	H
		Rojo		47	Alarma	
8	Tensión 110 VDC Avería	Intermitente	23	44	Pre-Alarma	H
		Rojo		45	Alarma	
9	6.6 KV entrada sobre corriente	Intermitente	1	0	Pre-Alarma	L
		Rojo		1	Alarma	
10	6.6 KV entrada protección de tierra	Intermitente	3	4	Pre-Alarma	L
		Rojo		5	Alarma	
11	6.6 KV entrada falta tensión	Intermitente	6	10	Pre-Alarma	L

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

		Rojo		11	Alarma	
12	6.6 KV entrada protección diferencial	Intermitente	5	8	Pre-Alarma	L
		Rojo		9	Alarma	
13	500 KVA Auxiliar sobre corriente	Intermitente	2	2	Pre-Alarma	L
		Rojo		3	Alarma	
14	500 KVA Auxiliar protección de tierra	Intermitente	4	6	Pre-Alarma	L
		Rojo		7	Alarma	
15	460 no presentes	Intermitente	7	12	Pre-Alarma	L
		Rojo		13	Alarma	
16	132 KV transformador acometida averiada	Intermitente	8	14	Pre-Alarma	L
		Amarillo		15	Alarma	
17	132 KV transformador red trifásica desconectada	Intermitente	9	16	Pre-Alarma	L
		Amarillo		17	Alarma	
18	132 KV transformador ventiladores grupo 1	Intermitente	10	18	Pre-Alarma	L
		Amarillo		19	Alarma	
19	132 KV transformador ventiladores grupo 2	Intermitente	11	20	Pre-Alarma	L
		Amarillo		21	Alarma	
20	132 KV transformador corriente trifásica de motor accionamiento	Intermitente	12	22	Pre-Alarma	L
		Amarillo		23	Alarma	
21	132 KV transformador protección desenganche	Intermitente	13	24	Pre-Alarma	L
		Amarillo		25	Alarma	
22	132 KV transformador protección	Intermitente	14	26	Pre-Alarma	L
		Amarillo		27	Alarma	
23	132 KV transformador termómetro	Intermitente	15	28	Pre-Alarma	L
		Amarillo		29	Alarma	

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

24	132 KV transformador protección buchholz	Intermitente	16	30	Pre-Alarma	L
		Rojo		31	Alarma	
25	132 KV transformador relé de protección	Intermitente	17	32	Pre-Alarma	L
		Amarillo		33	Alarma	
26	132 KV transformador nivel de aceite máximo	Intermitente	18	34	Pre-Alarma	L
		Amarillo		35	Alarma	
27	132 KV transformador nivel de aceite mínimo	Intermitente	19	36	Pre-Alarma	L
		Amarillo		37	Alarma	
28	500 KVA auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	20	38	Pre-Alarma	L
		Amarillo		39	Alarma	
29	500 KVA auxiliar transformador temperatura presión	Intermitente	21	40	Pre-Alarma	L
		Rojo		41	Alarma	
30	500 KVA auxiliar transformador "Tumetic"	Intermitente	22	42	Pre-Alarma	L
		Rojo		43	Alarma	
Panel 3						
31	Corriente invertida	Intermitente	31	60	Pre-Alarma	L
		Rojo		61	Alarma	
32	Sobre corriente	Intermitente	32	62	Pre-Alarma	L
		Rojo		63	Alarma	
33	Sobrevoltaje	Intermitente	33	64	Pre-Alarma	L
		Rojo		65	Alarma	
34	Cortocircuito	Intermitente	34	66	Pre-Alarma	L
		Rojo		67	Alarma	
35	Protección diferencial	Intermitente	35	68	Pre-Alarma	L
		Rojo		69	Alarma	

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

36	Baja frecuencia	Intermitente	36	70	Pre-Alarma	L
		Rojo		71	Alarma	
37	Puesta a tierra estator	Intermitente	37	72	Pre-Alarma	L
		Rojo		73	Alarma	
38	Parada de emergencia	Intermitente	38	74	Pre-Alarma	L
		Rojo		75	Alarma	
39	Fallo electrónico	Intermitente	39	76	Pre-Alarma	L
		Rojo		77	Alarma	
40	Filtro de aceite alternador sucio	Intermitente	48	94	Pre-Alarma	L
		Amarillo		95	Alarma	
41	Flujo de aceite cojinete LA mínimo	Intermitente	72	142	Pre-Alarma	L
		Rojo		143	Alarma	
42	Flujo de aceite cojinete LNA mínimo	Intermitente	42	82	Pre-Alarma	L
		Rojo		83	Alarma	
43	Nivel de aceite muy bajo	Intermitente	51	100	Pre-Alarma	L
		Amarillo		101	Alarma	
44	Vibraciones en cojinetes alternador	Intermitente	44	86	Pre-Alarma	L
		Amarillo		87	Alarma	
45	Vibraciones en cojinetes alternador	Intermitente	45	88	Pre-Alarma	L
		Amarillo		89	Alarma	
46	Bomba 1000 M1 turbina avería	Intermitente	46	90	Pre-Alarma	L
		Amarillo		91	Alarma	
47	Bomba 1010 M1 turbina avería	Intermitente	47	92	Pre-Alarma	L
		Amarillo		93	Alarma	
48	Bomba CC turbina avería	Intermitente	40	78	Pre-Alarma	L

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

		Amarillo		79	Alarma	
49	Bomba 1 aceite generador fallo	Intermitente	49	96	Pre-Alarma	L
		Amarillo		97	Alarma	
50	Bomba 1 aceite generador fallo	Intermitente	50	98	Pre-Alarma	L
		Amarillo		99	Alarma	
51	Cierre emergencia avería	Intermitente	66	130	Pre-Alarma	L
		Amarillo		131	Alarma	
52	Regulación temperatura desconexión fusible	Intermitente	52	102	Pre-Alarma	L
		Rojo		103	Alarma	
53	Sumatorio temperatura	Intermitente	53	104	Pre-Alarma	L
		Amarillo		105	Alarma	
54	Sumatorio temperatura	Intermitente	54	106	Pre-Alarma	L
		Rojo		107	Alarma	
55	Presión regulación muy baja	Intermitente	55	108	Pre-Alarma	L
		Rojo		109	Alarma	
56	Presión de aceite baja	Intermitente	56	110	Pre-Alarma	L
		Amarillo		111	Alarma	
57	Nivel de aceite muy bajo	Intermitente	57	112	Pre-Alarma	L
		Rojo		113	Alarma	
58	Nivel de aceite bajo	Intermitente	58	114	Pre-Alarma	L
		Amarillo		115	Alarma	
59	Nivel de aceite alto	Intermitente	59	116	Pre-Alarma	L
		Rojo		117	Alarma	
60	Filtro regulación de aceite sucio	Intermitente	60	118	Pre-Alarma	L
		Amarillo		119	Alarma	

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

61	Temperatura aceite alto	Intermitente	61	120	Pre-Alarma	L
		Amarillo		121	Alarma	
62	Temperatura aceite muy alto	Intermitente	62	122	Pre-Alarma	L
		Rojo		123	Alarma	
63	Filtro 2047 sucio	Intermitente	63	124	Pre-Alarma	L
		Amarillo		125	Alarma	
64	Filtro 2060 sucio	Intermitente	64	126	Pre-Alarma	L
		Amarillo		127	Alarma	
65	Filtro 2072 sucio	Intermitente	65	128	Pre-Alarma	L
		Amarillo		129	Alarma	
66	Temperatura aceite generador muy alta	Intermitente	41	80	Pre-Alarma	L
		Amarillo		81	Alarma	
67	Fallo control válvula de aguja	Intermitente	67	132	Pre-Alarma	L
		Rojo		133	Alarma	
68	Fallo de señal FC-400	Intermitente	68	134	Pre-Alarma	L
		Amarillo		135	Alarma	
69	Cierre rápido por ETR	Intermitente	69	136	Pre-Alarma	L
		Amarillo		137	Alarma	
70	Señal de velocidad pérdida	Intermitente	70	138	Pre-Alarma	L
		Rojo		139	Alarma	
71	Fallo voltaje regulador turbina	Intermitente	71	140	Pre-Alarma	L
		Rojo		141	Alarma	
72	Velocidad excesiva turbina	Intermitente	43	84	Pre-Alarma	L
		Rojo		85	Alarma	
73	Temperatura termómetro contactos	Intermitente	73	144	Pre-Alarma	L

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

		Amarillo		145	Alarma	
74	Temperatura termómetro contactos	Intermitente	74	146	Pre-Alarma	L
		Rojo		147	Alarma	
75	Falta tensión auxiliar panel 6.6 KV	Intermitente	75	148	Pre-Alarma	L
		Rojo		149	Alarma	
76	Falla de excitación	Intermitente	76	150	Pre-Alarma	L
		Amarillo		151	Alarma	
77	Temperatura aceite generador muy baja	Intermitente	77	152	Pre-Alarma	L
		Amarillo		153	Alarma	
78	MCC relé térmico ventilador disparo	Intermitente	78	154	Pre-Alarma	L
		Amarillo		155	Alarma	
Panel 4						
79	Paro emergencia booster 2	Intermitente	79	156	Pre-Alarma	L
		Amarillo		157	Alarma	
80	Paro bomba booster 2	Intermitente	80	158	Pre-Alarma	L
		Amarillo		159	Alarma	
81	Arranque bomba booster	Intermitente	81	160	Pre-Alarma	L
		Amarillo		161	Alarma	
82	Fallo energía CPU túnel	Intermitente	82	162	Pre-Alarma	L
		Amarillo		163	Alarma	
83	Fallo enlace CPU túnel	Intermitente	83	164	Pre-Alarma	L
		Amarillo		165	Alarma	
84	Nivel de túnel alto	Intermitente	84	166	Pre-Alarma	L
		Amarillo		167	Alarma	
85	Nivel de túnel bajo	Intermitente	85	168	Pre-Alarma	L

Tabla 4.11 Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora (continuación)

		Amarillo		169	Alarma	
86	Nivel de túnel muy bajo	Intermitente	86	170	Pre-Alarma	L
		Rojo		171	Alarma	
87	Fallo energía CPU FIC-500	Intermitente	87	172	Pre-Alarma	L
		Amarillo		173	Alarma	
88	Fallo enlace CPU-500	Intermitente	88	174	Pre-Alarma	L
		Amarillo		175	Alarma	
89	Daño acueducto	Intermitente	89	176	Pre-Alarma	L
		Rojo		177	Alarma	
90	Válvula K503 cerrada	Intermitente	90	178	Pre-Alarma	L
		Amarillo		179	Alarma	
91	Nivel alto de pileta	Intermitente	91	180	Pre-Alarma	L
		Amarillo		181	Alarma	
92	Nivel bajo de pileta	Intermitente	92	182	Pre-Alarma	L
		Amarillo		183	Alarma	
93	Nivel muy bajo de pileta	Intermitente	93	184	Pre-Alarma	L
		Amarillo		185	Alarma	
94	Fallo CPU1	Intermitente	94	186	Pre-Alarma	L
		Amarillo		187	Alarma	
95	Fallo CPU2	Intermitente	95	188	Pre-Alarma	L
		Amarillo		189	Alarma	
96	Fallo comunicación centro SCADA	Intermitente	96	190	Pre-Alarma	L
		Amarillo		191	Alarma	

4.5.2 Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador de la Estación Recuperadora

Al diseñar las pantallas HMI para la Estación Recuperadora, se tomarán en cuenta los mismos parámetros que se configuraron para las estaciones anteriores, con la salvedad de que la dirección IP asignada a esta pantalla táctil es la 172.20.10.29.

El siguiente paso es proceder a la configuración y diseño de las pantallas HMI, de acuerdo al número de señales de alarma de esta estación, se distribuyeron las pantallas de la siguiente manera:

1. Una pantalla principal de Menú donde están los accesos a las distintas secciones de alarma, como se muestra en la figura 4.55, a esta pantalla se accede mediante una barra de menú situada en la parte inferior de la pantalla por medio del botón Alarmas, en esta interfaz se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las alarmas del panel 1, panel 2, panel 3 y panel 4, así como también los accesos a las alarmas activas y resumen de alarmas.

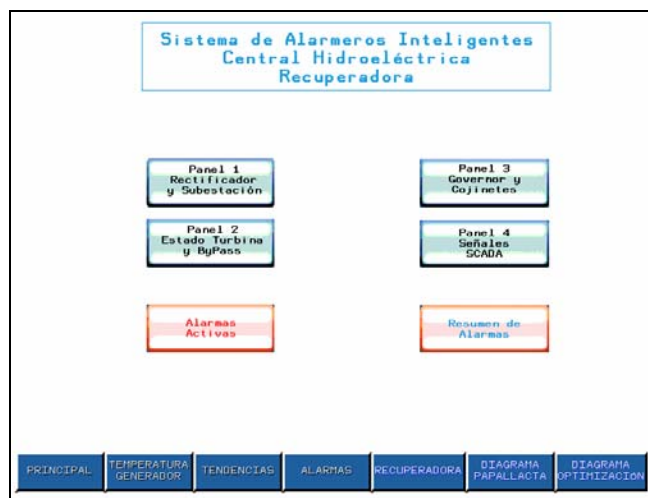


Figura 4.55 Pantalla de menú para el panel de operador Estación Recuperadora.

2. La segunda y tercera pantalla están destinadas a mostrar, las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número uno, en donde se muestran las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC, además de las alarmas de la subestación, como se puede ver en las figuras 4.56 y 4.57.

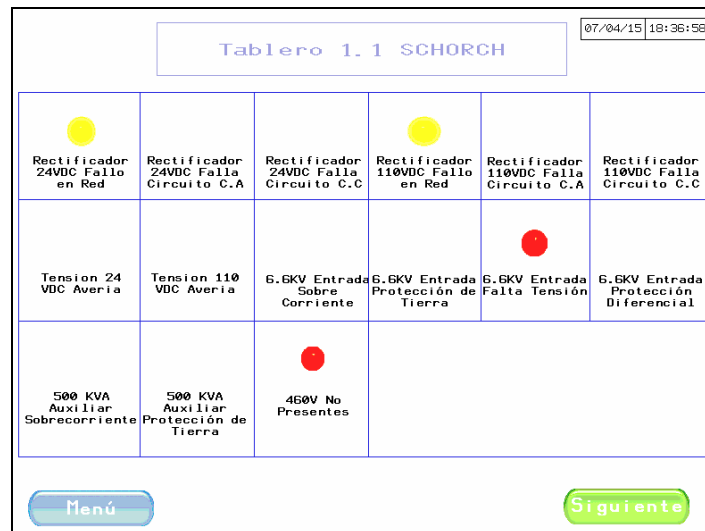


Figura 4.56 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 1.1 Estación Recuperadora

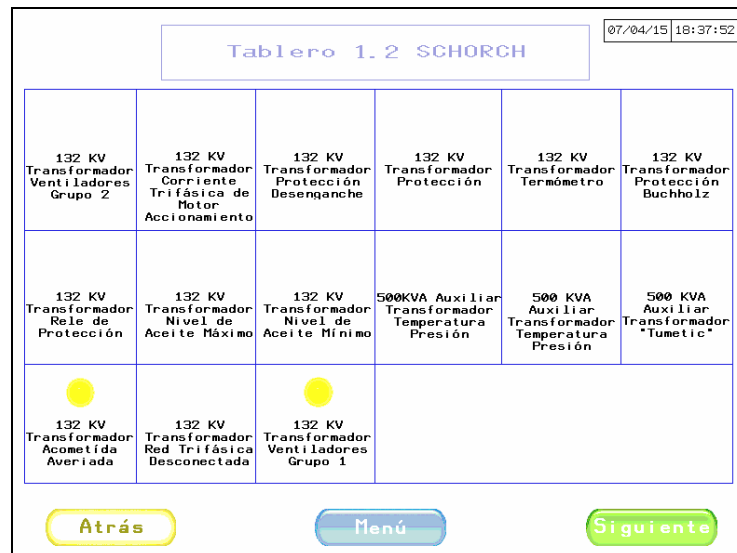


Figura 4.57 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 1.2 Estación Recuperadora


- La tercera pantalla esta destinada a mostrar, las alarmas correspondientes al estado del la turbina y el bypass, esta interfaz se explicará mas adelante, en parte concerniente al PLC de Turbina, la cuarta y quinta pantallas muestran el estado de las alarmas del panel SCHORCH número cinco, en donde se observan las señales pertinentes al sistema hidráulico llamado Governor y Cojinetes, además de las protecciones eléctricas y fallas, como se puede ver en las figuras 4.58 y 4.59.

Tablero 3.1 SCHORCH					
Corriente Invertida	Sobre Corriente	Sobre Voltaje	Corto Circuito	Protección Diferencial	Baja Frecuencia
Puesta a Tierra Estator	Parada de Emergencia	Fallo Electrónico	Filtro de aceite alternador sucio	Flujo de aceite cojinete LA mínimo	Flujo de aceite cojinete LNA mínimo
Nivel de aceite muy bajo	Vibraciones en cojinetes alternador	Vibraciones en cojinetes Alternador	Bomba 1000 HI turbina avería	Bomba 1010 HI turbina avería	Bomba CC turbina avería
Bomba 1 aceite generador fallo	Bomba 1 aceite generador fallo	Cierre de Emergencia avería	Regulación Temperatura desconexión fusible	Sumatorio de Temperatura	Sumatorio de Temperatura

07/04/15 18:39:18

Atrás
Menú
Siguiente

Figura 4.58 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 3.1 Estación Recuperadora

Tablero 3.2 SCHORCH						
	Presión de regulación muy baja	Presión de aceite baja	Nivel de aceite muy bajo	Nivel de Aceite bajo	Nivel de Aceite Alto	Filtro regulación de aceite sucio
Temperatura de aceite alta	Temperatura de aceite muy alta	Filtro 2047 sucio	Filtro 2060 sucio	Filtro 2072 sucio	Temperatura aceite generador muy alta	
Fallo control válvula de aguja	Fallo de señal FC-400	Cierre rápido por ETR	Señal de velocidad perdida	Fallo voltaje regulador turbina	Velocidad excesiva turbina	
Temperatura termómetro de contactos	Temperatura termómetro de contactos	Falta tensión auxiliar panel 6.6KV	Falla de excitación	Temperatura aceite generador muy baja	MCC relé térmico ventilador disparo	

07/04/15 18:40:14

Atrás
Menú
Siguiente

Figura 4.59 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 3.2 Estación Recuperadora

- La sexta pantalla es la encargada de mostrar el estado de las alarmas correspondientes al Sistema SCADA, como se ilustra en la figura 4.60.

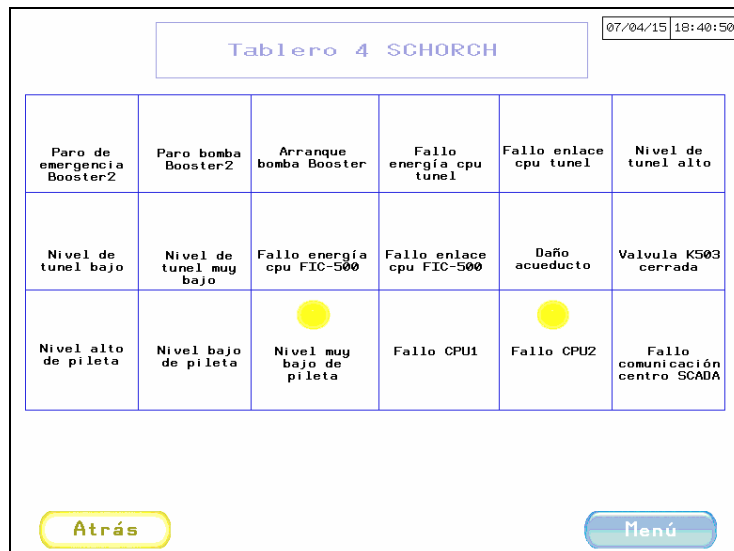


Figura 4.60 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 4 Estación Recuperadora

- La novena pantalla es la correspondiente a las alarmas activas, en esta pantalla se puede observar todas las alarmas accionadas en ese momento, además de los botones de desplazamiento en esta pantalla se pueden ver dos botones, que son los correspondientes al reconocimiento de alarma y reset de bocina, por medio de los cuales se envían señales al PLC de esta estación, para que este registre dichas acciones, esta interfaz se ilustra en la figura 4.61.

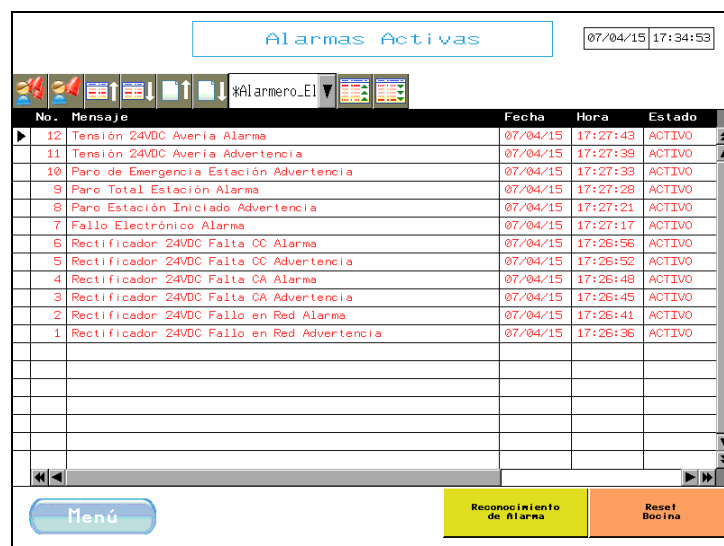


Figura 4.61 Pantalla de alarmas activas Estación Recuperadora

6. Finalmente en la figura 4.62 se muestra la pantalla en la que se registra el estado de todas las alarmas de la estación.

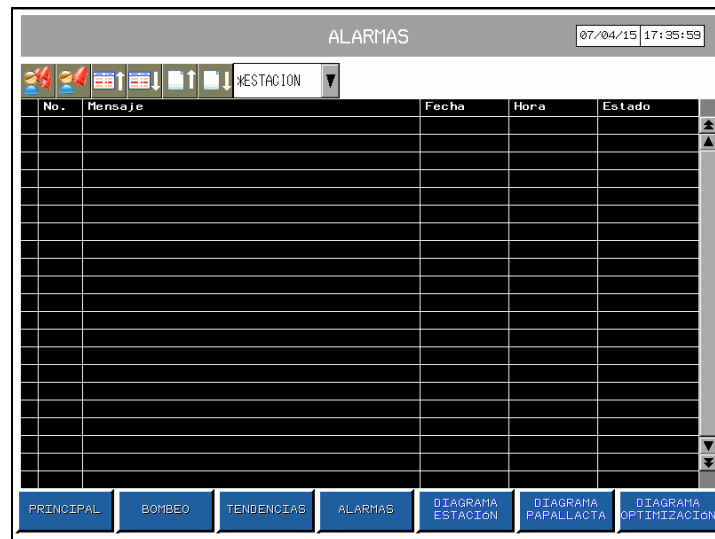


Figura 4.62 Pantalla de alarmas Estación Recuperadora

4.5.3 Programación y Diseño de pantallas HMI para el Sistema SCADA correspondiente a la Estación Recuperadora

En primer lugar, se procederá a la configuración y diseño de las pantallas HMI, de acuerdo al número de señales de alarma de esta estación, la distribución de las pantallas y señales de alarma se la realizó de igual forma que la distribución de las pantallas HMI del panel de operador, para guardar similitud y uniformidad. Las pantallas están distribuidas de la siguiente manera:

1. Una pantalla principal de Menú donde se encuentran los accesos a las distintas pantallas de alarma, como se muestra en la figura 4.63, en esta pantalla se pueden diferenciar claramente los botones de acceso a las secciones de alarma del panel 1, panel 2, panel 3 y panel 4, así como también alarmas activas y resumen de alarmas.



Figura 4.63 Pantalla SCADA de Menú de la Estación Recuperadora

- La segunda y tercera pantalla están destinadas a mostrar, las alarmas correspondientes al panel SCHORCH número uno, en donde se observan las señales pertinentes a las alarmas del Rectificador de 24VDC y 110VDC, además de las alarmas de la subestación como lo muestran las figuras 4.64 y 4.65.

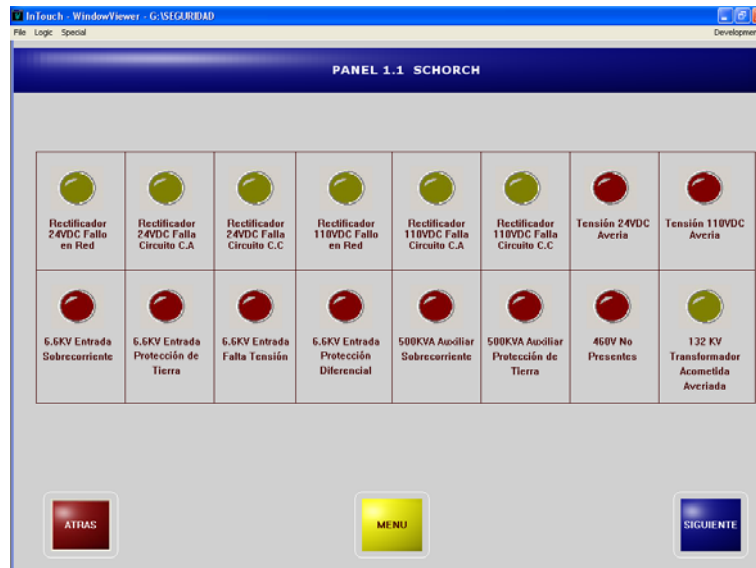


Figura 4.64 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 1.1 de la Estación Recuperadora.



Figura 4.65 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 1.2 de la Estación Recuperadora.

3. La tercera pantalla, esta destinada a mostrar las alarmas correspondientes al estado del la turbina y el bypass, esto se explicará mas adelante en parte concerniente al PLC de Turbina, la cuarta y quinta pantallas permiten mostrar el estado de las alarmas del panel SCHORCH número cinco, en donde se observan las señales pertinentes al sistema hidráulico llamado Governor y Cojinetes además de las señales de las protecciones y fallas, como se muestra en las figuras 4.66 y 4.67.



Figura 4.66 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 3.1 de la Estación Recuperadora.



Figura 4.67 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 3.2 de la Estación Recuperadora.

4. La sexta pantalla se observa en la figura 4.68 esta es la encargada de mostrar el estado de las alarmas correspondientes al Sistema SCADA.

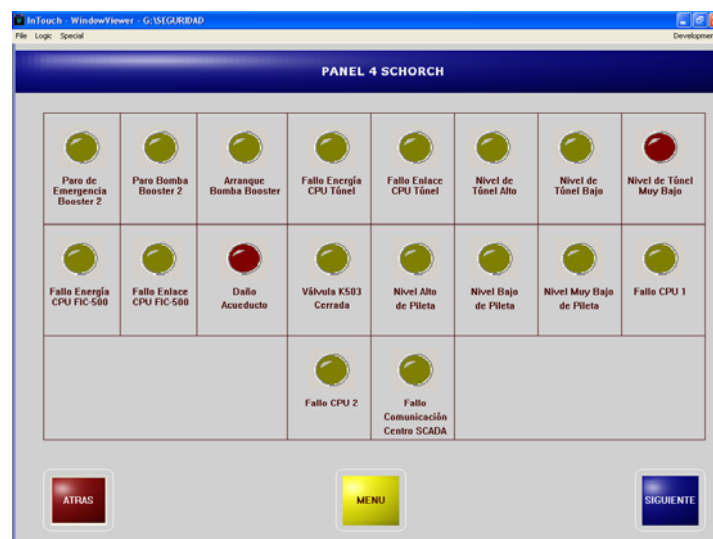


Figura 4.68 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 4 de la Estación Recuperadora.

5. La novena pantalla es la correspondiente a las alarmas activas, en esta pantalla que se muestra en la figura 4.69, se podrá observar todas las alarmas accionadas en ese momento, además de los botones de desplazamiento, en esta interfaz se pueden observar dos botones que son los encargados del reconocimiento de alarma y reset de bocina, por medio de estos se envían las señales correspondientes al PLC de esta estación.

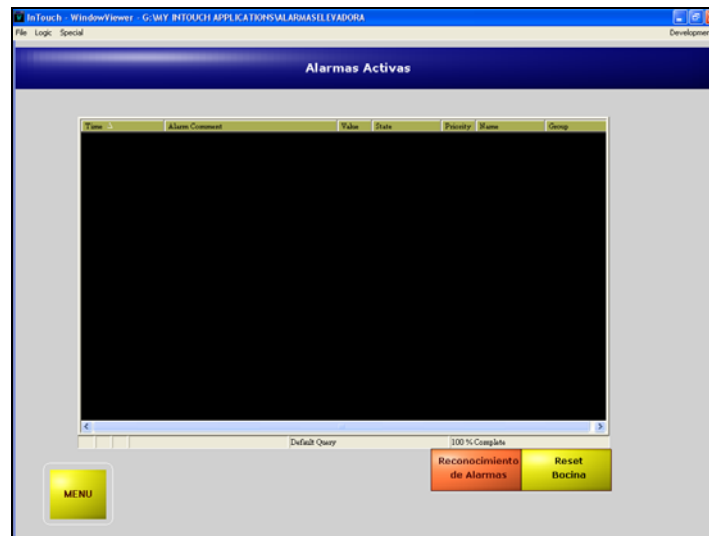


Figura 4.69 Pantalla SCADA de alarmas activas Estación Recuperadora.

6. Finalmente se tiene una pantalla en la que se muestra el estado histórico de todas las alarmas de la estación, como se puede ver en la figura 4.70.



Figura 4.70 Pantalla SCADA de histórico de alarmas Estación Recuperadora.

Para que las pantallas HMI SCADA puedan obtener los datos correspondientes al sistema de alarmas inteligentes de la estación Recuperadora, es necesario configurar finalmente la comunicación, que para este caso se la realizará a través del protocolo Modbus Ethernet con la dirección IP del autómatas que es la 172.20.10.33.

4.6 Software para la Simulación del PLC de Máquina

El software desarrollado para la simulación del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora está distribuido en tres grandes bloques que se enlistan a continuación:

1. Programación de un PLC Premium 2634M
2. Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador.
3. Programación y Diseño de pantallas HMI SCADA.

4.6.1 Programación de un PLC Premium 2634M para la simulación del PLC de Máquina ⁵

Como se explicó inicialmente el software para los controladores programables Premium es Unity Pro, para comenzar un proyecto en el mencionado software el primer parámetro a ser configurado es el modelo de PLC a utilizar, que para este caso es el Premium 2634M, la fuente y los módulos de entradas salidas como se muestra en la figura 4.71 y posteriormente la dirección IP que llevará el dispositivo de ahora en adelante, esto servirá para en un futuro poder identificar cada PLC dentro de la red del Sistema Papallacta Integrado, la dirección de este PLC es la 172.20.10.34 como se muestra a continuación en la figura 4.72.

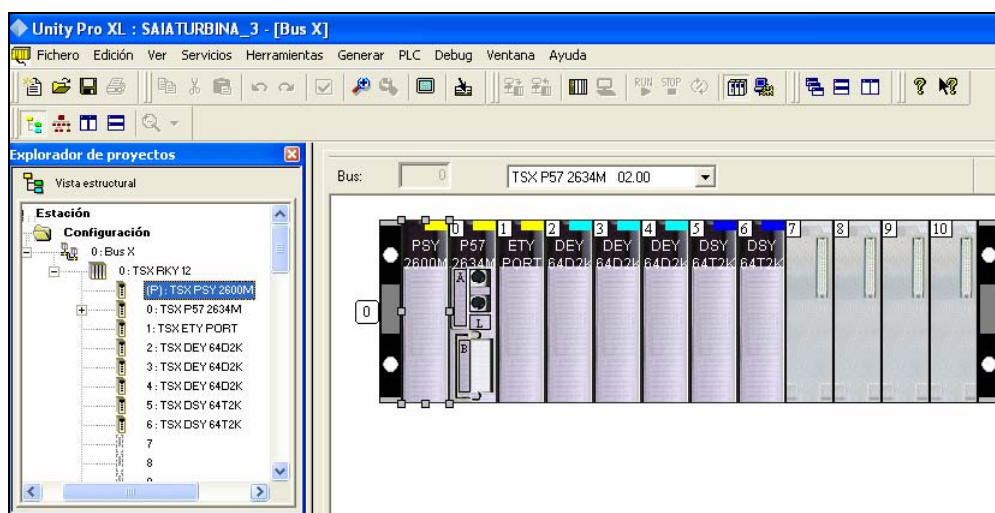


Figura 4.71 Programación de PLC Premium 2634M

⁵ SULZER-ESCHER WYSS GMBH, Manual de Servicio y Mantenimiento para Turbina Pelton D1=1270 Estación Recuperadora Papallacta, 12 Febrero 1990.

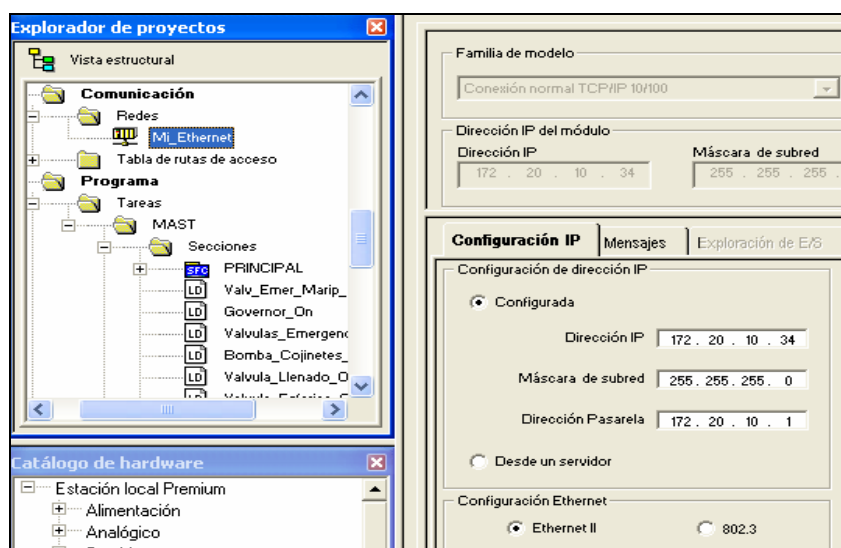


Figura 4.72 Asignación de la dirección IP al PLC Premium.

Ahora es importante realizar una distribución clara de las direcciones de entradas, salidas y direcciones de memoria, para el PLC de Máquina, la cual se puede observar en la tabla 4.12. Una vez direccionadas las entradas y salidas del PLC de Turbina se procedió a programar el autómata de acuerdo a los diagramas de flujo ubicados en el anexo 2, tomando en cuenta los siguientes procesos:

1. Requerimientos de Arranque de Turbina.
2. Proceso de Arranque de Turbina.
3. Proceso de Regulación de caudal de ingreso a la Turbina.
4. Proceso de Parada Normal.
5. Proceso de Parada por Falla Eléctrica.
6. Proceso de Parada por Falla Mecánica.
7. Proceso de Parada por Falla del Governor.
8. Proceso de Control del ByPass.

Por la similitud con los diagramas de flujo y al tratarse de un proceso secuencial se optó por programar el PLC de turbina en lenguaje SFC (Secuencial Function Chart) es decir Grafset para la parte principal del programa que tiene que ver con la comprobación de acciones, secuencias y tiempos, en cambio para la puesta en marcha de los distintos equipos necesarios para operar la turbina como bombas y válvulas se programó en lenguaje Ladder, FBD (Function Block Diagram) se utilizó específicamente para comprobar requerimientos y como condición de paso entre las instancias secuenciales SFC. El programa completo del PLC Premium se muestra en el anexo 1.2.

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina

Entradas Salidas PLC de Maquina			
Central Hidroeléctrica Recuperadora			
PLC Premium 2634M			
Dirección %M	Descripción	Módulo	Comentario
Entradas			
0	S.S Manual	E	
1	S.S Automático	E	
2	S.S Prueba (Test)	E	
3	Reservado	E	
4	W.S Arranque unidad de máquina (Start)	E	P2.POS1
5	W.S Parar unidad de maquina (Stop)	E	P2.POS1
6	S.S Bomba principal de aceite 1000M1	E	
7	S.S Bomba principal de aceite 1010M1	E	
8	P.B Bomba de aceite del Governor 1000M1 encendida (ON)	E	
9	P.B Bomba de aceite del Governor 1000M1 apagada (OFF)	E	
10	P.B Bomba de aceite del Governor 1010M1 encendida (ON)	E	
11	P.B Bomba de aceite del Governor 1010M1 apagada (OFF)	E	
12	S.S Bomba 1 de aceite de Cojinetes	E	
13	S.S Bomba 2 de aceite de Cojinetes	E	
14	P.B Bomba 1 de aceite Cojinetes encendida (ON)	E	
15	P.B Bomba 1 de aceite Cojinetes apagada (OFF)	E	
16	P.B Bomba 2 de aceite Cojinetes encendida (ON)	E	
17	P.B Bomba 2 de aceite Cojinetes apagada (OFF)	E	
18	P.B Calentador del alternador encendido (ON)	E	
19	P.B Calentador del alternador apagado (OFF)	E	
20	P.B Válvula mariposa abierta (OPEN)	E	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

21	P.B Válvula Mariposa cerrada (CLOSED)	E	
22	P.B Disipadora encendida (ON)	E	
23	P.B Disipadora apagada (OFF)	E	
24	P.B Freno encendido (ON)	E	
25	P.B Freno apagado (OFF)	E	
26	P.B Válvula de llenado abierta (OPEN)	E	
27	P.B Válvula de llenado cerrada (CLOSED)	E	
28	P.B Válvula esférica abierta (OPEN)	E	
29	P.B Válvula esférica cerrada (CLOSED)	E	
30	S.S Sincronoscopio (encendido/apagado)(ON/OFF)	E	
31	Reservado	E	
32	W.S Arranque de Turbina (START)	E	P2.POS2
33	W.S Paro de Turbina (STOP)	E	P2.POS2
34	S.S Operación de Turbina	E	P2.POS3
35	S.S Operación de By Pass	E	P2.POS3
36	S.S Regulación externa	E	P2.POS4
37	S.S Limitador de apertura	E	P2.POS4
38	P.B 2 Bombas en operación	E	P2.POS16
39	P.B 3 Bombas en operación	E	P2.POS17
40	P.B 4 Bombas en operación	E	P2.POS18
41	S.S Regulación Manual del Limitador de apertura	E	P2.POS29
42	P.B Bomba de aceite del Governor DC encendida (ON)	E	P3.POS28
43	P.B Bomba de aceite del Governor DC apagada (OFF)	E	P3.POS29
44	Parada de emergencia (STOP)	E	
45	S.S Local	E	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

46	S.S Remoto	E	
47	Disipadora en operación	E	KA02
48	De estación maestra "Arranque de unidad de máquina"	E	SCADA
49	De estación maestra "Parada de unidad de maquina"	E	SCADA
50	De estación maestra "Arranque del by pass"	E	SCADA
51	De estación maestra "Parada del by pass"	E	SCADA
52	Governor de Turbina Lista para Arrancar	E	KA01
53	Control de perturbaciones en las agujas	E	KA03
54	Señal de nivel de agua (FIC 400)	E	KA04
55	ShutDown Rápido de Turbina	E	KA05
56	Governor de Turbina en Posición de Prueba	E	KA06
57	Señal de Velocidad	E	KA07
58	Voltaje Turbina Governor	E	KA08
59	Velocidad al 1%	E	KA09
60	Velocidad al 35%	E	KA10
61	Velocidad al 97%	E	KA11
62	Velocidad al 98%	E	KA12
63	Sobrevelocidad > 135%	E	KA13
64	Limitador de apertura con Bomba2 en operación	E	KA14
65	Limitador de apertura con Bomba3 en operación	E	KA15
66	Limitador de apertura con Bomba4 en operación	E	KA16
67	Todos los minibreakers de 24 VDC encendidos (ON)	E	
68	Todos los minibreakers de 110 VDC encendidos (ON)	E	
69	Límites de Temperatura no excedidos (SHUTDOWN)	E	
70	Limites de Temperatura no excedidos (WARNING)	E	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

71	460 VAC presentes	E	
72	Sin fallas eléctricas	E	
73	Sin fallas Mecánicas	E	
74	Reservado	E	
75	Nivel de agua a la salida del túnel bajo (LOW)	E	SCADA
76	Nivel de agua a la salida del túnel demasiado bajo (TOO LOW)	E	SCADA
77	2 Bombas por estación en funcionamiento	E	SCADA
78	3 Bombas por estación en funcionamiento	E	SCADA
79	4 Bombas por estación en funcionamiento	E	SCADA
80	Nivel de aceite/suministro del alternador normal (Y4)	E	Y4
81	Reservado	E	
82	Freno encendido ON 3020S1	E	3020S1
83	Presión de agua en el frente de la válvula esférica 2004S5	E	2004S5
84	Temperatura de aceite en el Tanque colector muy alta	E	1180S9
85	Válvula manual en posición de operación 2088S1	E	2088S1
86	Válvula manual en posición de operación 2065S2	E	2065S2
87	Regulación de la presión de aceite demasiado baja 1043S1	E	1043S1
88	Regulación de la presión de aceite baja 1043S3	E	1043S3
89	Regulación de la presión de aceite OK 1043S5	E	1043S5
90	Regulación de nivel de Aceite muy bajo (TOO LOW) 1081S1	E	1081S1
91	Regulación de nivel de Aceite bajo (LOW) 1081S3	E	1081S3
92	Regulación de nivel de Aceite alto (HIGH) 1081S7	E	1081S5
93	Reservado	E	
94	Flujo de aceite en cojinetes - DE Y10	E	Y10
95	Flujo de aceite en cojinetes - NDE Y11	E	Y11

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

96	Válvula de emergencia (shutdown) 2130S1	E	2130S1
97	Válvula de emergencia (shutdown) 2131S1	E	2131S1
98	Existe Presión de agua en compuerta principal 2002S5	E	2002S5
99	Bomba de aceite 1000 del Governor encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM	
100	Bomba de aceite 1010 del Governor encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM	
101	Bomba1 de aceite de cojinetes encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM	
102	Bomba2 de aceite de cojinetes encendida/apagada (ON/OFF)	E/RM	
103	Calentador del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E	
104	Deflector completamente acoplado 2150S1	E	2150S1
105	Deflector abierto al 100% 2150S9	E	2150S9
106	Válvula de llenado abierta (OPEN) 2010S9	E	2010S9
107	Válvula de llenado cerrada (CLOSED) 2010S1	E	2010S1
108	Válvula esférica abierta (OPEN) 2001S9	E	2001S9
109	Válvula esférica cerrada (CLOSED) 2001S1	E	2001S1
110	Excitación o Excitatriz	E	
111	DE-Excitación-Excitatriz	E	
112	Breaker del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E	
113	Válvula mariposa abierta (OPEN) 2080S9	E	2080S9
114	Válvula mariposa cerrada (CLOSED) 2080S1	E	2080S1
115	Disipadora cerrada (CLOSED) 2090S1	E	2090S1
116	Disipadora abierta (OPEN) 100% 2090S9	E	2090S9
117	Disipadora abierta al mínimo (2 Bombas operando) 2090S3	E	2090S3
118	Disipadora abierta al máximo (2 Bombas operando) 2090S4	E	2090S4
119	Disipadora abierta al mínimo (3 Bombas operando) 2090S5	E	2090S5
120	Disipadora abierta al máximo (3 Bombas operando) 2090S6	E	2090S6

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

121	Disipadora abierta al mínimo (4 Bombas operando) 2090S7	E	2090S7
122	Disipadora abierta al máximo (4 Bombas operando) 2090S2	E	2090S2
123	Bomba de aceite de Governor DC encendido/apagado (ON/OFF)	E	
124	Ventilador de la bomba de aceite encendido/apagado (alternador) GEN MCC	E	
125	Calentador de aceite del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	E	
126	Falla peligrosa en la tubería	E	SCADA
127	Potencia <3%	E	
128	Velocidad 1% 2372 N1	E	2372N1
129	Sobrevelocidad 138% 2372 N1	E	2372N1
130	Aguja1 cerrada (CLOSED) 2171S1	E	2171S1
131	Aguja2 cerrada (CLOSED) 2172S1	E	2172S1
132	Aguja3 cerrada (CLOSED) 2173S1	E	2173S1
133	Presión en tubería de distribución existente 2015S5	E	2015S5
134	Presión en el sello de revisión existente 2040S5	E	2040S5
135	Temperatura del aire del alternador (caliente) (advertencia)	E	
136	Temperatura del aire del alternador (caliente) (desconectado)	E	
137	Temperatura del aire del FD.E. alternador izquierdo (frió) (advertencia)	E	
138	Temperatura de aire del FD.E. alternador izquierdo (frió) (desconectado)	E	
139	Temperatura del aire del N.E.D. alternador derecho (frió) (advertencia)	E	
140	Temperatura del aire del N.E.D. Alternador derecho (frió) (desconectado)	E	
141	Temperatura de los cojinetes del D.E. Alternador caliente (advertencia)	E	
142	Temperatura de los cojinetes del D.E. alternador (desconectado)	E	
143	Temperatura de los cojinetes del N.D.E. Alternador caliente (advertencia)	E	
144	Temperatura de los cojinetes del N.D.E. alternador (desconectado)	E	
145	Unidad de suministro de aceite L.S. Y5 calentador encendida (ON)	E	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

146	Unidad de suministro de aceite L.S. Y6 calentador apagada (OFF)	E	
147	Unidad de suministro de aceite L.S. Y7 ventilador encendida (ON) , ventilador>45	E	
148	Unidad de suministro de aceite L.S. Y8 ventilador apagada (OFF) , ventilador<35	E	
149	Unidad de suministro de aceite L.S. Y9 alarma	E	
150	Presión de aceite en bomba DC Alta (HIGH) 2034S6	E	2034S6
151	Falla en Bomba de aceite de Governor DC	E	
152	Presión de aceite en bomba DC Baja (LOW) 2034S4	E	2034S4
153	Supervision de batería 24/110 V TOO LOW	E	
154	Excitación/Excitatriz activada	E	
155	Falla en Bombas de aceite de Governor	E	
156	Disipadora no Activada	E	
157	Regulación del Coseno PHI	E	
158	Regulación del Seno PHI	E	
159	Reserva	E	
Salidas			
160	Bomba de aceite del Governor 1000M1 encendido/apagado (ON/OFF)	S	
161	Bomba de aceite del Governor 1010M1 encendido/apagado (ON/OFF)	S	
162	Bomba1 de aceite de cojinetes encendido/apagado (ON/OFF)	S	
163	Bomba2 de aceite de cojinetes encendido/apagado (ON/OFF)	S	
164	Calentador del alternador encendido/apagado (ON/OFF)	S	
165	Excitación/Dexcitación EXITATRIZ (F1-F2)	S	
166	Unidad de conmutación a paralelo (ON/OFF)	S	
167	Breaker del alternador (ON/OFF)	S	
168	Válvula de emergencia (shutdown) 2130Y1	S	2130Y1
169	Válvula de emergencia (shutdown) 2131Y1	S	2131Y1

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

170	Válvula de llenado (abierto/cerrado) (OPEN/CLOSED) 2011Y1	S	2011Y1
171	Válvula esférica abierta (OPEN) 2020Y9	S	2020Y1
172	Válvula esférica cerrada (CLOSED) 2020Y1	S	2020Y9
173	Freno encendido (ON) 3005Y9	S	3005Y9
174	Freno apagado (OFF) 3005Y1	S	3005Y1
175	Arranque de regulador de Turbina (START) ETR 181-182	S	KE01
176	Parada de regulador de Turbina (STOP) ETR 183-184	S	KE02
177	BREAKER encendido (ON) ETR 185-186	S	KE03
178	Limitador de apertura Bomba2 en operación ETR 189-190	S	KE05
179	Limitador de apertura Bomba3 en operación ETR 191-192	S	KE06
180	Limitador de apertura Bomba4 en operación ETR 193-194	S	KE07
181	Regulación externa (FC400) (ETR 2003-204)	S	KE12
182	Calentador de unidad de suministro de aceite del alternador (ON/OFF)	S	
183	Válvula Mariposa abierto/cerrado (OPEN/CLOSED) 2086 Y1	S	2086 Y1
184	Válvula Mariposa abierta (OPEN) ETR 205-206	S	KE13
185	Válvula Mariposa Operación de emergencia (OPEN/CLOSED) 2088Y1	S	2088Y1
186	Válvula Disipadora abierta (OPEN) 2097 Y1	S	2097Y1
187	Válvula Disipadora cerrada (CLOSED) 2097 Y9	S	2097Y9
188	Emergencia Shutdown activado (Shutdown rápido por liberación a la salida) ERT 187-188	S	KE04
189	Bomba de aceite de Governor DC encendido/apagado	S	
190	Ventilador de la bomba de aceite del cojinetes (ON/OFF)	S	
191	Válvula Disipadora (operación de emergencia) (OPEN/CLOSED) 2065Y1	S	2065Y1
192	I.L "Manual"	S	
193	I.L "Automático"	S	
194	I.L "Prueba"	S	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

195	I.L "Local"	S	
196	I.L "Remoto"	S	
197	I.L "Exciter ON" EXITATRIZ	S	
198	I.L "Sincronización ON"	S	
199	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1000 encendida"	S	
200	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1000 apagada"	S	
201	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1010 encendida"	S	
202	I.L. " Bomba de aceite de Governor 1010 apagada"	S	
203	I.L "Bomba1 de aceite de cojinetes encendida"	S	
204	I.L "Bomba1 de aceite de cojinetes apagada"	S	
205	I.L "Bomba2 de aceite de cojinetes encendida"	S	
206	I.L "Bomba2 de aceite de cojinetes apagada"	S	
207	I.L "Calentador del alternador encendido" (ON)	S	
208	I.L "Calentador del alternador apagado" (OFF)	S	
209	I.L "Válvula Mariposa abierta "	S	
210	I.L "Válvula Mariposa cerrada "	S	
211	I.L "Disipadora abierta "	S	
212	I.L "Disipadora cerrada "	S	
213	I.L "Freno encendido"	S	
214	I.L "Freno apagado"	S	
215	I.L "Válvula de llenado abierta"	S	
216	I.L "Válvula de llenado cerrada"	S	
217	I.L "Válvula esférica abierta"	S	
218	I.L "Válvula esférica cerrada"	S	
219	I.L "Bomba de aceite del Governor DC ON"	S	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

220	I.L "Bomba de aceite del Governor DC OFF"	S	
221	I.L "Flujo de aceite mínimo D.E. ALT."	S	
222	I.L "Flujo de aceite mínimo N.D.E. ALT."	S	
223	I.L "Temperatura de aceite del alternador muy alta."	S	
224	I.L "Requerimientos de puesta en marcha no cumplidos"	S	
225	I.L "Turbina Lista para operación"	S	
226	I.L "Run up"	S	
227	I.L "Run down"	S	
228	I.L "Stand still"	S	
229	I.L "Regulación externa"	S	
230	I.L "Regulación del limitador de apertura "	S	
231	I.L "Alternador en operación "	S	
232	I.L "Regulación del cos phi "	S	
233	I.L "Regulación del sin phi "	S	
234	I.L "Regulación de voltaje"	S	
235	I.L "Temperatura contactos Térmicos advertencia"	S	
236	I.L "Temperatura contactos Térmicos desconexión"	S	
237	I.L "Requerimientos para arranque de by pass no cumplidos"	S	
238	I.L "By pass listo para operar"	S	
239	I.L "Bypass en operación"	S	
240	I.L "Temperatura de aceite del alternador muy baja"	S	
241	I.L "Control automático de la estación master"	S	
242	Reservado/Disipadora operación de emergencia	S	
243	Reservado	S	
244	2 Bombas en operación	S	

Tabla 4.12 Distribución de las Entradas Salidas PLC de Máquina (continuación)

245	3 Bombas en operación	S	
246	4 Bomba en operación	S	
247	Reservado	S	
248	Reservado	S	
249	Falla Mecánica	S	
250	Falla Electrónica	S	
251	Shutdown de emergencia	S	
252	Reservado	S	
253	Servicio auxiliar ON	S	
254	Servicio auxiliar OFF	S	
255	Reservado	S	

Dentro del software correspondiente al PLC de máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía se pueden distinguir 3 grandes bloques de programación que se enumeran a continuación:

1. Programación correspondiente al control de la Turbina Pelton.
2. Programación correspondiente al control del By-Pass.
3. Programación correspondiente al control del sistema en modo de Prueba.

4.6.1.1 Programación correspondiente al control de la Turbina Pelton⁶

Para programar la sección correspondiente a la turbina Pelton fue necesario realizar una investigación detallada, de todos los equipos que el PLC de Máquina utiliza, para que el grupo turbina-generador trabaje, dichos equipos se detallan en la tabla 4.13, en el anexo 3.1 se puede observar el esquema de simulación de la turbina, en base a este esquema y a los diagramas de flujo del anexo 2 se desarrolló el programa para el control de la turbina, el mencionado esquema de control simula el comportamiento hidráulico del sistema y fue diseñado con ayuda del software Automation Studio 5.0, el cual permite simular acciones sobre válvulas, tanques, manómetros y demás instrumentos, utilizados en sistemas automatizados, esto ayudó a eliminar ciertas dudas que se tenía acerca del comportamiento del sistema.

Tabla 4.13 Lista de equipos para el control de Turbina Pelton

Lista de equipos para el control de Turbina Pelton	
Código	Descripción
1000	Bomba de aceite de regulación I
1000 M1	Motor para bomba I
1006	Válvula de Retención
1010	Bomba de aceite de regulación II
1010M1	Motor para bomba II
1016	Válvula de Retención
1030	Acumulador de aceite a presión
PS 1043	Presostato
1043 S1	Control de presión muy bajo
1044 S3	Control de presión bajo
1045 S5	Control de presión normal
1044	Bloque de seguridad para el acumulador
PI 1045	Manómetro para presión de control
1046	Válvula limitadora de presión

⁶ SULZER-ESCHER WYSS GMBH, Op. Cit.

Tabla 4.13 Lista de equipos para el control de Turbina Pelton (continuación)

1080	Tanque de Aceite de control
LS 1081	Control de nivel de aceite en el tanque
1081 S1	Nivel muy bajo
1082 S3	Nivel bajo
1083 S7	Nivel alto
LI 1082	Indicador de nivel de aceite
1083	Válvula de drenaje de aceite
1085	Filtro doble
DPI 1085	Indicador óptico de suciedad
DPS 1085	Contacto de Presión
1085 S7	Filtro de aceite tapado
1086	Conexión para el llenado y aireación
1160	Enfriador de aceite
1161	Bomba de enfriamiento de aceite I
1166	Válvula de Retención
1167	Válvula limitadora de presión
1168	Válvula de cierre
1169	Válvula termostática
1171	Bomba de enfriamiento de aceite II
1176	Válvula de Retención
TIS 1180	Termómetro de contactos para aceite de regulación
1180 S7	Temperatura de aceite alta
1180 S9	Temperatura de aceite demasiado alta
2000	Válvula esférica
2001	Válvula esférica cuerpo giratorio
GS 2001 S1	Interruptor de límite válvula esférica cerrada
GS 2001 S5	Interruptor de límite válvula esférica en movimiento
GS 2001 S9	Interruptor de límite válvula esférica abierta
2002	Cierre principal
PS 2002 S5	Presostato, presión de agua en el cierre principal existe
2003	Válvula de cierre
2004	Válvula de cierre
PI 2004	Manómetro presión antes de la válvula esférica
PS 2004 S5	Presostato, presión antes de la válvula esférica existe
2005	Indicador de posición del cuerpo giratorio
2006	Válvula de cierre
2008	Válvula de cierre
2010	Válvula de llenado
GS 2010 S1	Interruptor válvula de llenado cerrada
GS 2010 S2	Interruptor válvula de llenado abierta
2011	Válvula solenoide para la válvula de llenado
2011 Y1	Válvula de llenado abierta
2012	Válvula de cierre

Tabla 4.13 Lista de equipos para el control de Turbina Pelton (continuación)

2013	Válvula de cierre
2014	Válvula de cierre
PI 2015	Manómetro, presión en tubería de distribución
PS 2015 S5	Presostato, presión en la tubería de distribución existe
2016	Válvula de cierre
2020	Válvula solenoide para la válvula esférica
2020 Y1	Válvula esférica abrir
2020 Y9	Válvula esférica cerrar
2030	Válvula de control para la válvula esférica
2031	Válvula de cierre de alimentación de aceite
2032	Válvula de Retención
2100 A1	Servo-válvula para el deflector
2130	Válvula de emergencia para la turbina y disipador
2130 Y1	Posición de servicio
GS 2130 S1	Contacto válvula en posición de servicio
2132	Válvula de relé para cierre de emergencia del deflector
2133	Válvula de relé para cierre de emergencia de la aguja 1
2134	Válvula de relé para cierre de emergencia de la aguja 2
2135	Válvula de relé para cierre de emergencia de la aguja 3
2150	Deflector completo
GI 2150	Indicador de posición
GS 2150	Interruptor límite
2150 S9	Deflector 100% abierto
2150 S1	Deflector cerrado
2153	Servomotor del deflector
GT 2158 B1	Transmisor para la posición del deflector
2171	Servomotor aguja 1
GI 2171	Indicador de posición
GS 2171	Interruptor límite
2171 S1	Contacto aguja 1 cerrada
GT 2171 B1	Transmisor para la posición de la aguja 1
2172	Servomotor aguja 2
GI 2172	Indicador de posición
GS 2172	Interruptor límite
2172 S1	Contacto aguja 2 cerrada
GT 2172 B1	Transmisor para la posición de la aguja 2
2173	Servomotor aguja 3
GI 2173	Indicador de posición
GS 2173	Interruptor límite
2173 S1	Contacto aguja 3 cerrada
GT 2173 B2	Transmisor para la posición de la aguja 3
2174 A1	Servo válvula para el Inyector 1

Tabla 4.13 Lista de equipos para el control de Turbina Pelton (continuación)

2175 A1	Servo válvula para el Inyector 2
2176 A1	Servo válvula para el Inyector 3
2250	Rodete
2251	Dispositivo de izaje rodete
2252	Dispositivo de izaje inyectores
ST 2371 B1	Sonda de velocidad para el regulador
ST 2372 B1	Sonda de velocidad para la supervisión
2372 N1	Sistema de medición de velocidad de turbina
3000	Generador
3005	Válvula solenoide para el freno
3005 Y1	Freno quitado
3005 Y9	Freno aplicado
3020	Freno del generador
GS 3020	Interruptor límite
3020 S1	Freno inactivo
3025	Válvula reductora de presión

La turbina puede arrancar ya sea en forma manual o automática siempre y cuando se cumplan los requerimientos, a continuación se describe el proceso de arranque de la turbina en forma manual, para el arranque en forma automática se sigue el mismo procedimiento pero se omite la acción del operador sobre el panel de control.

- 1) Selector en posición operación Turbina.
- 2) Condición “*READY FOR OPERATION*”.
- 3) Regulación excitatriz conectado, Cos phi, automático, modo de operación externo, control limitador.
- 4) Interruptor generador introducido y abierto.
- 5) Bombas governor 1 y 2, bombas de lubricación de cojinetes 1 y 2 conectados sus arrancadores y seleccionados.
- 6) Llave de bloqueo de válvula esférica libre de enclavamiento.
- 7) Llaves de paso de válvula de llenado, control hidráulico abiertas y verificación de presiones iguales existentes en ambos lados de los filtros.
- 8) No presencia de alarmas en los paneles de 6,6 KV, baterías, presión y nivel.
- 9) Condiciones de PLC SCHORCH para arranque necesarias.
- 10) Verificar señal de permisivo “turbina lista para funcionamiento”.
- 11) Dar el pulso de arranque de la Turbina.
- 12) Seleccionar la bomba de aceite (1000M1 o 1010M2).

- 13) Arrancar grupo de máquina, mediante el switch de reposición WS.
- 14) Arrancar la bomba de aceite del governor(1000 o 1010).
- 15) Arrancar la bomba de cojinetes (1 o 2).
- 16) Abrir la válvula de llenado.
- 17) Abrir la válvula esférica.
- 18) Cierre la válvula de llenado.
- 19) Deshabilitar el freno.
- 20) Arrancar Turbina por medio del switch de reposición.
- 21) Al llegar la velocidad de la turbina a un 95% automáticamente arranca la excitatriz.
- 22) Al llegar la velocidad de la Turbina a un 98% automáticamente entra en funcionamiento el sincronoscopio.
- 23) Conectar el interruptor del generador mediante la llave de selección cuando se observe la apertura del deflector y la posición de las agujas sean iguales.
- 24) La operación tiene éxito cuando el generador entra en paralelo con la línea de alta tensión.

Cada uno de estos pasos es necesario verificar que se cumplan estrictamente, esperando entre cada paso un tiempo prudencial.

Cuando la Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía ha entrado en paralelo con el Sistema Nacional Interconectado, comienza el proceso de control de generación en función del caudal de ingreso y de la apertura de los tres inyectores de la turbina, la generación puede regularse en el rango del 1MW a los 14,7 MW que son los valores máximos y mínimos respectivamente que pueden ser generados, los inyectores son controlados por el regulador ETR (Electronic Turbine Regulator), mediante el PLC de máquina y los interruptores correspondientes se informa al ETR que equipo le enviará la señal de caudal, existen tres formas de recibir la señal de caudal, la primera es por medio del FIC-400, esta forma de regulación es conocida como regulación externa y funciona solo en modo de operación automático, la siguiente es por medio del limitador de apertura, el cual posee caudales fijos determinados por el número de bombas accionadas en las estaciones de bombeo, la tercera forma es por medio del mismo limitador de apertura pero en este caso el operador colocará el caudal manualmente en función de la cantidad de unidades de bombeo que se encuentren activadas, por medio de los pulsadores denominados 4 bombas en operación, 3 bombas en operación, y 2 bombas en operación.

El proceso de generación puede detenerse por dos motivos, debido a una solicitud de parada normal (por medio del respectivo pulsador o a través del sistema SCADA) o debido a una solicitud de una parada de Emergencia, ahora se lista una serie de eventos por los cuales, se activa una parada de emergencia:

- 1) Al pulsar parada de emergencia.
- 2) Por falla eléctrica.
- 3) Por falla mecánica.
- 4) Por falla del gobernador.
- 5) No presencia de 460V.
- 6) Desbalance en el generador.
- 7) Intervención de protecciones eléctricas de la subestación.
- 8) Muy bajo nivel del túnel.
- 9) Un sobrevoltaje o sobrecorriente.
- 10) Salida de operación de las estaciones de bombeo.

El proceso de parada de turbina sigue los lineamientos que se enlistan a continuación:

- 1) Solicitar al regulador de Turbina ETR parada.
- 2) Reducir potencia de generación al 3%
- 3) Desconexión del Sistema Nacional Interconectado
- 4) Desactivar Breaker del Generador
- 5) Desactivar Excitatriz
- 6) Cerrar válvula esférica
- 7) Cerrar Agujas y Deflectores
- 8) Cuando la velocidad de la turbina llegue al 25% aplicar el freno
- 9) Cuando la velocidad de la turbina llegue al 1% apagar bomba de cojinetes
- 10) Si se encuentra seleccionado el switch de By-pass activado se procederá inmediatamente a abrir el mismo, caso contrario se apagará el gobernador dejando en reposo el sistema.

4.6.1.2 Programación correspondiente al control del Bypass⁷

Para programar la sección correspondiente al bypass fue necesario distinguir todos los equipos que el PLC de Máquina utiliza para que la derivación trabaje, dichos equipos se

⁷ SULZER-ESCHER WYSS GMBH, Op. Cit.

detallan en la tabla 4.14, en el anexo 3.2 se puede observar el esquema de simulación del bypass, en base a este esquema y a los diagramas de flujo del anexo 2 se desarrolló el programa para el control de la derivación, el mencionado esquema de control simula el comportamiento hidráulico del sistema, este diagrama se diseñó con ayuda del software Automation Studio 5.0, cabe mencionar que la simulación ayudó a eliminar ciertas dudas que se tenía acerca del comportamiento del Bypass.

Tabla 4.14 Lista de equipos para el control del Bypass

Lista de equipos para el control del Bypass	
Código	Descripción
2026	Bomba de aceite de emergencia
2026 M1	Motor DC para la bomba de aceite
2027	Válvula limitadora de presión
2028	Válvula de Retención
2029	Acumulador de aceite a presión
PI 2034	Manómetro para presión de control del dissipador
PS 2034	Presostato para control de la bomba
2034 S4	Bomba de emergencia conectada
2034 S6	Bomba de emergencia desconectada
2035	Bloque de seguridad para el acumulador
2036	Válvula limitadora de presión
2037	Válvula de cierre del retorno de aceite
PS 2040 S5	Presostato, presión en el sello de revisión existente
2041	Válvula de cierre
2042	Válvula de cierre
2043	Válvula de cierre
2047	Filtro de agua
DPI 2047	Indicador de suciedad
DPS 2047	Contacto de Presión diferencial cerrado filtro tapado
2048	Válvula manual para cierre de revisión
2049	Válvula de bloqueo para alimentación de aceite
2050	Válvula de control del cierre principal
2055	Válvula de cierre
2060	Filtro de agua
DPI 2060	Indicador óptico de suciedad
DPS 2060 S7	Contacto de Presión diferencial cerrado filtro tapado
2061	Válvula de cierre
2062	Válvula de cierre
2063	Válvula de cierre
2064	Válvula de cierre
2065	Válvula solenoide para el servicio de emergencia del dissipador
2065 Y1	Servicio normal

Tabla 4.14 Lista de equipos para el control del Bypass (continuación)

GS 2065 S1	Contacto válvula en posición normal
2070	Servomotor de la válvula esférica
2071	Válvula de cierre
2072	Filtro de agua
DPI 2072	Indicador óptico de suciedad
DPS 2072	Contacto de Presión diferencial cerrado filtro tapado
2073	Válvula de cierre
2074	Válvula de cierre
2075	Válvula de cierre
2076	Válvula de cierre
2078	Válvula de cierre
2080	Válvula mariposa
GI 2080	Indicador de posición de la válvula mariposa
GS 2080	Interruptor límite
2080 S1	Válvula mariposa abierta
2080 S9	Válvula mariposa cerrada
2085	Servomotor de la válvula mariposa
2086	Válvula solenoide para el control de la válvula mariposa
2086 Y1	Válvula mariposa abierta
2087	Válvula de relé para cierre de emergencia de la válvula mariposa
2088	Válvula de conmutación para el servicio de emergencia de la válvula mariposa
2088 Y1	Servicio normal
GS 2088 S1	Válvula en posición "Servicio Normal"
2089	Válvula de relé para cierre de emergencia del disipador
2090	Válvula disipadora de presión
GI 2090	Indicador de posición de la válvula disipadora
GS 2090	Interruptor límite
2090 S1	Disipador cerrado
2090 S2	Reserva
2090 S3	En posición de servicio con 2 bombas
2090 S4	En posición de servicio con 2 bombas
2090 S5	En posición de servicio con 3 bombas
2090 S6	En posición de servicio con 3 bombas
2090 S7	En posición de servicio con 4 bombas
2090 S9	Disipador abierto
GT 2090 B1	Transmisor para la posición del disipador
2091	Válvula de conmutación para el servicio de emergencia del disipador
2092	Válvula de conmutación para el servicio de emergencia lado abrir
2093	Válvula de conmutación para el servicio de emergencia lado cerrar
2094	Válvula de retención diafragma
2095	Servomotor del disipador
2096 A1	Servo válvula para el disipador
2097	Válvula de 4/3 vías para el control de emergencia del disipador

Tabla 4.14 Lista de equipos para el control del Bypass (continuación)

2097 Y1	Disipador abrir
2097 Y9	Disipador cerrar
2098	Válvula de relé para apertura de emergencia del disipador
2099	Válvula de relé para cierre de emergencia del disipador

El puede arrancar el bypass ya sea forma manual, automática o en caso de emergencia siempre y cuando se cumplan los respectivos requerimientos, a continuación se describe el proceso de arranque del Bypass en forma manual, para el arranque en forma automática se sigue el mismo procedimiento pero se omite la acción del operador sobre el panel de control.

- 1) Selector en posición operación Bypass.
- 2) Condición Bypass *READY FOR OPERATION*.
- 3) Bombas governor 1 y 2, bombas de lubricación de cojinetes 1 y 2 conectados sus arrancadores y seleccionados.
- 4) No presencia de alarmas en los paneles de 6,6 KV, baterías, presión y nivel.
- 5) Condiciones de PLC SCHORCH para arranque necesarias.
- 6) Verificar señal de permisivo Bypass modo de operación normal o de emergencia.
- 7) Dar el pulso de arranque del bypass.
- 8) Seleccionar la bomba de aceite (1000M1 o 1010M2 o DC).
- 9) Arrancar grupo de máquina, mediante el switch de reposición WS.
- 10) Arrancar la bomba de aceite del governor.
- 11) Abrir válvula Mariposa.
- 12) Abrir válvula Disipadora.
- 13) Al abrir la válvula disipadora automáticamente se activa la regulación con el ETR

Cada uno de estos pasos es necesario verificar que se cumplan estrictamente, esperando entre cada paso un tiempo prudencial.

El proceso de regulación de apertura de la válvula disipadora al igual que en el caso de la turbina se lo puede hacer a través del FIC-400 o a través del limitador de apertura.

El Bypass puede dejar de operar por dos motivos, uno debido la solicitud de parada normal (por medio del respectivo pulsador o a través del sistema SCADA) o debido a una solicitud de parada de Emergencia, ahora se lista una serie de eventos por los cuales, se activa una parada de emergencia:

- 1) Al pulsar parada de emergencia.
- 2) Por falla eléctrica.
- 3) Por falla mecánica.
- 4) Por falla del governor.
- 5) Intervención de protecciones eléctricas de la subestación.
- 6) Muy bajo nivel del túnel.
- 7) Un sobrevoltaje o sobrecorriente.
- 8) Salida de operación de las estaciones de bombeo.

El proceso de salida de operación del bypass sigue los lineamientos que se enlistan a continuación.

- 1) Detener regulación de caudal.
- 2) Cerrar válvula Disipadora.
- 3) Cerrar válvula Mariposa.
- 4) Apagar el Governor

4.6.1.3 Programación correspondiente al control del sistema en modo de Prueba⁸

Para colocar el sistema de control del grupo turbina generador y bypass en modo de prueba es necesario colocar el switch selector en la posición de “*Test*”, este modo de funcionamiento es utilizado en labores de mantenimiento, pruebas de funcionamiento de equipos y demás, permitiendo maniobrar los mismos independientemente sin necesidad de una secuencia predeterminada, como las que se describieron anteriormente para el funcionamiento del bypass y la turbina, a continuación se enumeran los dispositivos que pueden ser operados en modo de prueba.

- 1) Bombas de Governor 1000 M1, 1010 M1 o Bomba DC.
- 2) Bombas de Cojinetes 1 y 2.
- 3) Calentador de Alternador.
- 4) Válvula Mariposa.
- 5) Válvula Disipadora de presión.
- 6) Freno de Turbina.
- 7) Válvula de Llenado.

⁸ CONSORCIO TECHINT, Acta de Terminación de Tareas Puesta en Marcha Estación Recuperadora de Energía , Quito 19 Noviembre 1990.

8) Válvula Esférica.

Estos equipos podrán entrar o salir de funcionamiento únicamente en forma manual, es decir a través de los pulsadores ubicados en el panel de operador, cabe destacar que la Central Hidroeléctrica Recuperadora no podrá entrar en paralelo con el Sistema Nacional Interconectado en modo de prueba, debido a que este modo de funcionamiento esta dedicado únicamente para la comprobación del estado de los dispositivos, una vez comprobado el estado de los mismos se deberá seguir las secuencias de arranque antes descritas para la operación del sistema, otro parámetro a tener en cuenta es el correspondiente a la bomba DC del Governor, esta podrá ser utilizada solo para la operación del bypass, ya que por condiciones mecánicas e hidráulicas esta no puede operar la parte hidráulica correspondiente a la turbina.

4.6.2 Programación y Diseño de pantallas HMI para el panel táctil de operador correspondiente al PLC de Turbina

Con la ayuda de Vijeo Designer en las pantallas de operador de la estación Recuperadora se creó dentro del menú un botón designado para el acceso al estado de la Turbina y Bypass, es aquí donde se podrán observar ciertos parámetros correspondientes a ambos. La pantalla diseñada para mostrar el Estado del Grupo Turbina Generador y Bypass que se ubican en el panel SCHORCH número dos se muestra en la figura 4.73, donde se indican las señales correspondientes a:

- Requerimientos de arranque no cumplidos.
- Operación de Turbina.
- Arranque de Turbina.
- Turbina Reducción.
- Turbina Quieta.
- Regulación externa.
- Regulación por limitador de apertura.
- Operación del alternador.
- Regulación Cos phi (-)
- Regulación Sin phi (-).
- Regulación voltaje.

- Arranque de By-pass requerimientos no cumplidos.
- By-pass Operando.
- Temperatura de aceite de alternador muy baja.
- Control automático desde la estación Master.
- Operación emergencia disipador.
- Falla mecánica.
- Falla eléctrica.
- Emergencia SHUT DOWN.
- Servicio auxiliar ON.
- Servicio auxiliar OFF.

Tablero 2 SCHORCH						07/04/15	18:38:34
Turbina Lista para Funcionamiento	Servicio Auxiliar Conectado	Turbina Arranque	Turbina Reducción	Turbina Parada	Servicio Auxiliar Desconectado		
Alternador en Funcionamiento	Alternador Regulador de Voltaje	Alternador Cos PHI Regulación	Alternador Sen PHI Regulación	Regulación Exterior	Regulación Abertura Limitador		
Turbina Sin Permisivos	Desviación Sin Permisivos	Cierre de Emergencia Funcionamiento	Falla Eléctrica	Falla Mecánica	Parada de Emergencia		
Disipador Listo para Funcionamiento	Disipador en Funcionamiento	Disipador Operación de Emergencia	Control Automático Estación Principal				

Atrás
Menú
Siguiente

Figura 4.73 Pantalla de alarmas del panel SCHORCH # 2 Estación Recuperadora

4.6.3 Programación y Diseño de pantallas HMI SCADA para el PLC de Turbina

En la HMI SCADA diseñada anteriormente para el sistema de alarmeros Inteligentes de Estación Recuperadora se pueden distinguir en el menú dos botones designados para el acceso al estado de la Turbina y Bypass, es aquí donde se podrán observar ciertos parámetros de los mismos, como lo muestra la figura 4.74.

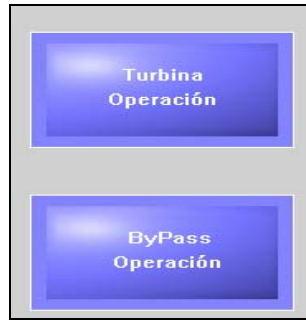


Figura 4.74 Botones de Acceso al Estado de la Turbina y Bypass Estación Recuperadora

Las pantallas diseñadas para observar las señales de Estado del Grupo Turbina Generador y Bypass se detallan a continuación.

1. La primera pantalla muestra el estado general del Grupo Turbina Generador y Bypass, esta interfaz corresponde al panel SCHORCH número y se observa en la figura 4.75.



Figura 4.75 Pantalla SCADA de alarmas del panel SCHORCH # 2 Estación Recuperadora

2. La siguiente pantalla es la destinada a mostrar el estado de la turbina, secuencia de arranque y posibles fallas de la misma, como lo muestra la figura 4.76.



Figura 4.76 Pantalla de Secuencia de Operación de Turbina Estación Recuperadora

Adicionalmente esta pantalla posee un botón de ayuda mediante el cual se puede ver el estatus que debería tener el PLC de turbina en sus distintos procesos de funcionamiento.

3. La siguiente pantalla es la destinada a mostrar el estado del bypass, secuencia de arranque y posibles fallas del mismo, lo cual se puede ver en la figura 4.77.



Figura 4.77 Pantalla de Secuencia de Operación del Bypass Estación Recuperadora

Adicionalmente esta pantalla al igual que la anterior posee un botón de ayuda mediante el cual se puede ver el estatus que debería tener el PLC de turbina en sus distintos procesos.

4. Finalmente se tiene una pantalla en la que se enlista el estado de todas y cada una de las señales del PLC de Turbina como lo muestra la figura 4.78.

Time	Date	Comment	Value	State	Priority
09:27	16 abr	Turbina 2400C Avista	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta C.C	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta C.C	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta C.A	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta C.A	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta en Red	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Refrigerador 11000C Falta en Red	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Refrigerador 2400C Falta C.A	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Refrigerador 2400C Falta en Red	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Refrigerador 2400C Falta en Red	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Pan Total Estacion	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Pan Total Estacion	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Pan Estacion Inicial	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Pan Estacion Inicial	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	Falta Etiqueta	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	Falta Etiqueta	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador "TUMETIC"	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador "TUMETIC"	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	5000VA Auxiliar Transformador Temperatura Presion	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	120KV Transformador Principal Nivel Minimo de Aceite	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	120KV Transformador Principal Nivel Minimo de Aceite	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	120KV Transformador Interceptor de Nivel Minimo de Aceite	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	120KV Transformador Interceptor de Nivel Minimo de Aceite	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	120KV Transformador Telemetro	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	120KV Transformador Telemetro	OFF	UNACK	1
09:27	16 abr	120KV Transformador Telemetro	OFF	UNACK	10
09:27	16 abr	120KV Transformador Telemetro	OFF	UNACK	1

Figura 4.78 Pantalla de Estado PLC de Máquina Estación Recuperadora

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

Para realizar la implementación del sistema de alarmeros Inteligentes se de tomó en cuenta además de los equipos dimensionados en el capítulo tercero, equipos como protecciones ante posibles sobre corrientes y sobre voltajes dimensionados de acuerdo al consumo normal del los equipos de control, también será necesario dimensionar elementos de montaje tales como riel DIN, cable, etiquetas, borneras y demás.

Antes de realizar el proceso de montaje es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Buscar un sitio adecuado donde permanecerá el equipo destinado al control, es decir un sitio cercano a las señales a ser monitoreadas, que tenga cercana tomas de alimentación de 110VAC, 24VDC, etc. de acuerdo al caso, que sea de fácil acceso para evitar complicaciones en el montaje y posterior mantenimiento.
2. Verificar tipo de soporte requieren los equipos de control, es decir se montaran sobre una riel DIN o en un Rack, esto depende del tipo de PLC a ser utilizado y de acuerdo a esto también se escogerán los elementos de montaje.
3. Medir la distancia entre las señales de entradas, salidas y alimentación con el equipo o elemento de control, esto ayudará a dimensionar la cantidad de cable requerida para la implementación, es importante dejar una holgura para que el cable no este sometido a un esfuerzo innecesario.
4. Es importante saber la cantidad exacta de entradas y salidas a utilizarse ya que de acuerdo a esto se puede dimensionar la cantidad y el tipo de terminales para cable así como también la cantidad de etiquetas de señalización a utilizarse.

5. Es necesario también dotar al sistema de algún tipo de protección contra sobre corriente y sobre voltaje ya que al tratarse de un ambiente industrial se pueden presentar inconvenientes de este tipo.
6. Por último es importante identificar todos y cada uno de los elementos a ser implementados para evitar complicaciones futuras, es decir se debe identificar claramente los cables que son de alimentación de 110VAC, 24VDC, tierra, neutro, señales y demás, así como también equipos, módulos y tarjetas utilizadas.

5.1. Implementación del Sistema en la Estación Elevadora.

La implementación en la estación Elevadora siguió el procedimiento de ejecución antes descrito, se decidió montar el PLC para el sistema de alarmeros, en el panel SCHORCH número dos de esta estación, por encontrarse el espacio suficiente para lo equipos y módulos como se muestra en la figura 5.1 y 5.2.



Figura 5.1 Panel SCHORCH #2 Parte Frontal Superior Estación Elevadora.



Figura 5.2 Panel SCHORCH #2 Parte Posterior Superior Estación Elevadora.

En esta estación se colocó un PLC Twido 40DRF para montaje en riel DIN, los módulos de entrada y módulos Telefast también son para montaje en riel DIN, el sistema fue colocado de la siguiente manera, el PLC Twido se colocó en la parte frontal superior del panel y las borneras telefast en la parte superior trasera del panel, como se observa en las figuras 5.3 y 5.4, en el anexo 4.1 se muestra el diagrama exacto de conexión y ubicación del sistema para esta estación.

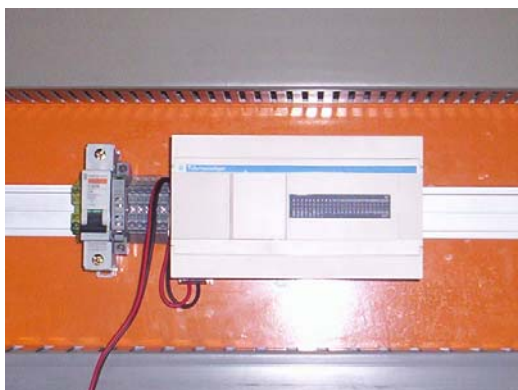


Figura 5.3. Montaje del PLC Twido en Estación Elevadora.

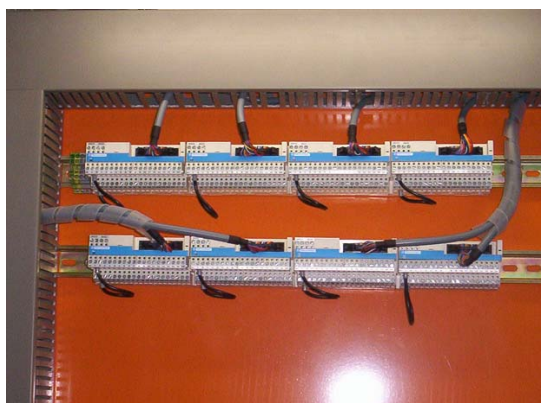


Figura 5.4. Montaje de borneras Telefast en Estación Elevadora.

La distancia promedio de los módulos de entradas telefast hacia las señales de monitoreo es de aproximadamente 3,5 metros, el tipo de cable a utilizarse es AWG-18 flexible, debido a la distancia y al voltaje de las señales de alarma (24VDC) es este el cable adecuado y para la alimentación de 110VAC que necesita el PLC se utilizará cable flexible AWG-14.

Los elementos de protección que se ha decidido utilizar para resguardar el autómatas, es un conjunto disyuntor-fusible el cual se puede observar en la figura 5.5, en donde el disyuntor

de 100VAC a 4 Amperios actúa como protección de sobrevoltaje y el fusible de acción rápida de 2 Amperios actúa como protección de sobrecorriente, estos parámetros fueron determinados de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del fabricante, los módulos telefast poseen su propia protección por lo cual no se ha visto la necesidad de adicionar otro elemento de resguardo.

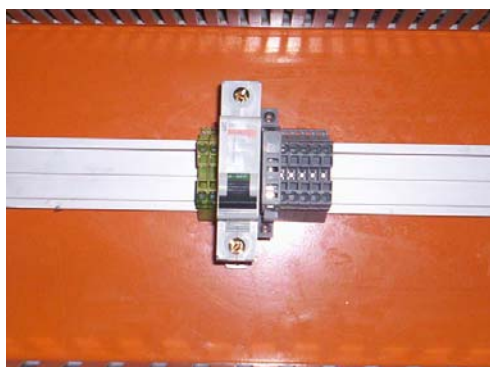


Figura 5.5 Montaje de Disyuntor, portafusible y borneras en Estación Elevadora.

A continuación en la tabla 5.1 se detallan todos los materiales utilizados en la implementación, así como también la cantidad que se ocupó de cada uno de los mismos.

Tabla 5.1. Materiales utilizados en la Estación Elevadora.

Materiales utilizados en la Estación Elevadora	
No. Señales	90
Metros de Cable AWG-18	315
Metros de Cable AWG-14	10
Conectores tipo pin	180
Borneras	10
Breakers 110VAC/4^a	1
Portafusibles	1
Fusibles 2^a	1
PLCs	1
Módulos de Entradas digitales	4
Módulos Telefast	8
Cables Telefast	8
Puentes	8
Taipe	1
Metros Riel Din	0,8
Amarras	20
Lib. Marquillas	1
Topes Bornera	6
Cable UTP directo cat. 5/6metros	1

5.2. Implementación del Sistema en la Estación Booster I.

La implementación en la estación Booster I siguió similar procedimiento de montaje como el de la estación Elevadora antes descrita, se decidió montar el PLC para el sistema de alarmeros, en el panel SCHORCH número dos de esta estación, por encontrarse el espacio suficiente para lo equipos y módulos.

En esta estación se colocó de igual manera que en el resto de estaciones un PLC Twido 40DRF, los módulos de entrada y módulos Telefast que son para montaje sobre riel DIN como se puede observar en las figuras 5.6 y 5.7, el sistema se colocó de la siguiente forma, el PLC Twido esta ubicado en la parte frontal superior del mencionado panel y las borneras telefast estarán en la parte inferior trasera, el anexo 4.2 contiene el diagrama exacto de conexión y ubicación del sistema para esta estación.



Figura 5.6 Montaje del PLC Twido en Estación Booster I.

La distancia promedio de los módulos de entradas telefast hacia las señales de monitoreo es de aproximadamente 3,5 metros, el tipo de cable a utilizarse es AWG-18 flexible, y para la alimentación de 110VAC que necesita el PLC se utilizará cable flexible AWG-14.



Figura 5.7 Montaje de borneras Telefast en Estación Booster I.

Los elementos de protección utilizados para preservar el autómata es un conjunto disyuntor-fusible que se puede observar en la figura 5.8, donde el disyuntor de 100VAC a 4 Amperios actúa como protección de sobrevoltaje y el fusible de acción rápida de 2 Amperios actúa como protección de sobrecorriente, estos parámetros fueron determinados de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del fabricante, los módulos telefast poseen su propia protección por lo cual no se ha visto la necesidad de adicionar otro elemento de resguardo.



Figura 5.8 Montaje de Disyuntor, portafusible y borneras en Estación Booster I.

A continuación en la tabla 5.2 se detallan todos los materiales utilizados en la implementación, así como también la cantidad que se ocupó de cada uno de los mismos.

Tabla 5.2. Materiales utilizados en la Estación Booster I.

Materiales utilizados en la Estación Booster I	
No. Señales	130
Metros de Cable AWG-18	455
Metros de Cable AWG-14	10
Conectores tipo pin	260
Borneras	10
Breakers 110VAC/4A	1
Portafusibles	1
Fusibles 2A	1
PLCs	1
Módulos de Entradas digitales	4
Módulos Telefast	8
Cables Telefast	8
Puentes	8
Taípe	1
Metros Riel Din	0,8
Amarras	20
Lib. Marquillas	1
Topes Bornera	6
Cables UTP directo cat. 5/6metros	1

5.3. Implementación del Sistema en la Estación Booster II.

Para implementación del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la estación Booster II, se decidió montar el PLC en el panel SCHORCH número dos, por encontrarse el espacio suficiente para lo equipos y módulos como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9 Panel SCHORCH #2 Parte Frontal Superior Estación Booster II.

En esta estación se colocó un PLC Twido 40DRF, 4 los módulos de entrada y 4 módulos Telefast como se observa en la figura 5.10, el sistema se colocó de la siguiente manera, el PLC Twido esta colocado en la parte frontal superior del panel y a continuación las borneras telefast en el anexo 4.3 se muestra el diagrama exacto de conexión y ubicación del sistema para esta estación.



Figura 5.10 Montaje del PLC Twido y Borneras Telefast en Estación Booster II.

La distancia promedio de los módulos de entradas telefast hacia las señales de monitoreo es de aproximadamente 3,5 metros, el tipo de cable a utilizarse es AWG-18 flexible, para la alimentación de 110VAC que necesita el PLC se utilizó cable flexible AWG-14.

Los elementos de protección utilizados para preservar el autómatas es un conjunto disyuntor-fusible con idénticas características que los utilizados para las estaciones anteriores, donde el disyuntor de 100VAC a 4 Amperios actúa como protección de sobrevoltaje y el fusible de acción rápida de 2 Amperios actúa como protección de sobrecorriente, estos parámetros fueron determinados de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del fabricante, los módulos telefast poseen su propia protección por lo cual no se ha visto la necesidad de adicionar otro elemento de resguardo.

A continuación en la tabla 5.3 se detallan todos los materiales utilizados en la implementación del sistema, así como también la cantidad que se ocupó de cada uno de los mismos.

Tabla 5.3. Materiales utilizados en la Estación Booster II

Materiales utilizados en la Estación Booster II	
No. Señales	130
Metros de Cable AWG-18	455
Metros de Cable AWG-14	10
Conectores tipo pin	260
Borneras	10
Breakers 110VAC/4ª	1
Portafusibles	1
Fusibles 2ª	1
PLCs	1
Módulos de Entradas digitales	4
Módulos Telefast	8
Cables Telefast	8
Puentes	8
Taípe	1
Metros Riel Din	0,8
Amarras	20
Lib. Marquillas	1
Topes Bornera	6
Cables UTP directo cat. 5/6metros	1

5.3. Implementación del Sistema en la Estación Recuperadora.

La implementación en la estación Recuperadora siguió un procedimiento de montaje similar a los anteriormente descritos, se decidió montar el PLC para el sistema de alarmeros, en el panel SCHORCH número tres de esta estación, por encontrarse el espacio suficiente para los equipos y módulos.

En esta estación se colocó un PLC Twido 40DRF, 4 módulos de entrada y 4 módulos Telefast, el sistema se ubicó de la siguiente manera, el PLC Twido está colocado en la parte frontal superior del panel y las borneras telefast están en la parte superior trasera del panel como lo muestran las figuras 5.11 y 5.12, en el anexo 4.4 se muestra el diagrama exacto de conexión y ubicación del sistema para esta estación.

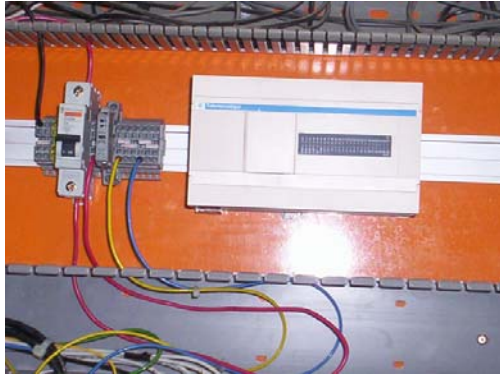


Figura 5.11 Montaje del PLC Twido en Estación Recuperadora.

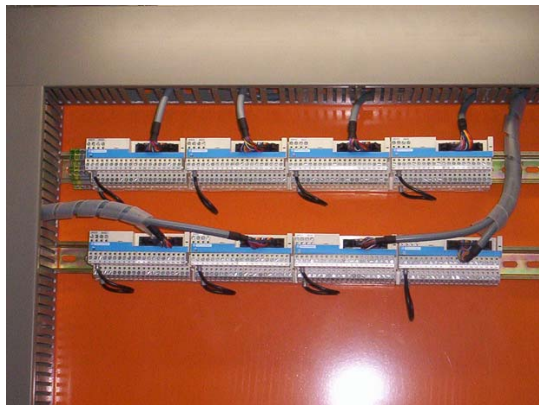


Figura 5.12 Montaje de Borneras Telefast en Estación Recuperadora.

La distancia promedio de los módulos de entradas telefast hacia las señales de monitoreo es de aproximadamente 3,5 metros, el tipo de cable a utilizarse es AWG-18 flexible, para el suministro de 110VAC que necesita el PLC se utilizará cable flexible AWG-14, como se muestra en la figura 5.13.



Figura 5.13 Cableado de señales de alarmas hacia bornera en Estación Recuperadora.

Los elementos de protección que se ha decidido utilizar para preservar el autómatas es un conjunto disyuntor-fusible, donde el disyuntor de 100VAC a 4 Amperios actúa como protección de sobrevoltaje y el fusible de acción rápida de 2 Amperios actúa como protección de sobrecorriente, los módulos telefast poseen su propia protección por lo cual no se ha visto la necesidad de adicionar otro elemento de resguardo.

A continuación en la tabla 5.4 se detallan todos los materiales utilizados en la implementación, así como también la cantidad que se ocupó de cada uno de los mismos.

Tabla 5.4. Materiales utilizados en la Estación Recuperadora

Materiales utilizados en la Estación Recuperadora	
No. Señales	100
Metros de Cable AWG-18	350
Metros de Cable AWG-14	10
Conectores tipo pin	200
Borneras	100
Breakers 110VAC/4A	1
Portafusibles	1
Fusibles 2ª	1
PLCs	1
Módulos de Entradas digitales	4
Módulos Telefast	8
Cables Telefast	8
Puentes	8
Taipe	1
Metros Riel Din	0,8
Amarras	20
Lib. Marquillas	1
Topes Bornera	6
Cables UTP directo cat. 5/6metros	1

5.5. Implementación del Sistema para la Simulación del PLC de Turbina.

Se decidió montar el PLC de simulación Premium 2634M, en el panel SCHORCH número seis y siete de esta estación, por encontrarse el espacio suficiente para los equipos y módulos como se muestra en las figuras 5.14 y 5.15.



Figura 5.14 Panel SCHORCH #6 Parte Frontal Superior Estación Recuperadora



Figura 5.15 Panel SCHORCH #7 Parte Trasera Estación Recuperadora

En esta estación se colocó un PLC Premium 2634 M para montaje en Rack como lo muestra la figura 5.16, los módulos de entrada y módulos Telefast son por el contrario para montaje en riel DIN, el sistema se ubicó de la siguiente manera, el PLC Premium reside en la parte frontal superior del panel SCHORCH seis y las borneras telefast están en la parte posterior del panel siete, en el anexo 4.5 se muestra el diagrama exacto de conexión y ubicación del sistema para esta estación.



Figura 5.16 Montaje del PLC Premium 2634M en la Estación Recuperadora

La distancia promedio de los módulos de entradas telefast hacia las señales de monitoreo es de aproximadamente 3,5 metros, el tipo de cable a utilizarse es AWG-18 flexible, para el suministro de alimentación de 110VAC que necesita el PLC se utilizará cable flexible AWG-14.

Los elementos de protección que se ha decidido utilizar para preservar el autómata es un conjunto disyuntor-fusible, donde el disyuntor de 100VAC a 4 Amperios actúa como protección de sobrevoltaje y el fusible de acción rápida de 2 Amperios actúa como protección de sobrecorriente, estos parámetros fueron determinados de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del fabricante, los módulos telefast poseen su propia protección por lo cual no se ha visto la necesidad de adicionar otro elemento de resguardo.

A continuación en la tabla 5.5 se detallan todos los materiales utilizados en la implementación, así como también la cantidad que se ocupó de cada uno de los mismos.

Tabla 5.5. Materiales utilizados para el sistema de simulación.

Estación Recuperadora PLC de Simulación	
No. Señales	256
Metros de Cable AWG-18	350
Metros de Cable AWG-14	10
Conectores tipo pin	200
Borneras	100
Breakers 110VAC/4A	1
Portafusibles	1
Fusibles 2^a	1
PLCs	1
Rack 12 posiciones	1
Módulos de Entradas digitales	3
Módulos de Salidas digitales	2
Módulos Telefast	20
Cables Telefast	20
Puentes	8
Taípe	1
Amarras	20
Lib. Marquillas	1
Topes Bornera	6
Cables UTP directo cat. 5/6metros	1

Para finalizar cabe mencionar que la lista detallada de todos los implementos usados para el montaje y su costo se encuentran en el anexo 5.

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DE ALARMEROS INTELIGENTES

Una vez implementado el sistema de alarmeros inteligentes es conveniente establecer un protocolo de pruebas de comunicación que consiste en:

1. Verificar la comunicación de cada uno de los PLCs con la red del Sistema. Papallacta Integrado por medio de cada una de sus direcciones IP.
2. Verificar la comunicación entre el autómatas y el panel de operador. Se puede verificar la comunicación entre el autómatas y el panel de operador de manera visual ya que el panel de operador muestra automáticamente un mensaje si no encuentra al PLC dentro de la red, como se muestra en la figura 6.1.



Figura 6.1 Tipo de falla generada en la pantalla de Operador al no encontrar al PLC dentro de la red.

3. Verificar la comunicación entre el autómatas y el sistema SCADA. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status del IO Server MBNET de Wonderware, como se muestra en la figura 6.2, si existe total comunicación con el autómatas el estado del bit de Status deberá ser Good, caso contrario será Failed.

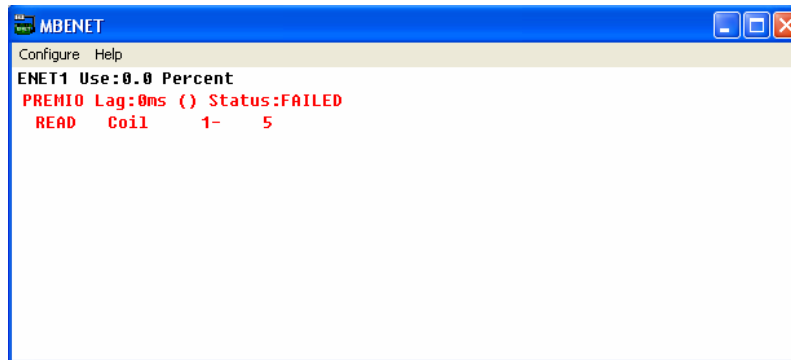


Figura 6.2 Tipo de falla generada en el IO Server del sistema SCADA al no encontrar al PLC dentro de la red.

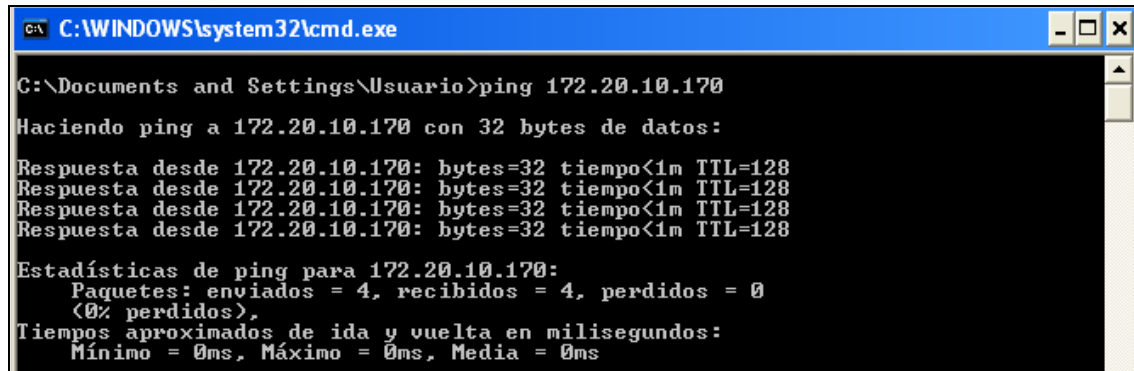
4. Verificar que las señales de alarma de campo correspondan exactamente con lo que se muestra en las pantallas HMI tanto del panel de Operador como en las del Sistema SCADA.
5. Adicionalmente para el PLC de Simulación se procederá a verificar que se cumplan las distintas secuencias previstas para el funcionamiento del Grupo Turbina Generador y ByPass.

6.1. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local

Para la realización de las pruebas con monitoreo local se procedió a seguir los pasos del primero al cuarto descritos en el protocolo de pruebas en cada una de las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado.

6.1.1. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Elevadora

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC de estación realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección del autómatas la cual es 172.20.10.170 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.3.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.170
Haciendo ping a 172.20.10.170 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 172.20.10.170:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (<0% perdidos).
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Figura 6.3. Comunicación del PLC de la Estación Elevadora mediante monitoreo Local.

Es importante notar que en modo local existe un retardo mínimo en la comunicación, menor que un milisegundo lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema y de la red.

2. Se puede verificar la comunicación entre el autómatas y el panel de operador de la estación Elevadora por medio de una inspección visual ya que el panel de operador no muestra mensajes de falla de comunicación con el autómatas con lo cual se puede asumir que si existe comunicación entre ambos.
3. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status del IO Server de Wonderware que es el encargado de establecer la comunicación con el PLC y como se muestra en la figura 6.4, si existe total comunicación con el autómatas ya que el estado del bit de Status es Good.

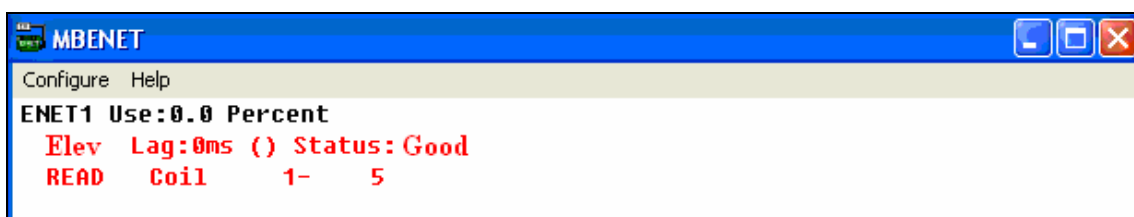


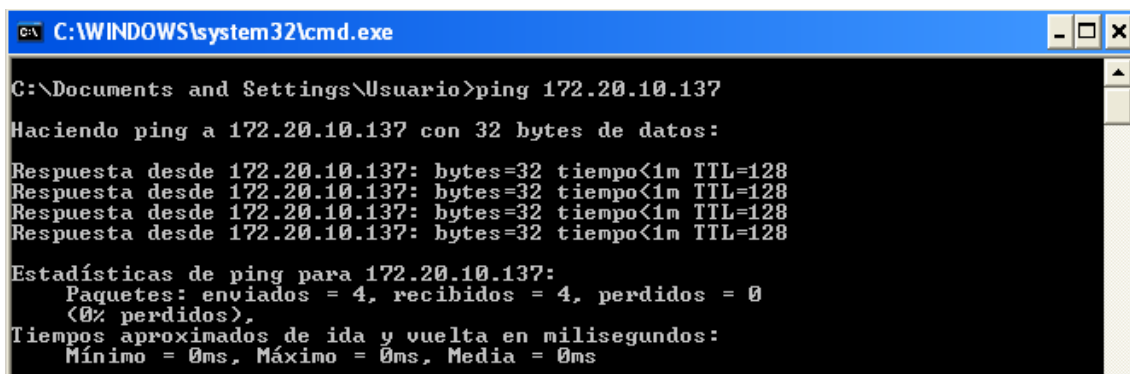
Figura 6.4 Comunicación del PLC de la Estación Elevadora con el sistema SCADA mediante monitoreo Local.

4. Se realizó una inspección de campo en la estación Elevadora, comprobando que el estado de las señales correspondan exactamente con el nivel lógico (alto o bajo) para el disparo de las señales de alarma y se comprobó que las señales de alarma

corresponden exactamente con las señales que se observan en las HMI tanto del panel de operador como del sistema SCADA.

6.1.2. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Booster I

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC de estación realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección del autómeta que en este caso es 172.20.10.137 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.5.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.137
Haciendo ping a 172.20.10.137 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.10.137: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.137: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.137: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.137: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 172.20.10.137:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Figura 6.5. Comunicación del PLC de la Estación Booster I mediante monitoreo Local.

Es importante notar que en modo local existe un retardo de comunicación menor que un milisegundo lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema.

2. Se puede verificar la comunicación entre el autómeta y el panel de operador de la estación Booster I por medio de una inspección visual ya que el panel de operador no muestra mensajes de falla de comunicación con el autómeta con lo cual podemos asumir que si existe comunicación entre ambos.
3. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status de comunicación que se lo puede observar claramente en el IOserver de Wonderware y como se muestra en la figura 6.6, si existe total comunicación con el autómeta ya que el estado de este bit es Good.

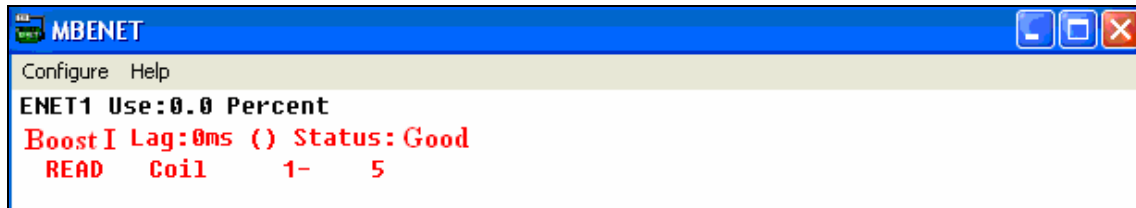


Figura 6.6 Comunicación del PLC de la Estación Booster I con el sistema SCADA mediante monitoreo Local.

4. Se realizó una inspección de campo en la estación comprobando que el estado de las señales correspondan exactamente con el nivel lógico (alto o bajo) para el disparo de las señales de alarma y se comprobó, que las señales de alarma corresponden exactamente con las señales que se observan en las HMI tanto del panel de operador como del sistema SCADA.

6.1.3. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Booster II

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC de estación realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección del autómatas la cual es 172.20.10.128 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.7.

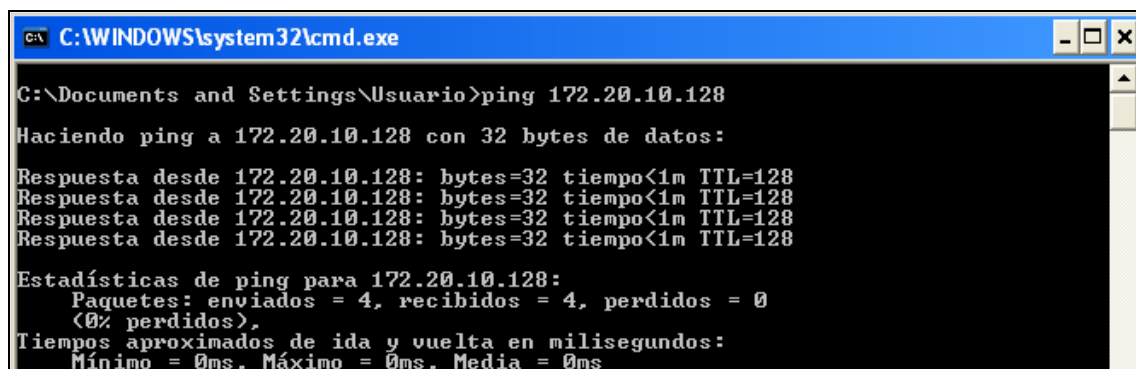


Figura 6.7. Comunicación del PLC de la Estación Booster II mediante monitoreo Local.

Es importante notar que en modo local existe un retardo máximo de comunicación en el orden de los milisegundos lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema.

2. Se puede verificar la comunicación entre el autómatas y el panel de operador de la estación Booster II por medio de una inspección visual ya que el panel de operador

no muestra mensajes de falla de comunicación con el autómata con lo cual podemos asumir que si existe comunicación entre ambos.

3. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status que se lo puede observar claramente en el IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.8, si existe total comunicación con el autómata es estado del bit de Status deberá ser Good.

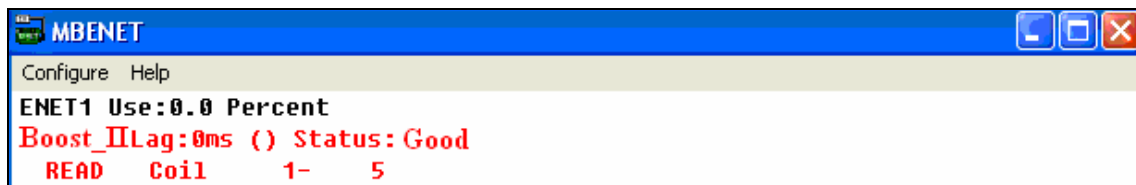
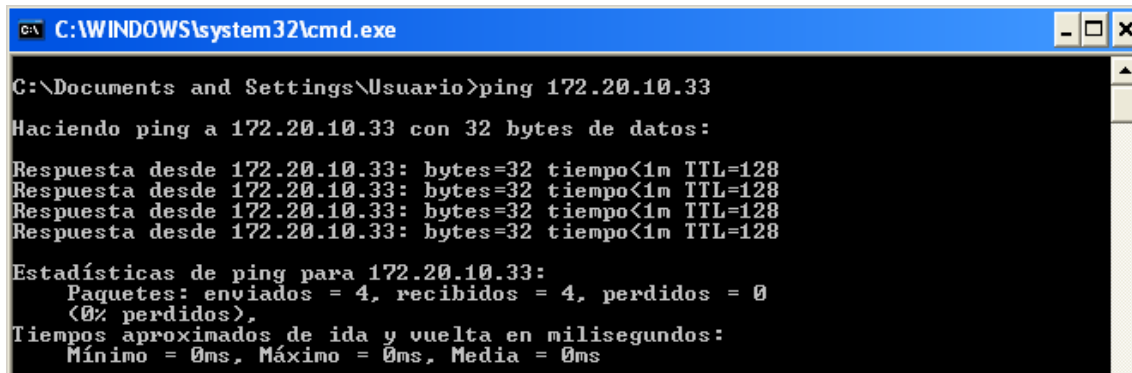


Figura 6.8 Comunicación del PLC de la Estación Booster II con el sistema SCADA mediante monitoreo Local.

4. Se realizó una inspección de campo en la estación comprobando que el estado de las señales correspondan exactamente con el nivel lógico (alto o bajo) para el disparo de las señales de alarma y se comprobó que las señales de alarma corresponden exactamente con las señales que se observan en las HMI tanto del panel de operador como del sistema SCADA.

6.1.4. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local Estación Recuperadora

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC de estación realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección del autómata la cual es 172.20.10.33 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.9.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.33
Haciendo ping a 172.20.10.33 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.10.33: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.33: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.33: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.33: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Estadísticas de ping para 172.20.10.33:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Figura 6.9 Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora mediante monitoreo Local.

Es importante notar que en modo local existe un retardo máximo de comunicación en el orden de los milisegundos lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema.

2. Se puede verificar la comunicación entre el autómata y el panel de operador de la estación Recuperadora por medio de una inspección visual ya que el panel de operador no muestra mensajes de falla de comunicación con el autómata con lo cual podemos asumir que si existe comunicación entre ambos.
3. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status que se lo puede observar claramente en el IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.10, si existe total comunicación con el autómata es estado del bit de Status deberá ser Good.

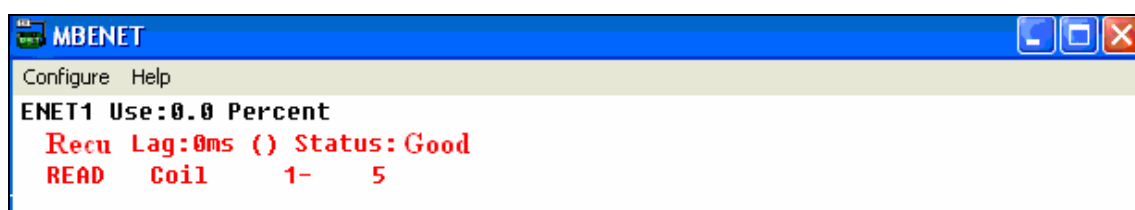


Figura 6.10 Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora con el sistema SCADA mediante monitoreo Local.

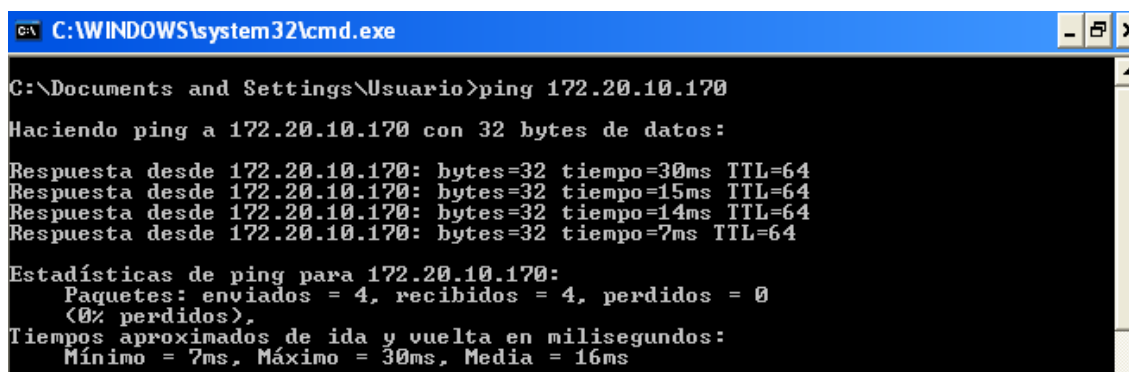
4. Se realizó una inspección de campo en la estación comprobando que el estado de las señales correspondan exactamente con el nivel lógico (alto o bajo) para el disparo de las señales de alarma y se comprobó que las señales de alarma corresponden exactamente con las señales que se observan en las HMI tanto del panel de operador como del sistema SCADA.

6.2. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto

Para la realización de las pruebas con monitoreo remoto se procedió a comprobar la comunicación con cada uno de los autómatas desde la Planta de Bellavista en Quito, para lo cual se siguieron los pasos primero y cuarto descritos en el protocolo de pruebas en cada una de las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado, se obvia hacer el procedimiento segundo y tercero puesto que en la Planta de Bellavista no se cuenta con pantallas táctiles de Operador y debido a que anteriormente ya se verificó la correspondencia de las señales de campo.

6.2.1. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Elevadora

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC maestra de Bellavista en la ciudad de Quito, realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección IP del autómata la cual es 172.20.10.170 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.11.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.170
Haciendo ping a 172.20.10.170 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo=30ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo=15ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo=14ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.170: bytes=32 tiempo=7ms TTL=64
Estadísticas de ping para 172.20.10.170:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 7ms, Máximo = 30ms, Media = 16ms
```

Figura 6.11. Comunicación del PLC de la Estación Elevadora mediante monitoreo Remoto.

Es importante notar que en modo remoto existe un retardo promedio de comunicación esta en el orden de los 16 milisegundos lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema.

2. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status que se lo puede observar claramente en el IO Server de

Wonderware y como se muestra en la figura 6.12, si existe total comunicación con el autómatas ya que el estado del bit de Status es Good.

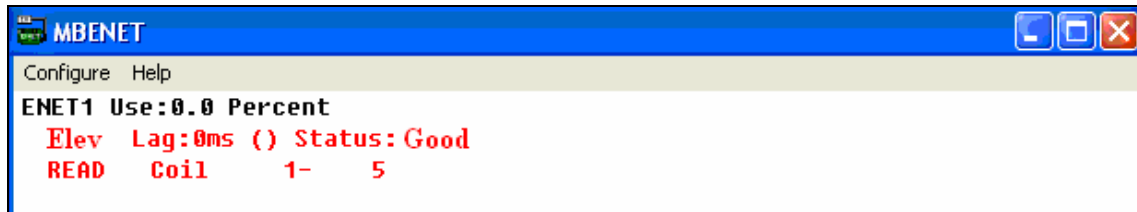


Figura 6.12 Comunicación del PLC de la Estación Elevadora con el sistema SCADA mediante monitoreo Remoto.

6.2.2. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Booster I

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC maestra de Bellavista en la ciudad de Quito, realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección IP del autómatas la cual es 172.20.10.137 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.13.

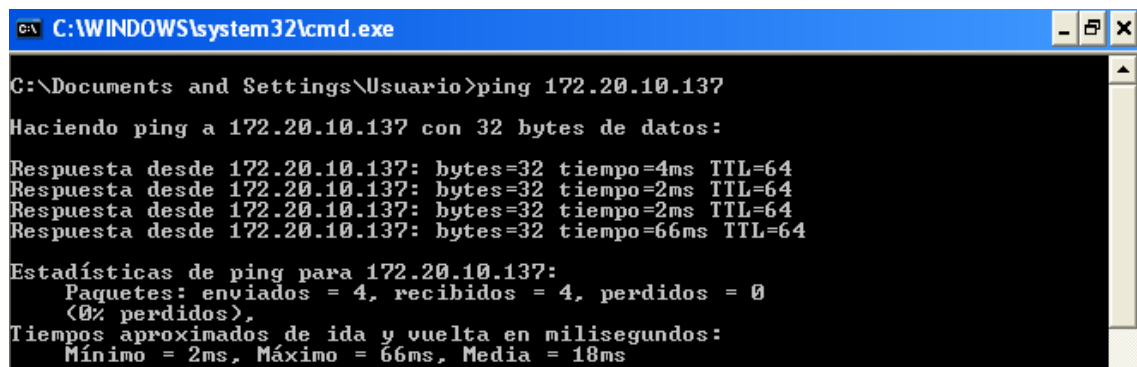


Figura 6.13. Comunicación del PLC de la Estación Booster I mediante monitoreo Remoto.

Es importante notar que en modo remoto existe un retardo promedio de comunicación en el orden de los 18 milisegundos lo cual garantiza la rapidez y eficiencia en la entrega de datos por parte del sistema.

2. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status que se lo puede observar claramente en el IO Server de

Wonderware y como se muestra en la figura 6.14, si existe total comunicación con el autómatas debido a que el estado del bit de Status es Good.

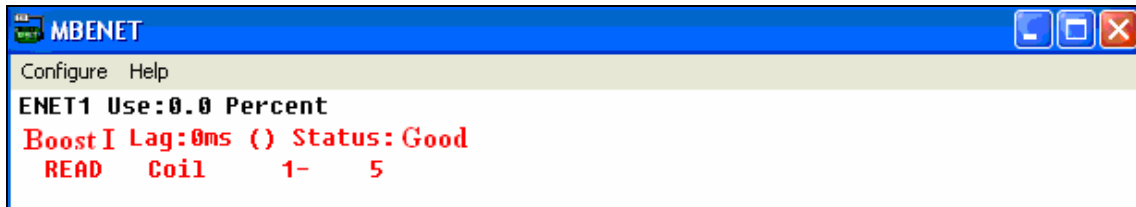


Figura 6.14 Comunicación del PLC de la Estación Booster I con el sistema SCADA mediante monitoreo Remoto.

6.2.3. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Booster II

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC maestra de Bellavista en la ciudad de Quito, realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección IP del autómatas la cual es 172.20.10.128 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.15.

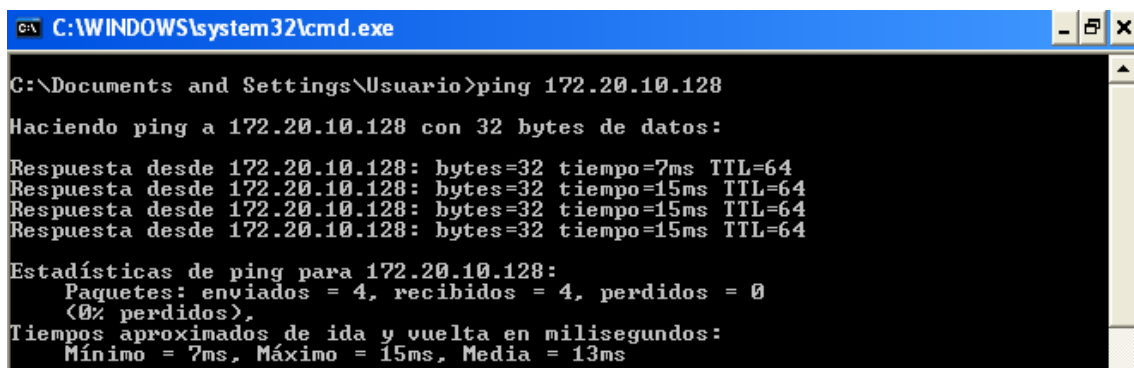


Figura 6.15. Comunicación del PLC de la Estación Booster II mediante monitoreo Remoto.

Es importante notar que en modo remoto existe un retardo máximo de 15 milisegundos en la comunicación con lo cual se garantiza la rapidez y eficiencia del sistema a la hora de notificar una señal de alarma.

2. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status del IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.16, si existe total comunicación con el autómata ya que el estado del bit de Status es Good.

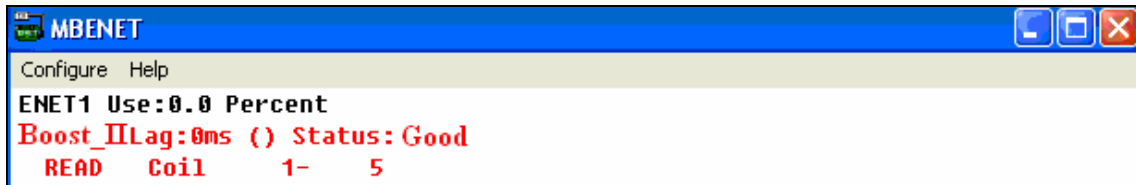


Figura 6.16 Comunicación del PLC de la Estación Booster II con el sistema SCADA mediante monitoreo Remoto.

6.2.4. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto Estación Recuperadora

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta integrado a través de la PC maestra de Bellavista en la ciudad de Quito, realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección IP del autómata la cual es 172.20.10.33, dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.17.

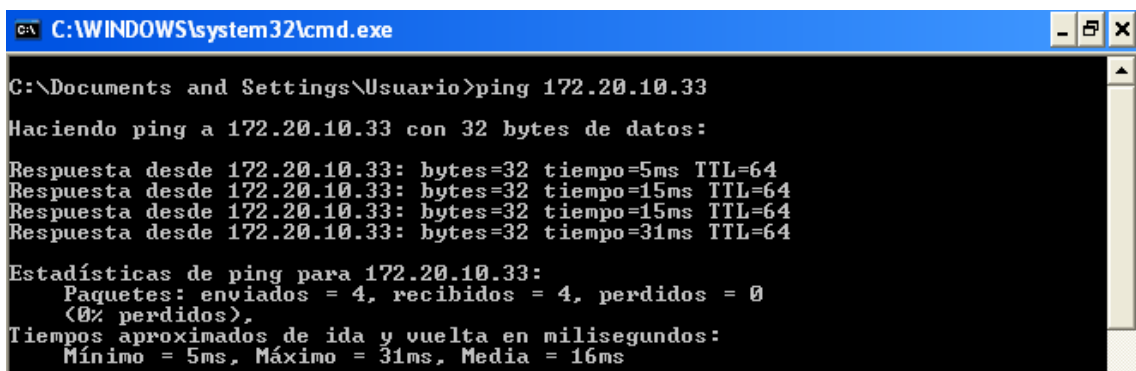


Figura 6.17. Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora mediante monitoreo Remoto.

Es importante notar que en modo remoto existe un retardo máximo 31 milisegundos en la comunicación lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema a la hora de notificar las señales de alarma.

2. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status, que se lo puede observar claramente en el IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.18, si existe total comunicación con el autómatas debido a que el estado del bit de Status es Good.

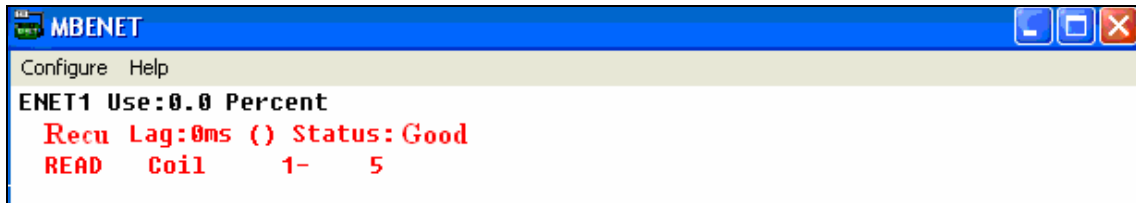


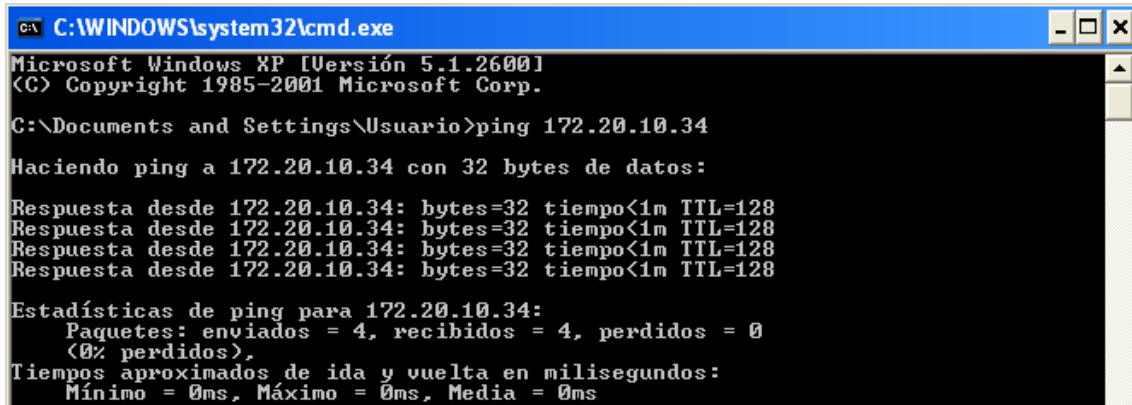
Figura 6.18 Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora con el sistema SCADA mediante monitoreo Remoto.

6.3. Pruebas y Resultados de la Simulación en el Grupo Turbina- Generador y ByPASS

Además de verificar los parámetros antes descritos para monitoreo local y remoto en este PLC de simulación es importante verificar que se cumplan las secuencias de operación del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora.

6.3.1. Pruebas y Resultados con Monitoreo Local del PLC de Máquina

1. Se verificó la comunicación con del PLC de simulación con la red del Sistema Papallacta integrado a través de la PC de estación realizando un comando ping desde la misma apuntando a la dirección del autómatas la cual es 172.20.10.34 dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.19.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Versión 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.34

Haciendo ping a 172.20.10.34 con 32 bytes de datos:

Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo<1m TTL=128

Estadísticas de ping para 172.20.10.34:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
  
```

Figura 6.19. Comunicación del PLC de Simulación mediante monitoreo Local.

Es importante notar que en modo local existe un retardo máximo de comunicación menor que un milisegundo, lo cual garantiza la rapidez y eficiencia en el monitoreo de las señales.

2. Se puede verificar la comunicación entre el autómatas y el panel de operador de la estación Recuperadora, por medio de una inspección visual ya que el panel de operador no muestra mensajes de falla de comunicación con el autómatas, con lo cual podemos asumir que si existe comunicación total entre ambos.
3. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status del IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.20, si existe total comunicación con el autómatas ya que el estado del bit de Status es Good.

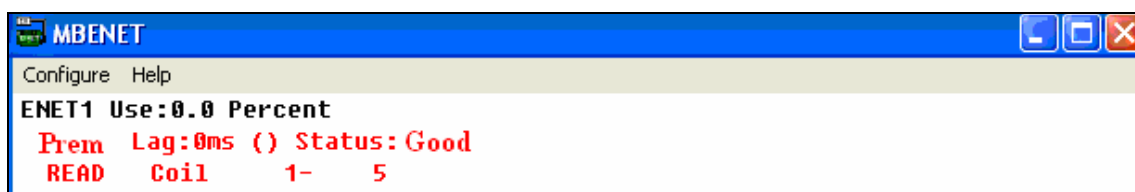
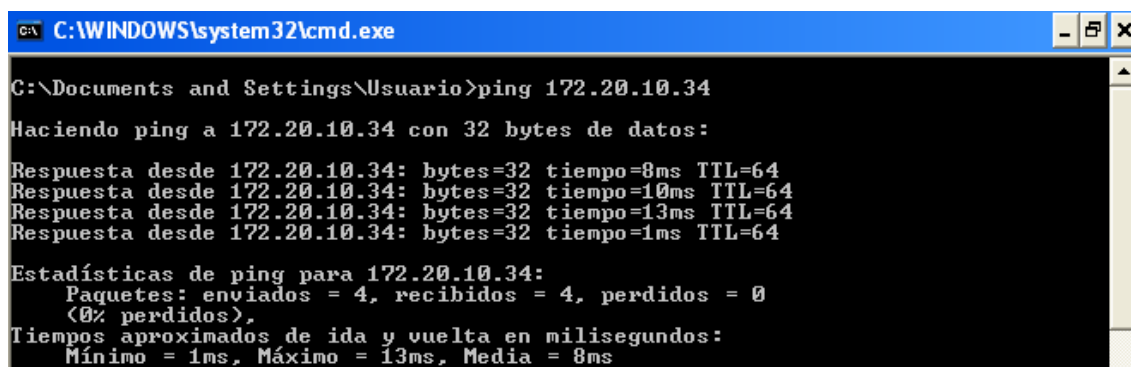


Figura 6.20. Comunicación del PLC de Simulación con el sistema SCADA mediante monitoreo Local.

4. Se realizó una inspección de campo en la estación comprobando que el estado de las señales correspondan exactamente con el nivel lógico (alto o bajo) para las distintas señales que gestiona el PLC de máquina y se comprobó que las señales del PLC de Máquina corresponden exactamente con las señales que se observan en las HMI tanto del panel de operador como del sistema SCADA.

6.3.2. Pruebas y Resultados con Monitoreo Remoto del PLC de Máquina

1. Se verificó la comunicación del PLC de estación con la red del Sistema Papallacta Integrado a través de la PC maestra de Bellavista en la ciudad de Quito, realizando un comando ping desde la misma, apuntando a la dirección del autómatas la cual es 172.20.10.34, dicho comando arrojó los resultados que se muestran en la figura 6.21.

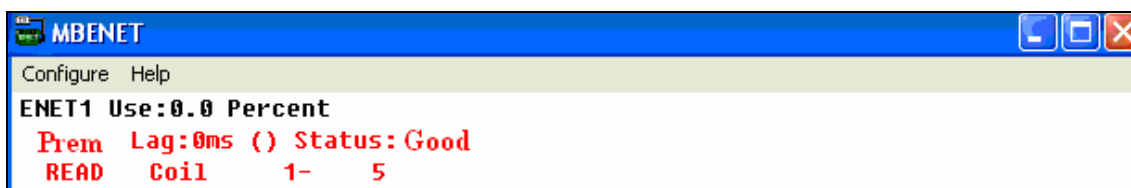


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings\Usuario>ping 172.20.10.34
Haciendo ping a 172.20.10.34 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo=8ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo=10ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo=13ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.10.34: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Estadísticas de ping para 172.20.10.34:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 13ms, Media = 8ms
```

Figura 6.21. Comunicación del PLC de Simulación mediante monitoreo Remoto

Es importante notar que en modo remoto existe un retardo promedio de comunicación de 8 milisegundos con lo cual garantiza la rapidez y eficiencia del sistema.

2. Para verificar la comunicación con el sistema SCADA es necesario verificar el estado del bit de Status que se lo puede observar claramente en el IO Server de Wonderware y como se muestra en la figura 6.22 existe total comunicación con el autómatas ya que el estado del bit de Status es Good.



```
MBENET
Configure Help
ENET1 Use: 0.0 Percent
Prem Lag: 0ms () Status: Good
READ  Coil    1-    5
```

Figura 6.22 Comunicación del PLC de Simulación con el sistema SCADA mediante monitoreo Remoto.

6.3.3. Comprobación de las secuencias de operación del PLC de máquina

Las pruebas de extracción y comprobación de las secuencias de trabajo del PLC de máquina, comenzaron en el mes de Diciembre del año 2006 y duraron hasta el mes de Abril del año 2007, se logró extraer el programa original del PLC SAIA&LANDIS por medio del programa PCA versión 1.2. A continuación se muestra la interfaz de programación del PLC SAIA&LANDIS modelo PCA M32, ver figuras 6.23 y 6.24.



Figura 6.23. Programa PCA para programación de PLCs SAIA.

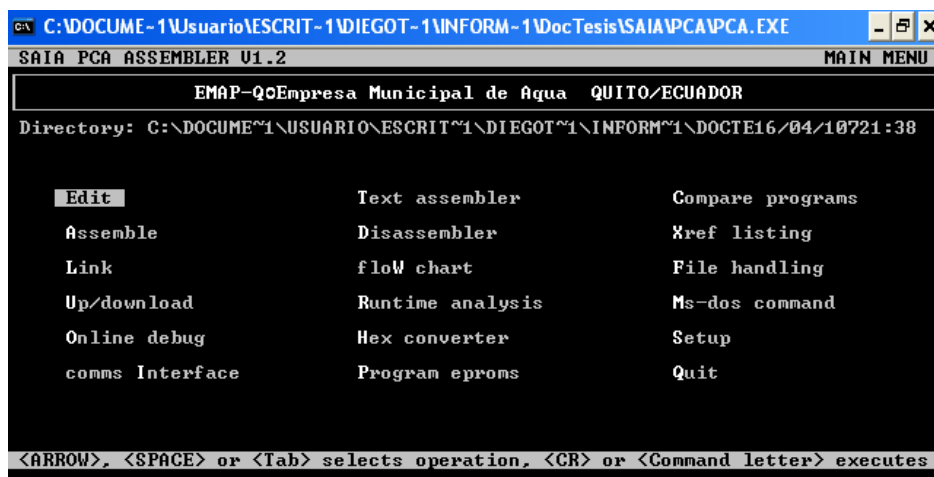


Figura 6.24. Entorno de Programación para PLCs SAIA.

El lenguaje utilizado para programar este PLC es lista de instrucciones y como se puede observar el entorno de programación es muy antiguo, esta basado en el sistema operativo MS-DOS.

Una vez analizadas y comparadas las secuencias de operación tanto del programa del PLC SAIA como la secuencia en los diagramas de flujo, se procedió a programar el PLC Premium 2634M, con las posibles secuencias de operación del PLC de máquina en lenguajes mucho más modernos como son Grafcet, Ladder y FBD, teniendo la ventaja actual de contar con una plataforma de programación como Unity Pro que posee un simulador de PLC, el cual permitió un desarrollo interactivo del programa para el PLC de máquina, así como también la depuración y corrección de las secuencias de operación del autómata.

Hasta la presente fecha se ha verificado con excelentes resultados el programa del PLC de simulación, ya que se ha constatado que este cumple a cabalidad las secuencias del PLC de máquina, correspondientes a los procesos de:

1. Arranque de Turbina.
2. Regulación de caudal de ingreso a la Turbina.
3. Parada Normal.
4. Control del ByPass.
5. Operación en modo de Prueba

Los procesos correspondientes a la parada del sistema debido a fallas no se han podido comprobar hasta el momento debido a la peligrosidad de generar una falsa señal que provoque una parada de la estación debido a fallas eléctricas, mecánicas o debido a una falla del Governor, es por esta razón que dichas secuencias no se las a verificado aún, de la operación en modo de test no se posee ningún diagrama de flujo, pero se logró determinar que equipos se pueden comandar mediante esta operación y en base a ello se logro programar la parte correspondiente.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones sobre el Sistema de Alarmeros

1. Se concluyó satisfactoriamente la implementación del sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estaciones Elevadora, Booster I, Booster II y Recuperadora del Sistema Papallacta Integrado.
2. El sistema de Alarmeros Inteligentes ha demostrado ser un sistema eficiente, seguro y confiable.
3. La velocidad de reacción, ante una señal de alarma por parte del Sistema de Alarmeros Inteligentes, en modo de monitoreo local, ha resultado ser menor a 1 milisegundo, con lo cual se garantiza un aviso oportuno de señales anómalas, al operador de cada una de las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado.
4. La velocidad de reacción, ante una señal de alarma por parte del Sistema de Alarmeros Inteligentes, en modo de monitoreo remoto, ha resultado ser menor a 100 milisegundo, lo cual resulta muy eficiente a la hora tomar datos y llevar registros históricos por parte del sistema SCADA de la EMAAP-Q.
5. El sistema de Alarmeros Inteligentes ha mejorado notablemente la interacción del operador de Estación con la Planta y el Proceso, ya que ahora el operador puede distinguir con precisión parámetros como la hora exacta en la que se produjo una alarma, el tiempo de duración de la misma y la frecuencia con la que ocurre.
6. El sistema de Alarmeros Inteligentes al llevar un registro histórico de las alarmas accionadas, ha de ayudar al personal de mantenimiento del Sistema Papallacta Integrado, en tareas como mantenimiento preventivo y correctivo de equipos como bombas, protecciones, filtros y demás.

7. El sistema de Alarmeros Inteligentes se ha acoplado satisfactoriamente al sistema SCADA de la EMAAP-Q, sin que se haya registrado algún inconveniente con el mismo, el sistema de alarmeros tiene la capacidad de ser consultado, sobre el estado de las Estaciones del Sistema Papallacta Integrado desde cualquier punto de su red.

7.2 Conclusiones sobre el PLC de Simulación.

1. Se concluyó satisfactoriamente la implementación de un PLC de pruebas que simulará el comportamiento del PLC de máquina que actualmente gobierna la Turbina y el Bypass de la Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía.
2. Se ha llegado a obtener y comprobar las secuencias de Arranque de Turbina, Generación, Parada Normal, Operación del ByPass y Modo de Prueba correspondientes al PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora de Energía de la EMAAP-Q.
3. No se han podido comprobar, pero se han logrado obtener las secuencias correspondientes a los Paros de la Turbina debido a Falla Mecánica, Eléctrica y del Governor, no se las ha comprobado debido a la peligrosidad de someter a un riesgo innecesario al Grupo Turbina-Generador.
4. El sistema de Simulación ha mejorado notablemente la interacción del operador de Estación, con la Planta y el Proceso, ya que ahora el operador puede distinguir con precisión todos los parámetros concernientes al funcionamiento de Grupo Turbina Generador y Bypass de la Central Hidroeléctrica Recuperadora, parámetros que antes era imposible monitorear como por ejemplo señales de electroválvulas, estado de bombas hidráulicas, modos de operación así como también hora exacta en la que se activaron, el tiempo de duración de las mismas y la frecuencia con la que ocurren.
5. El sistema de simulación al llevar un registro histórico de las señales accionadas ha de ayudar al personal de mantenimiento del Sistema Papallacta Integrado, en tareas como mantenimiento preventivo y correctivo de equipos concernientes al funcionamiento de Grupo Turbina Generador y Bypass de la Central Hidroeléctrica Recuperadora

7.3 Recomendaciones

1. Se recomendable hacer una inspección periódica de los elementos de protección del Sistema de Alarmeros Inteligentes, como son disyuntores y fusibles, para evitar perdida de datos o mal funcionamiento del sistema.
2. Se recomienda hacer un mantenimiento por lo menos cada tres meses del sistema de alarmeros, en el cual se verificaran el estado del PLC, módulos de expansión y borneras Telefast, así como también el estado del cableado.
3. Al ser el sistema de Alarmeros Inteligentes un sistema soportado por una red TCP/IP se recomienda tener especial cuidado en la cantidad de tráfico que circulará por la red, ya que un manejo inadecuado del tráfico puede desembocar en retardos excesivos de las comunicaciones produciéndose de tal forma, un retardo en la presentación de la información de alarmas por parte del sistema.
4. Se recomienda realizar un mantenimiento frecuente de la red de Telecomunicaciones del Sistema Papallacta Integrado para evitar fallas de comunicación que luego desencadenen en un mal funcionamiento del Sistema de Alarmeros.
5. Con respecto al PLC de simulación se recomienda realizar la mayor cantidad de pruebas posibles, para ir evaluando, depurando y descartando, las secuencias de operación del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora que aún no se las ha podido comprobar.

BIBLIOGRAFÍA

- BALCELLS, Josep, *Autómatas Programables*, Marcombo, Barcelona 1997.
- EMAAP-Q, *Presentación del Sistema Papallacta Integrado Agua e Hidroelectricidad*, Quito 2005.
- VILLAGOMEZ, Antonio, “Informe del Sistema Papallacta Integrado”, Enero 2006.
- CONSORCIO SCHORCH SULZER THYSEN, *ANEXO Proyecto Papallacta*, Quito 18 de Mayo 1989.
- SULZER, “Informe Técnico sobre la revisión de mantenimiento mayor realizada en Julio-99 en la turbina-alternador de la Central Hidroeléctrica de Papallacta, propiedad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Quito-Ecuador”, Julio de 1999.
- EMAAP-Q, “Curso de Capacitación sobre el Sistema Papallacta Integrado”, Capítulo 3, Quito 1995.
- UNIVERSIDAD DE OVIEDO INGENIERÍA DE AUTOMÁTICA Y SISTEMAS, *Autómatas Programables Visión General*, www.isa.uniovi.es/~idiaz/SA/Teoria/SA.Tema1.pdf , 17 Febrero 2007.
- SCHNEIDER ELECTRIC S.A, *Manual Electrotécnico Telesquemario Telemecanique*, España 1999.

- Pantallas Táctiles, <http://www.tec-mex.com.mx/touchscreen/touch.htm>, 18 de Febrero 2007.
- Tecnologías de Pantallas Táctiles, <http://www.ecojoven.com/dos/05/tactil.html>, 18 de Febrero 2007.
- CHACÓN, Alex, “Paneles de Operador Apuntes de Clase Informática Industrial”, ESPE 2006.
- CHACÓN, Alex, “Sistemas SCADA Apuntes de Clase Informática Industrial”, ESPE 2006.
- SCHORCH GMBH, *Funcional Estación Elevadora*, Enero 1990.
- SCHORCH GMBH, *Funcional Estación Booster I*, Enero 1990.
- SCHORCH GMBH, *Funcional Estación Booster II*, Enero 1990.
- SCHORCH GMBH, *Funcional Estación Recuperadora*, Enero 1990.
- SCHNEIDER ELECTRIC S.A, *Ayuda del Software TwidoSoft V3.2*, 2002-2005.
- SCHNEIDER ELECTRIC S.A, *Ayuda del Software Unity Pro XL V2.3*, 2006.
- SCHNEIDER ELECTRIC S.A., *Ayuda del Software Vijeo Designer*, 2006.
- WONDERWARE CORPORATION, *Intouch Guía de Usuario*, Enero 1997.

ANEXO 1

- 1.1 Programa PLC Twido**
- 1.2 Programa PLC Premium**

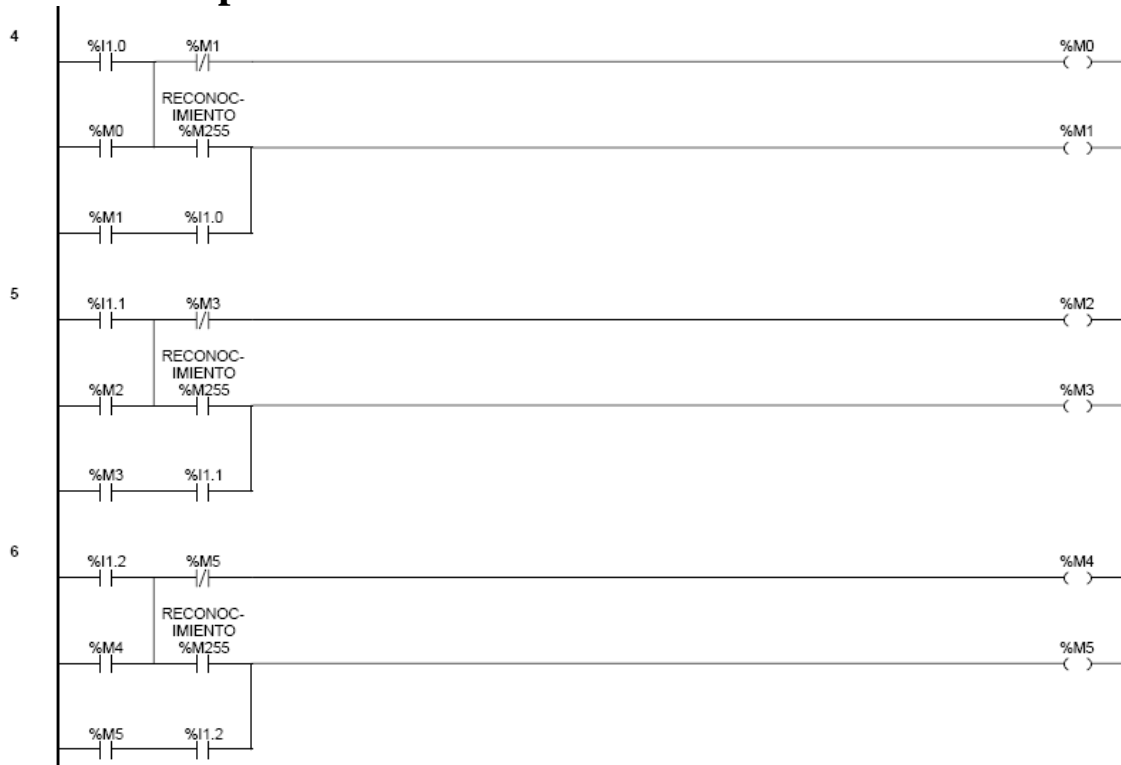
Ladder Diagram

Pulsadores



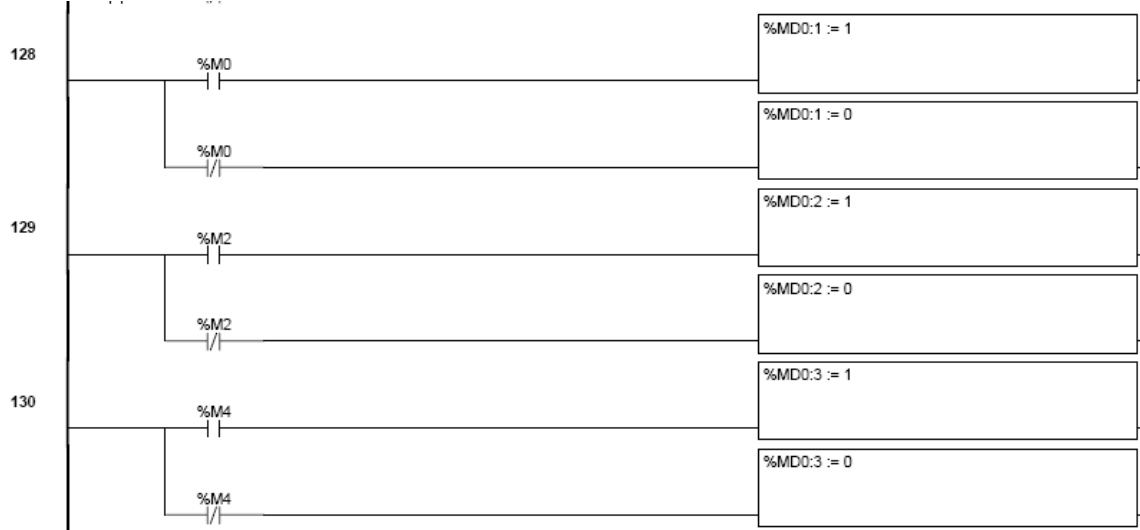
Ladder Diagram

Señales Campo



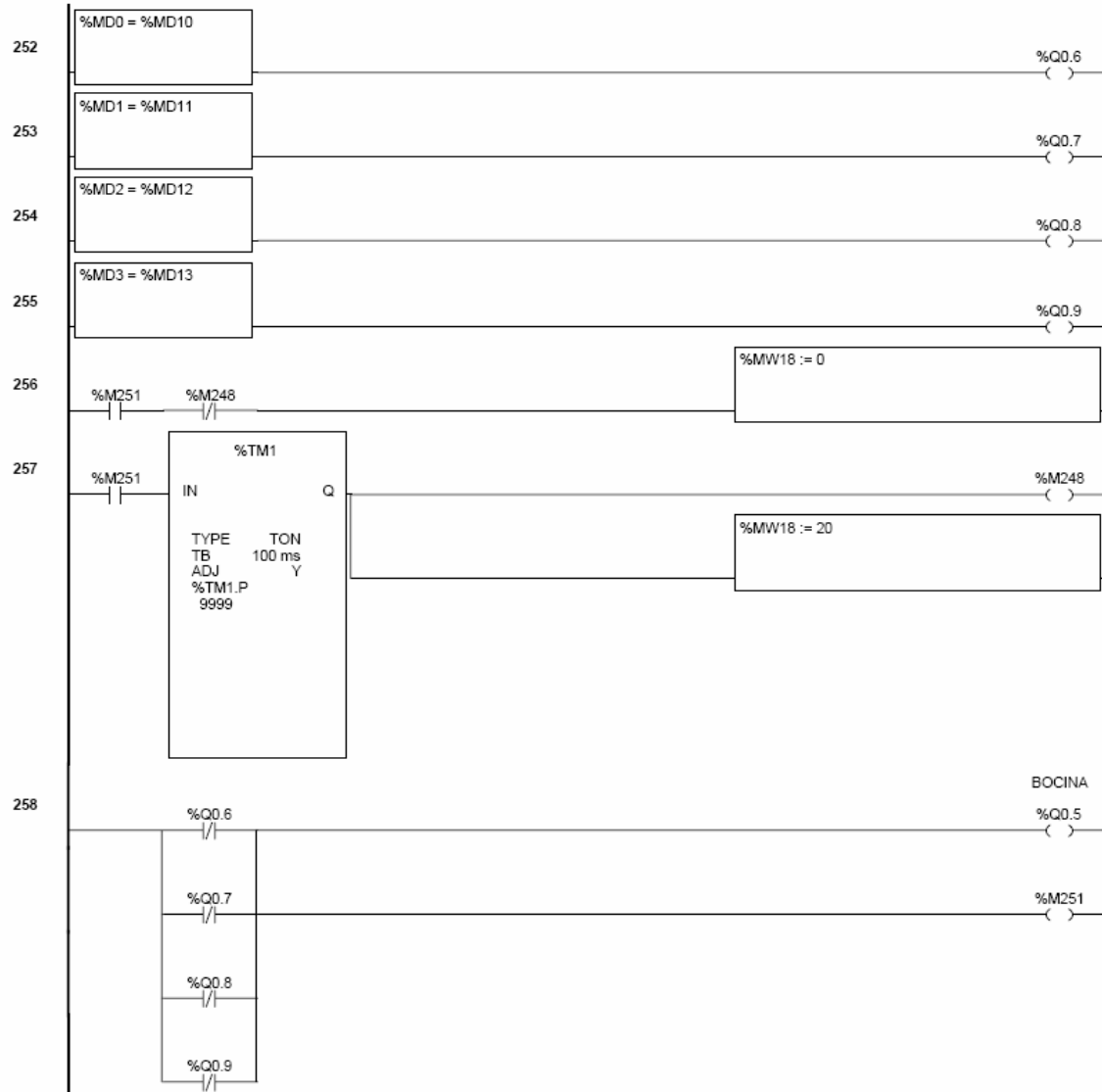
Ladder Diagram

Pre-Alarmas_Memoria



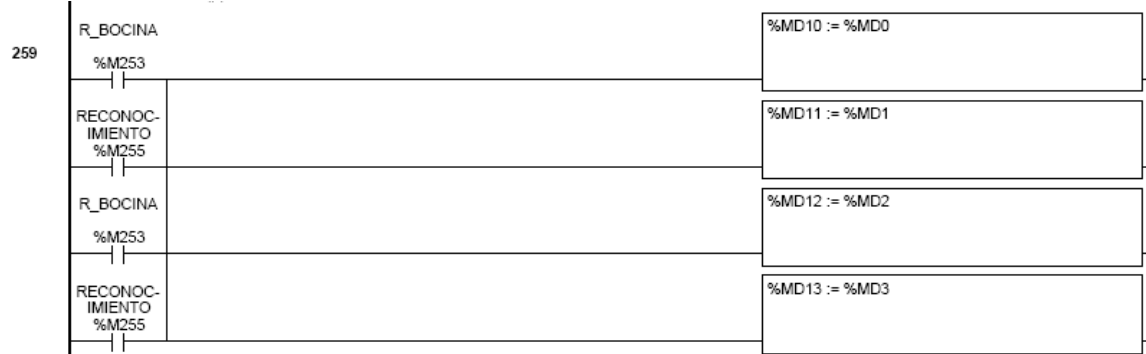
Ladder Diagram

Comparacion



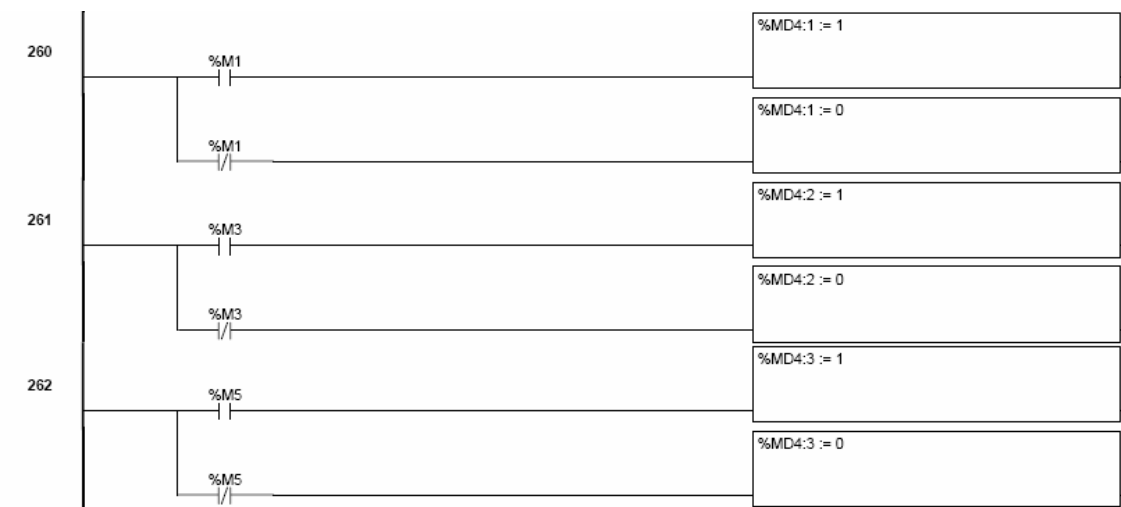
Ladder Diagram

Reconocimiento_Alarma



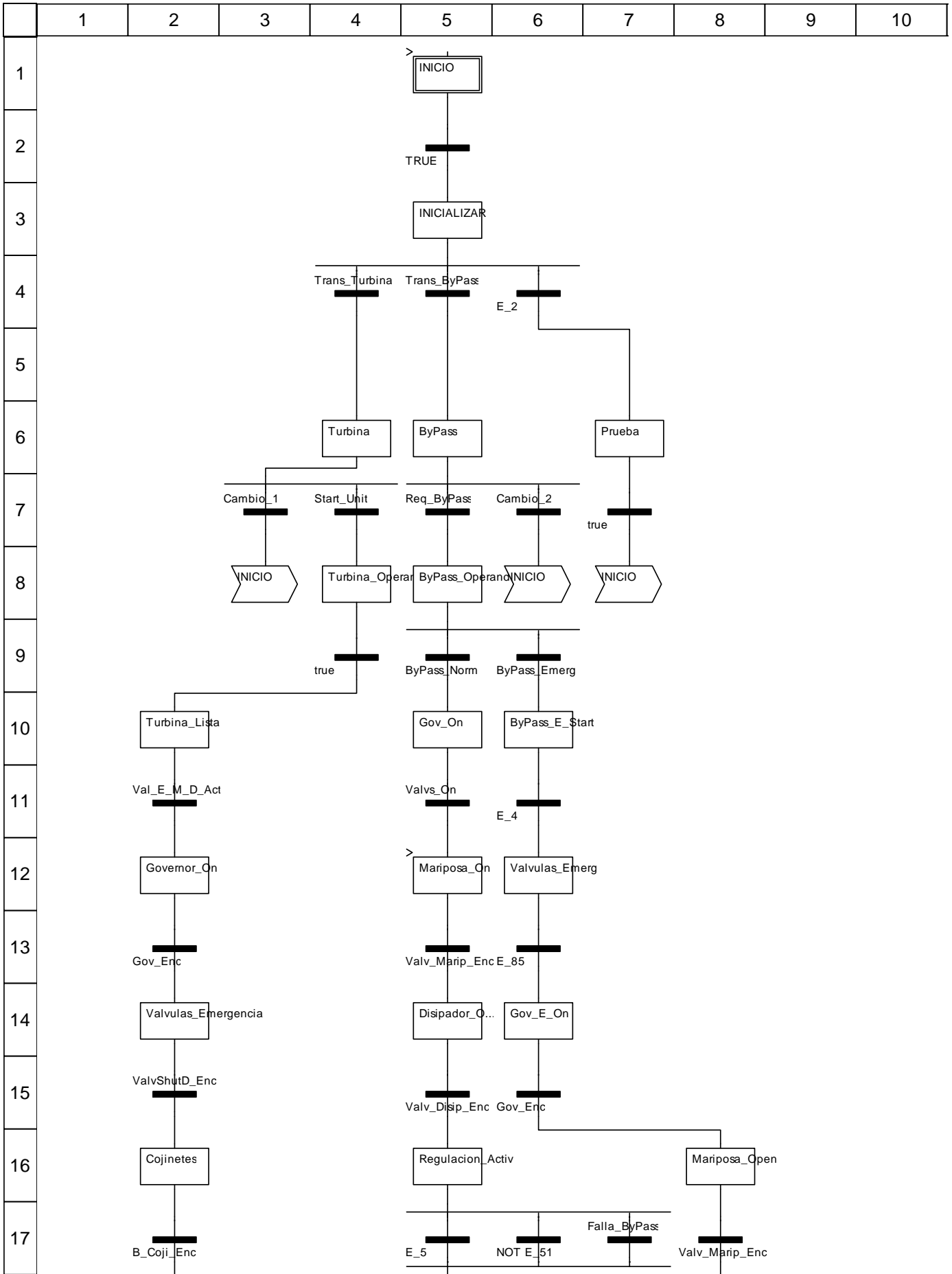
Ladder Diagram

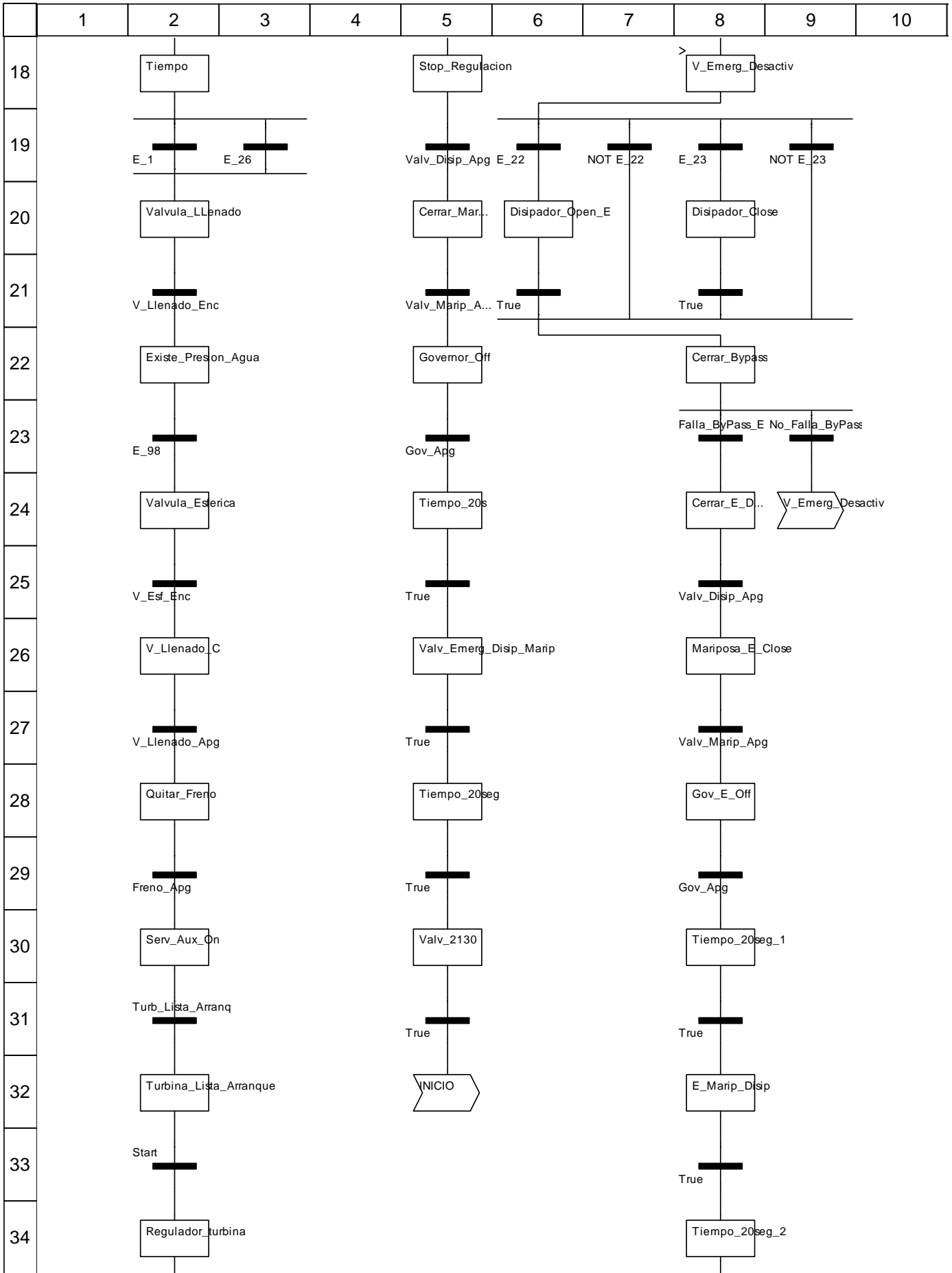
Alarma_Memoria



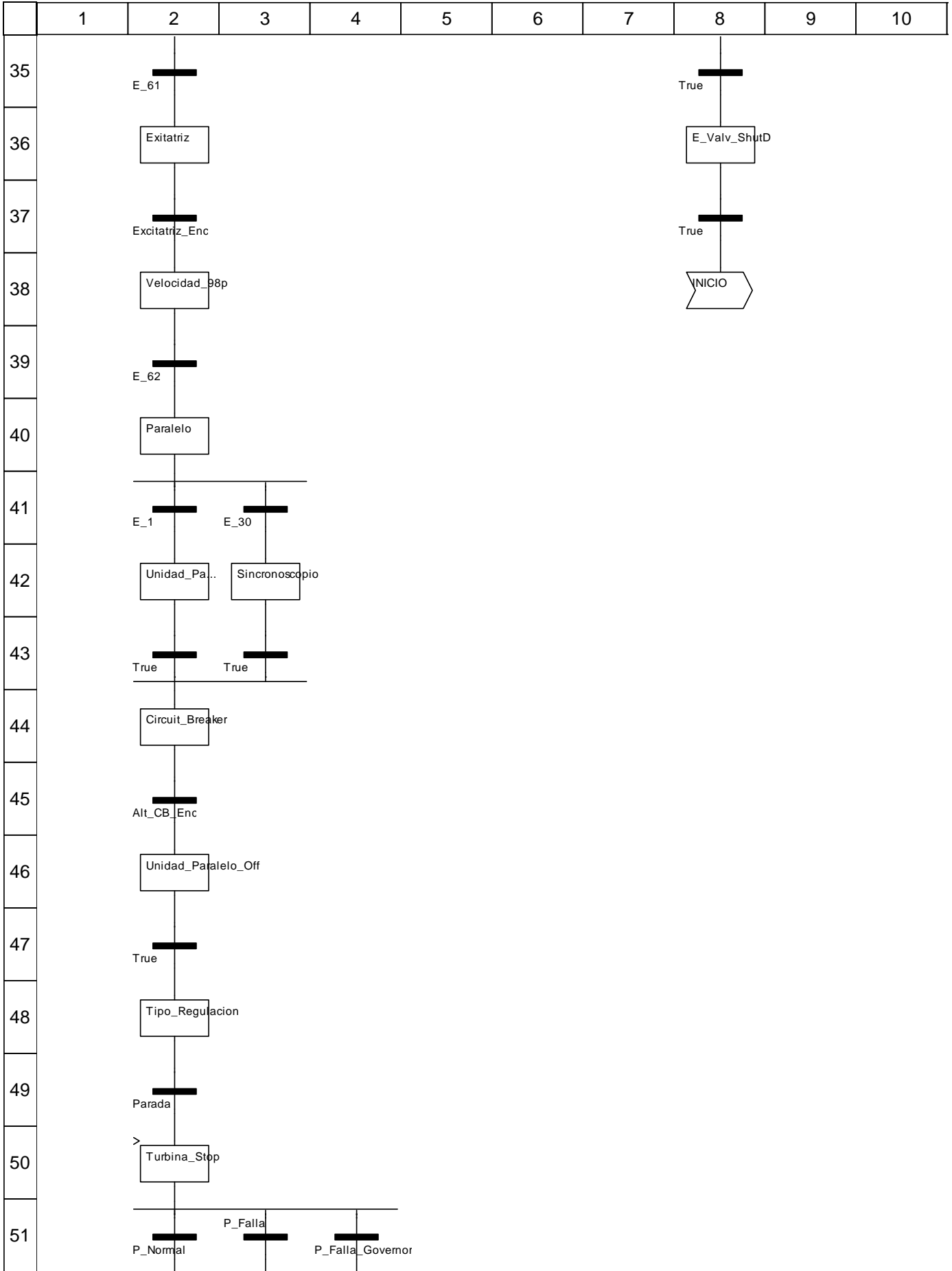
ANEXO 1.2

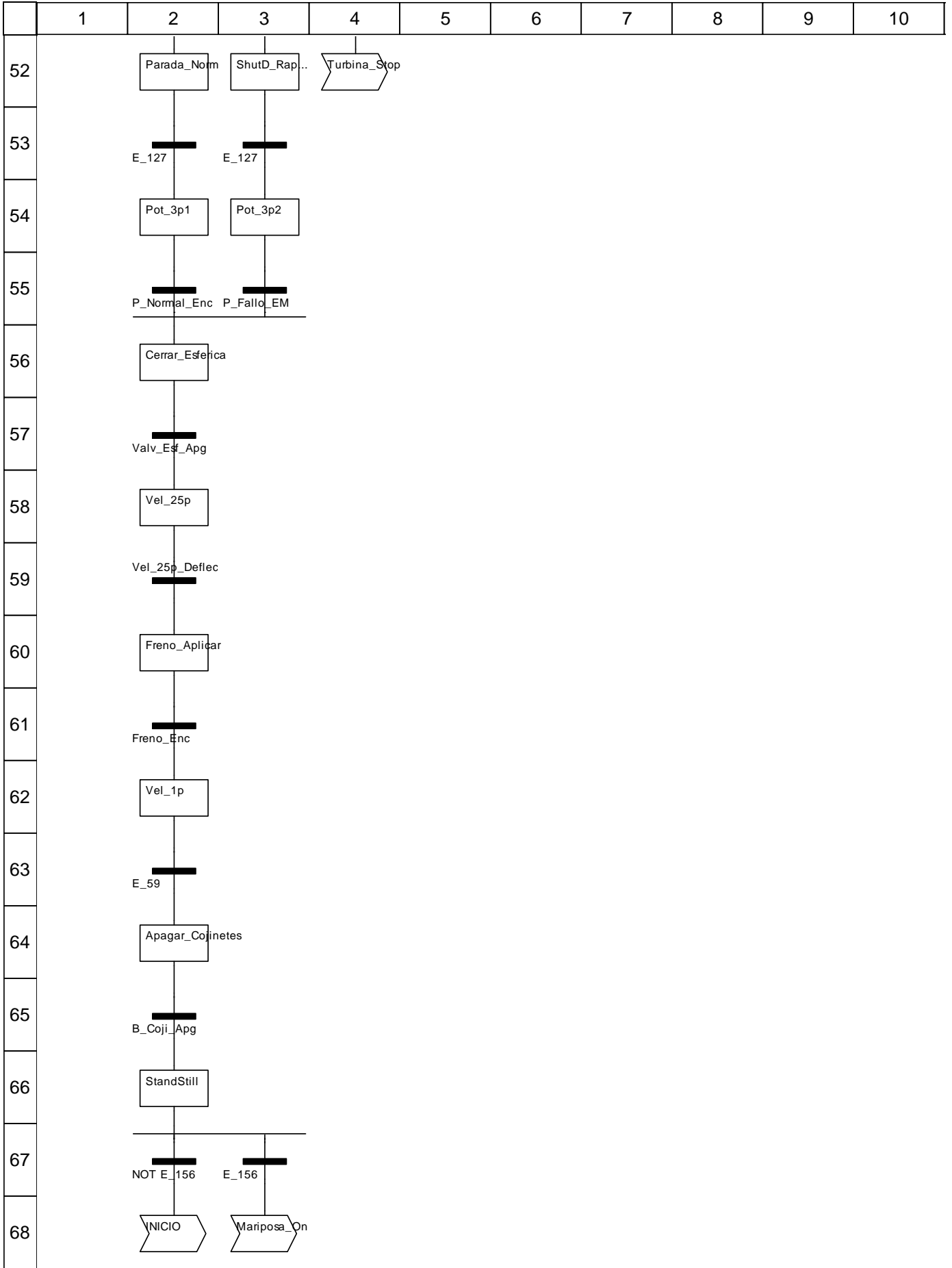
Programa PLC Premium



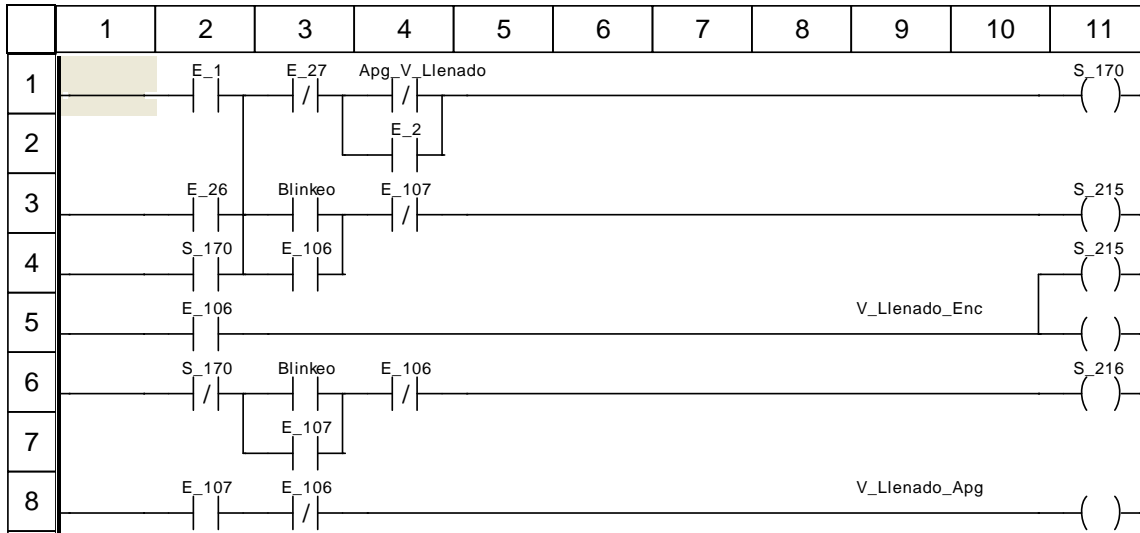


PRINCIPAL

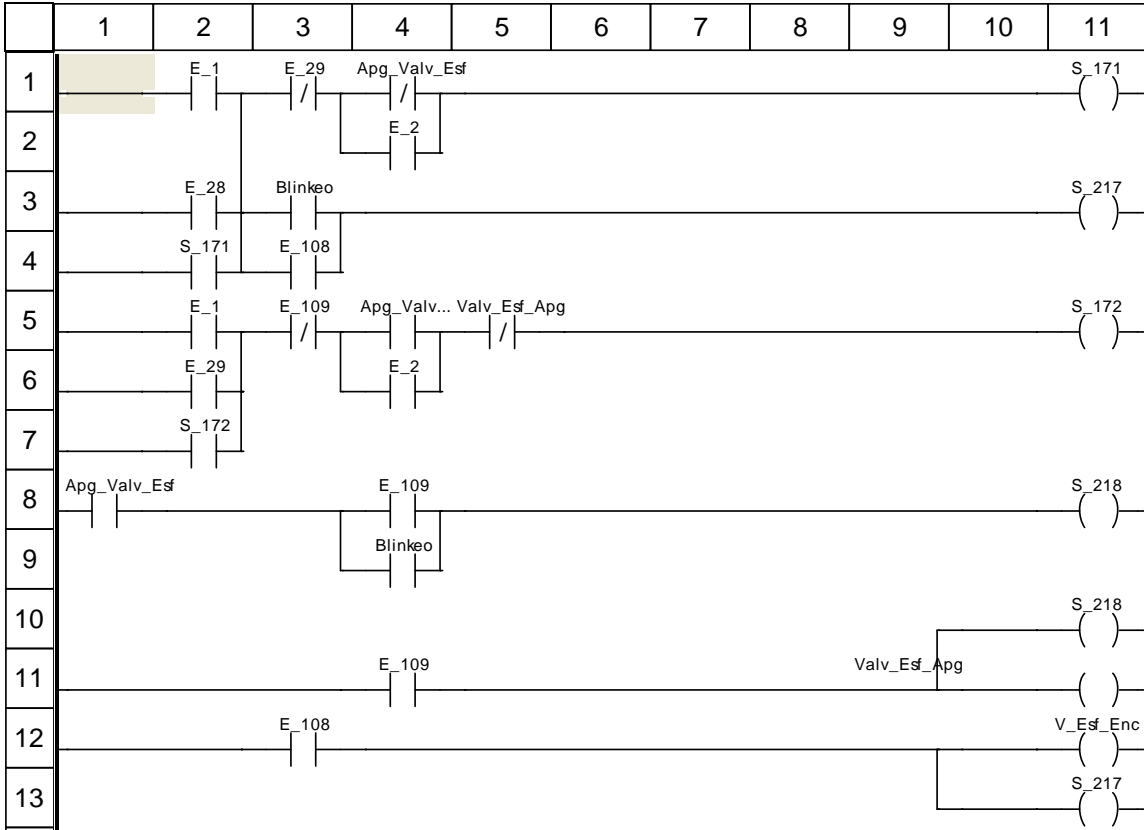




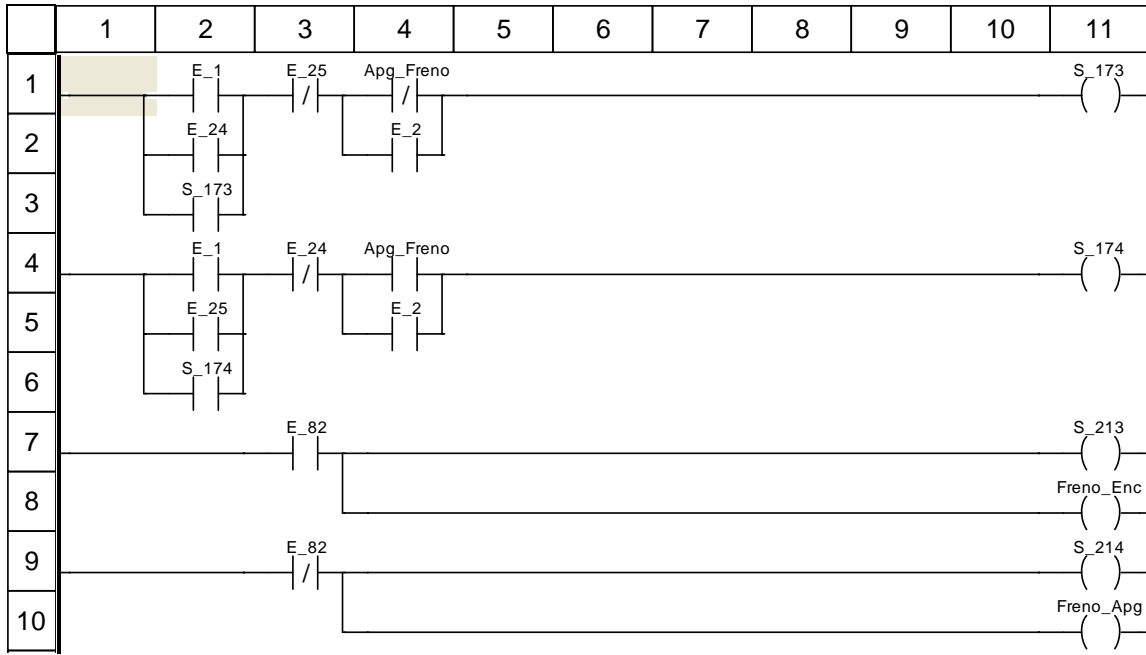
Valvula_Llenado_On



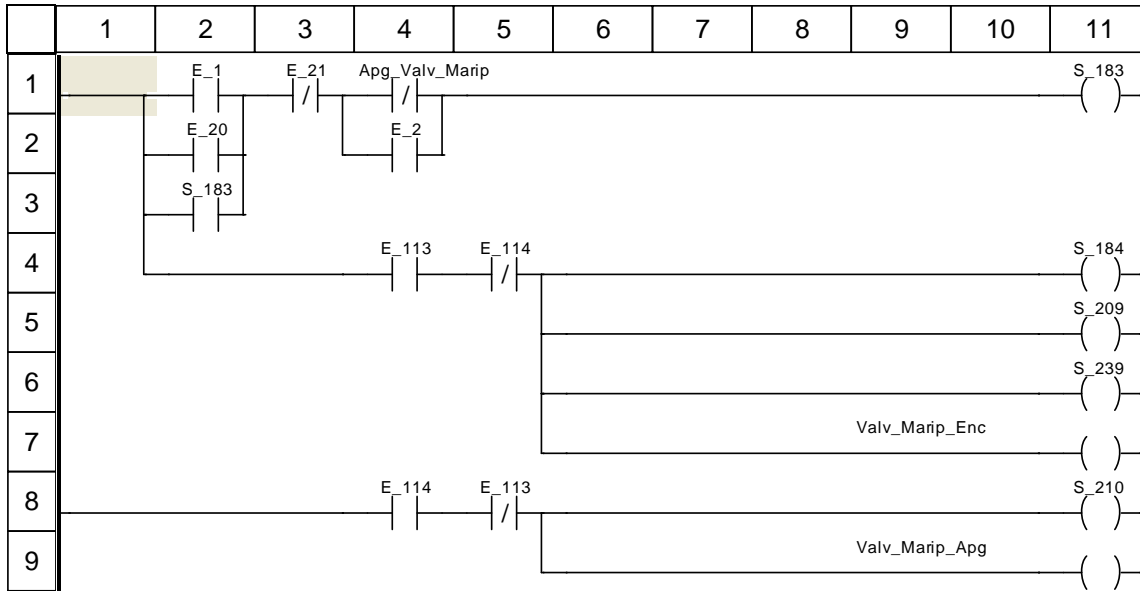
Valvula_Esferica_On

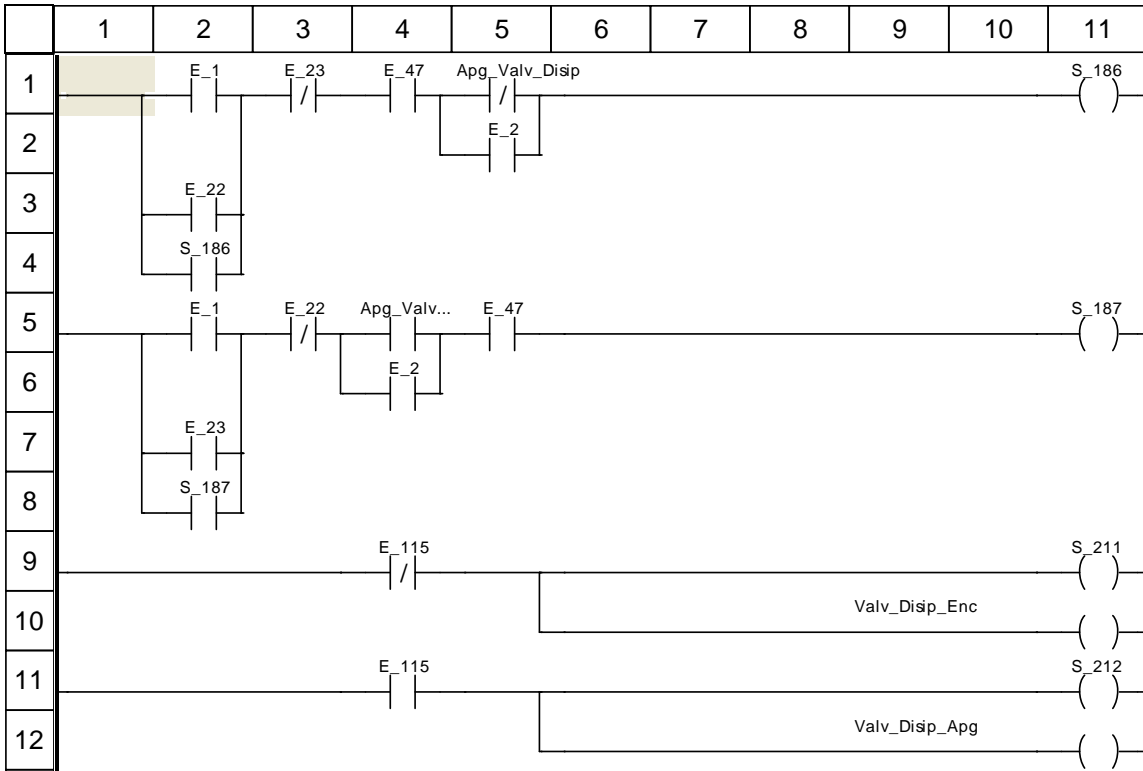


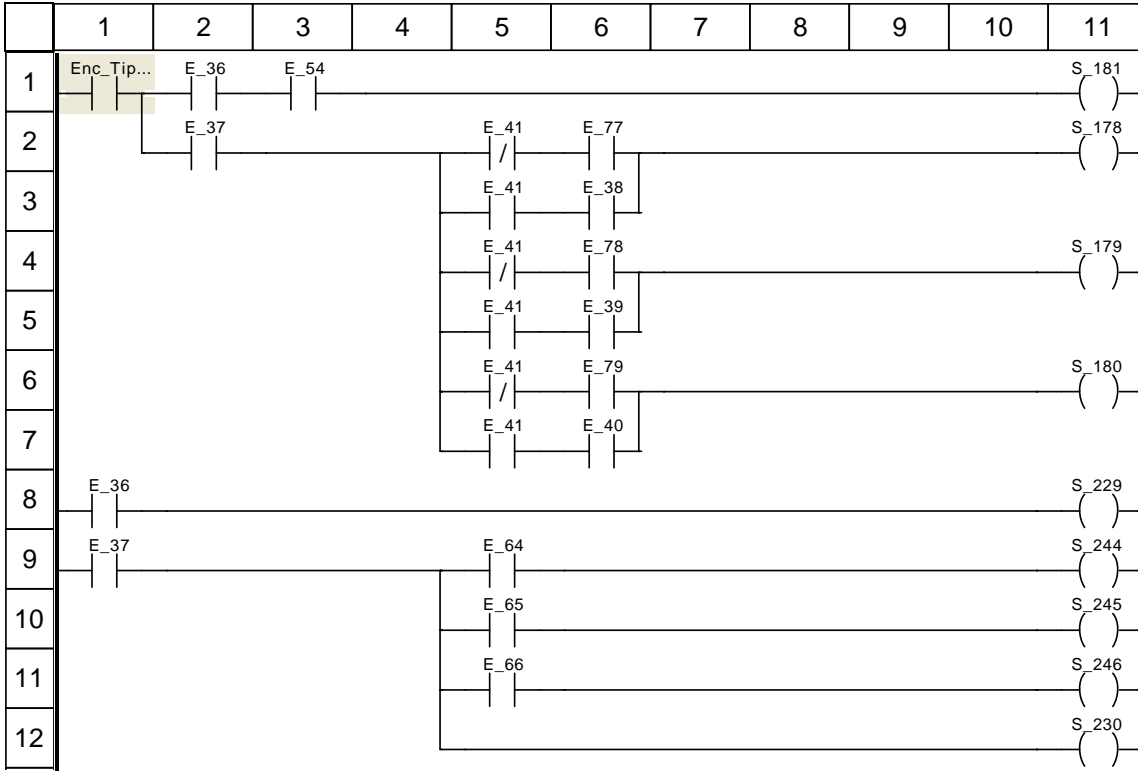
Freno_On

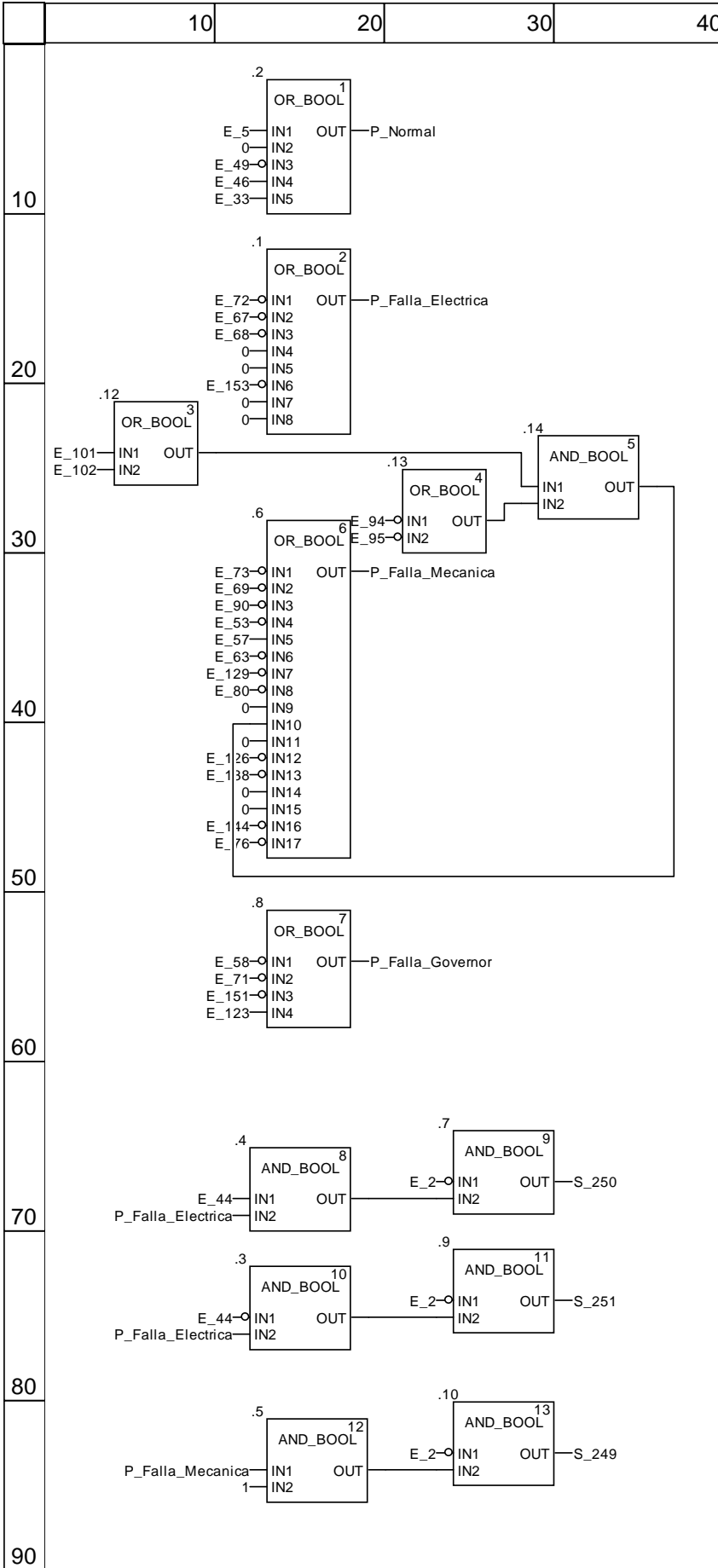


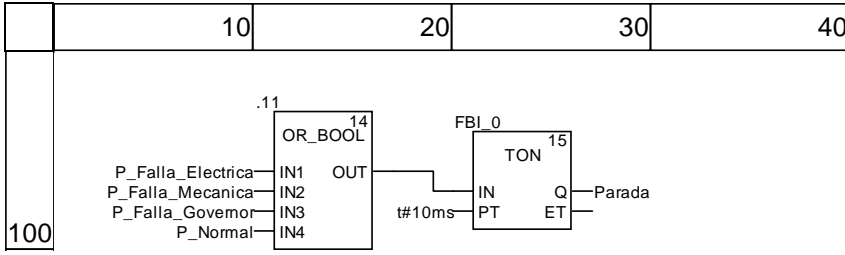
Valvula_Mariposa_On





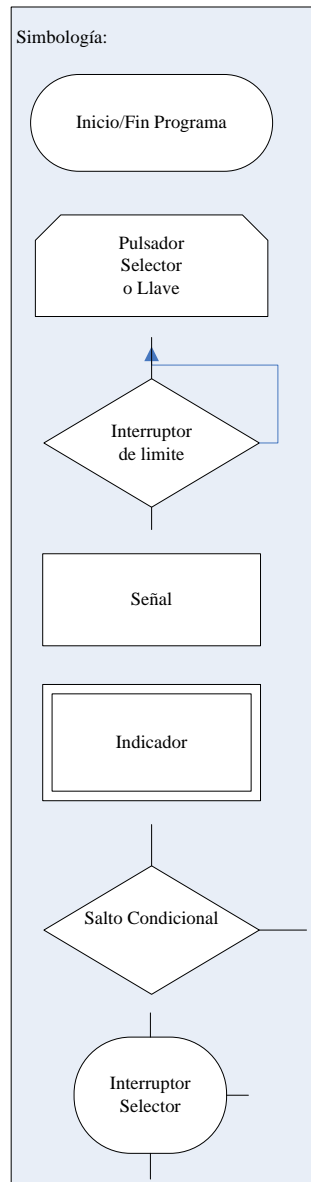


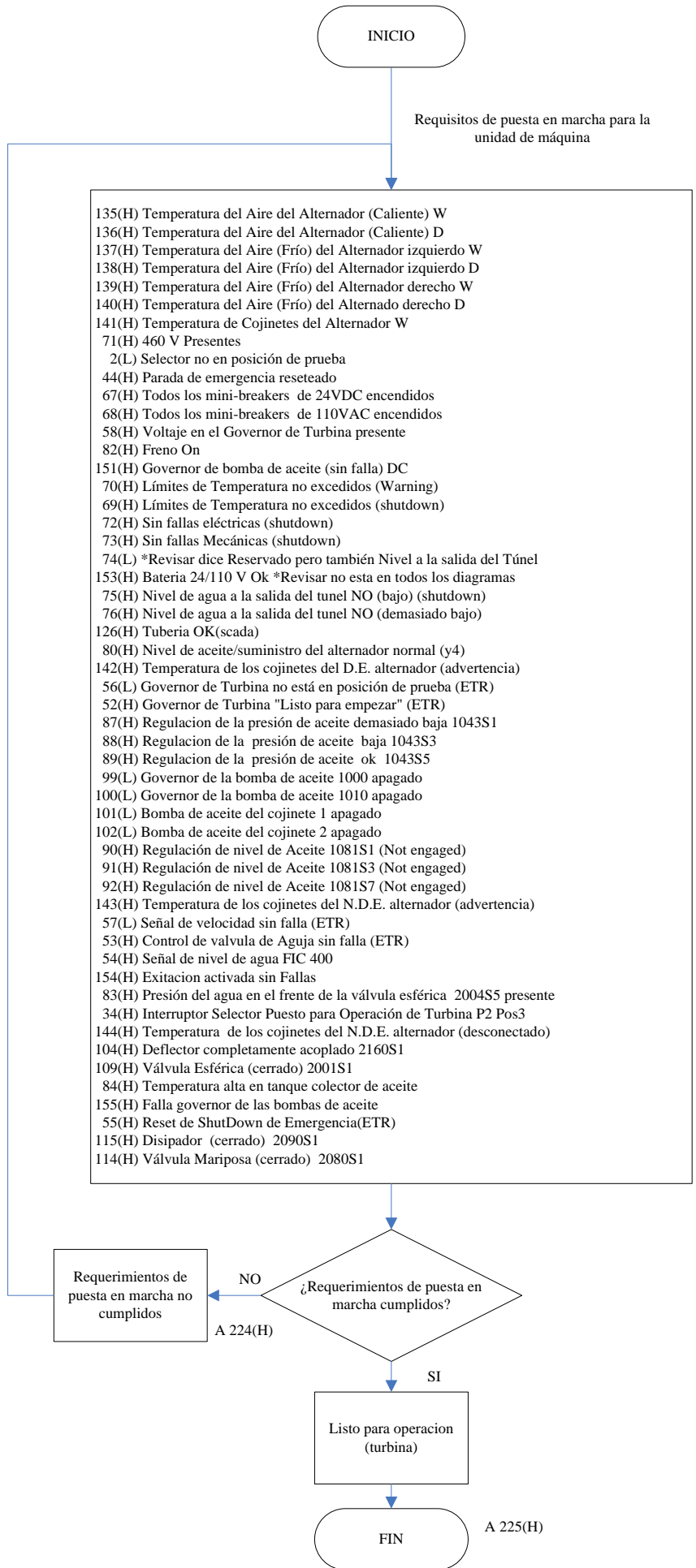


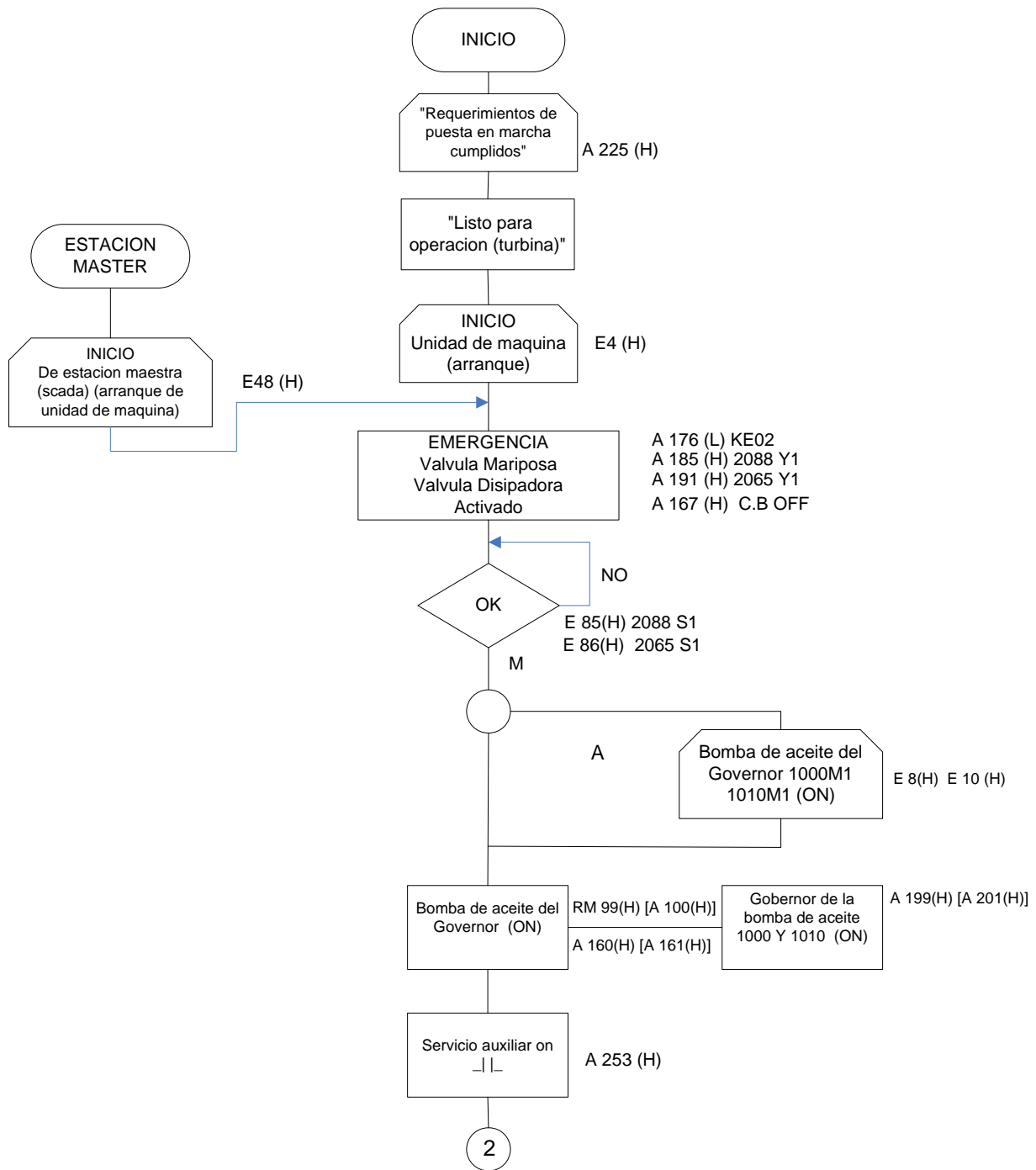


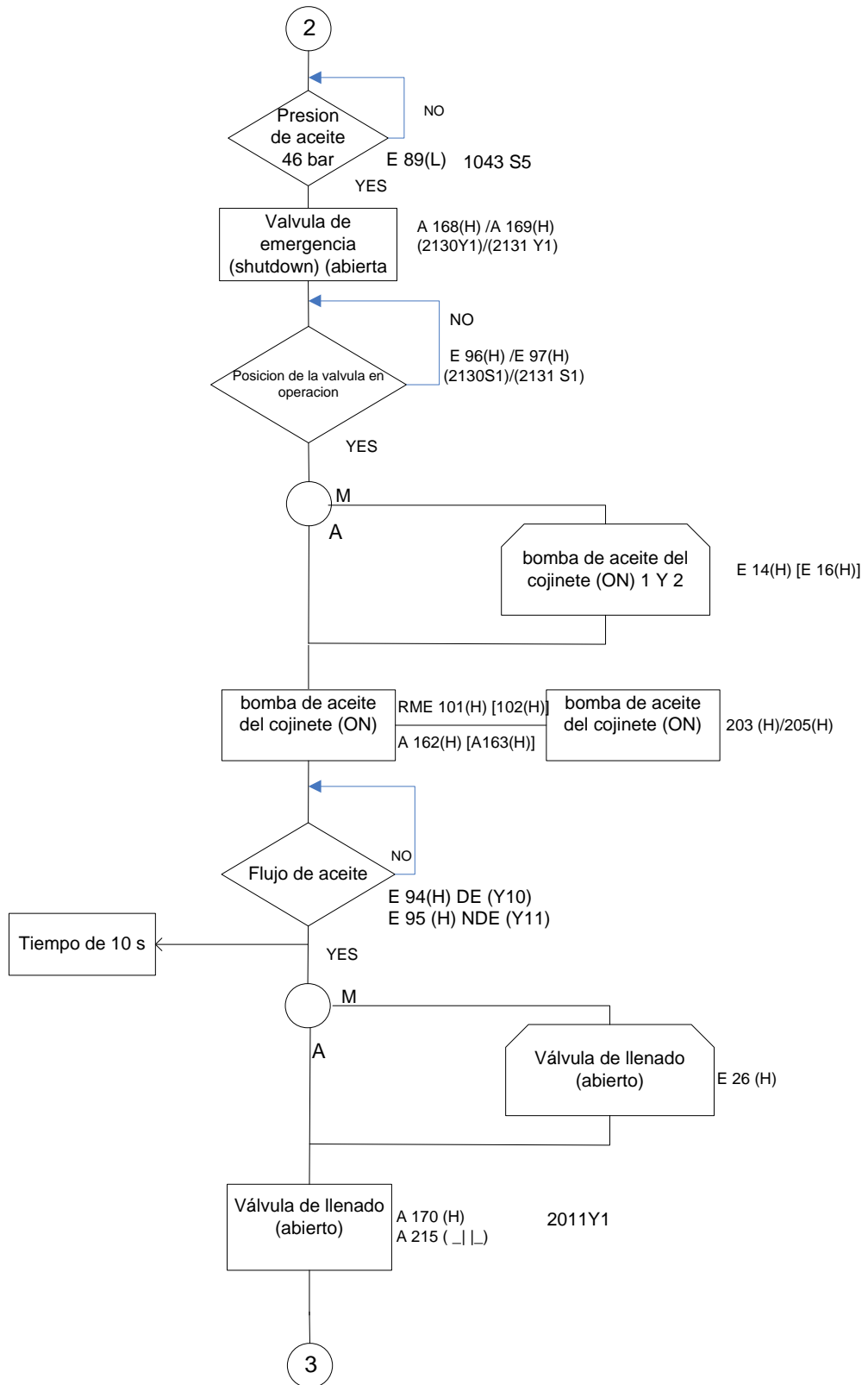
ANEXO 2

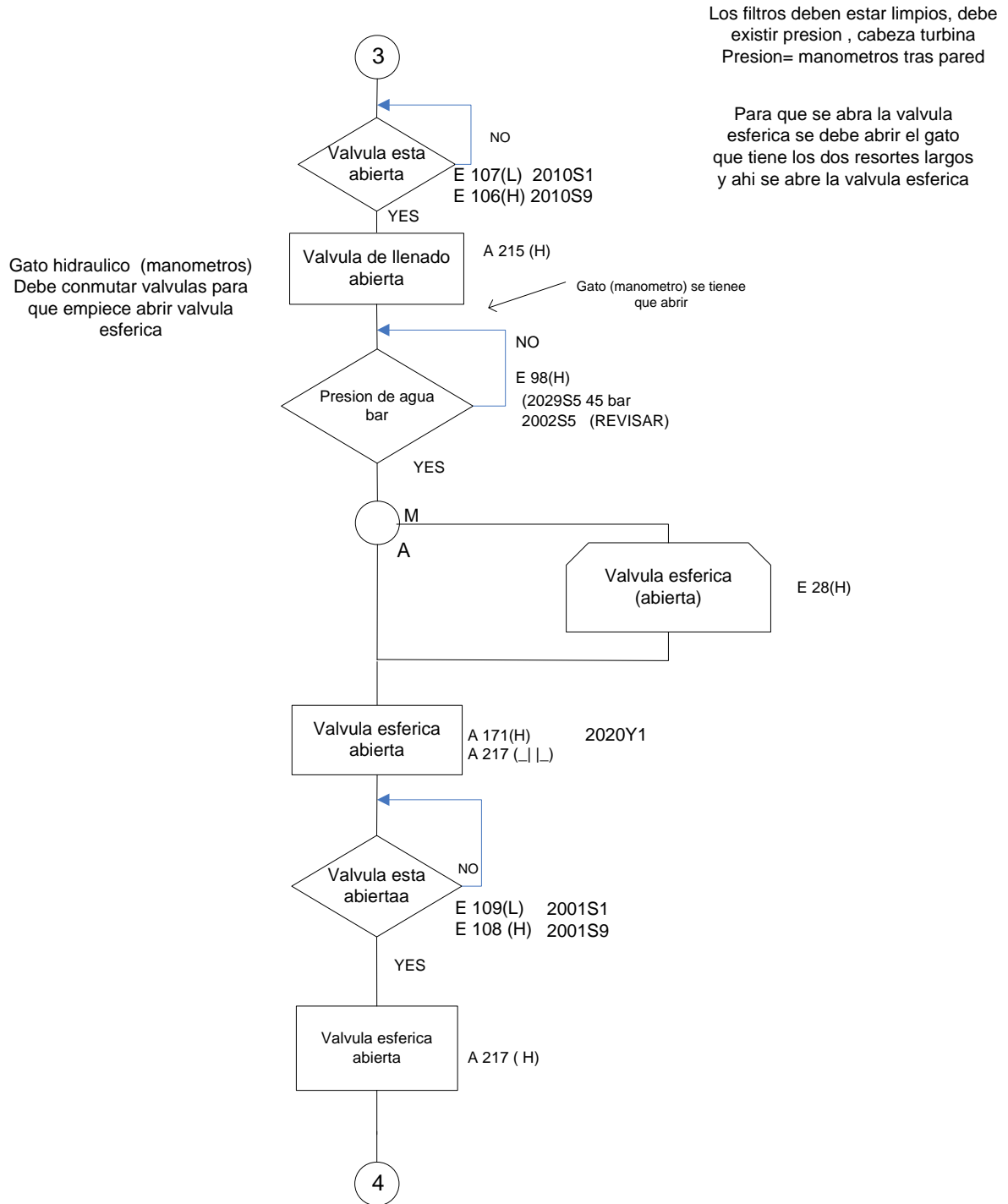
Diagrama de Flujo del PLC de Máquina

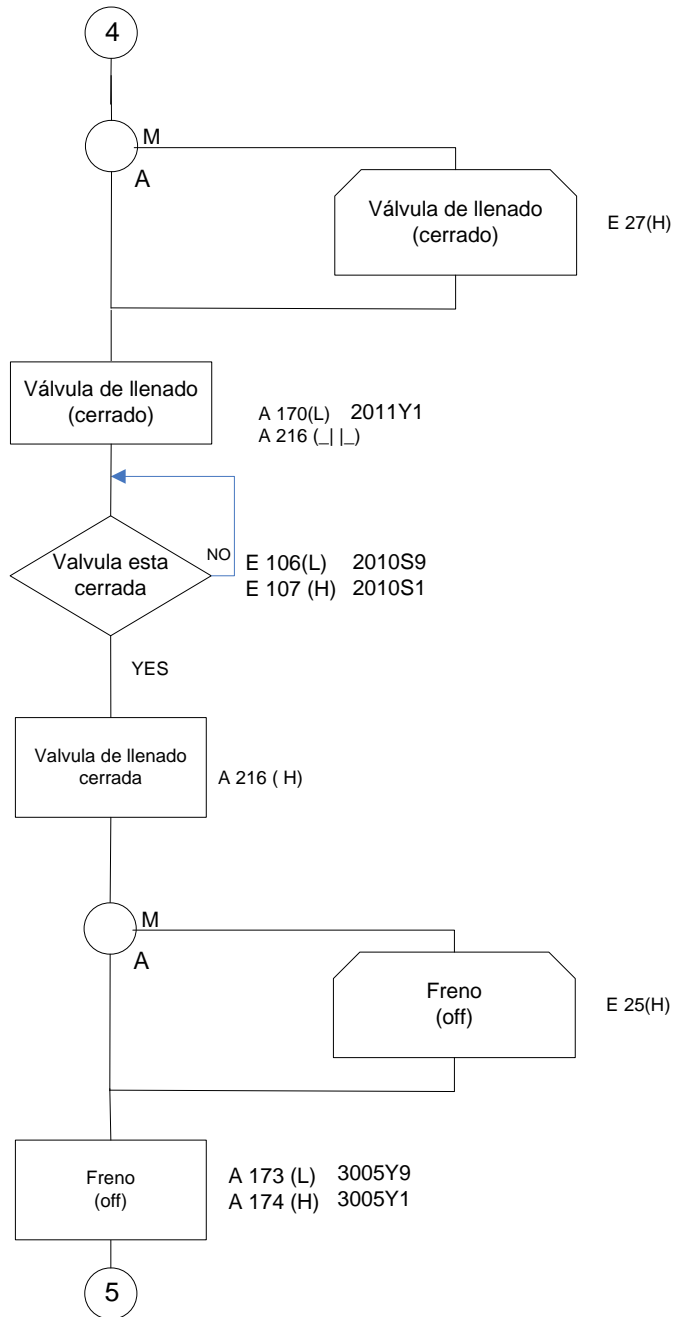


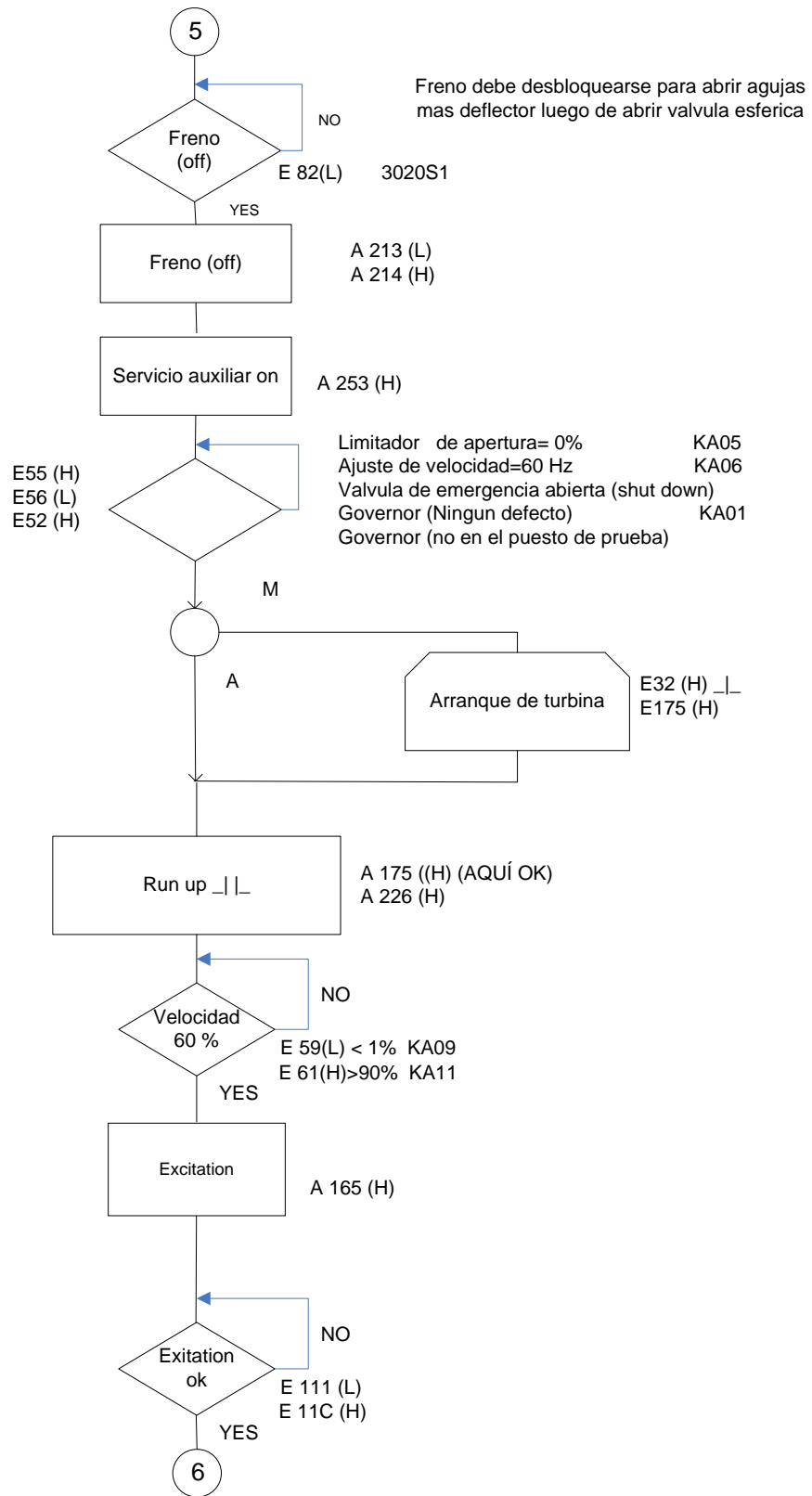


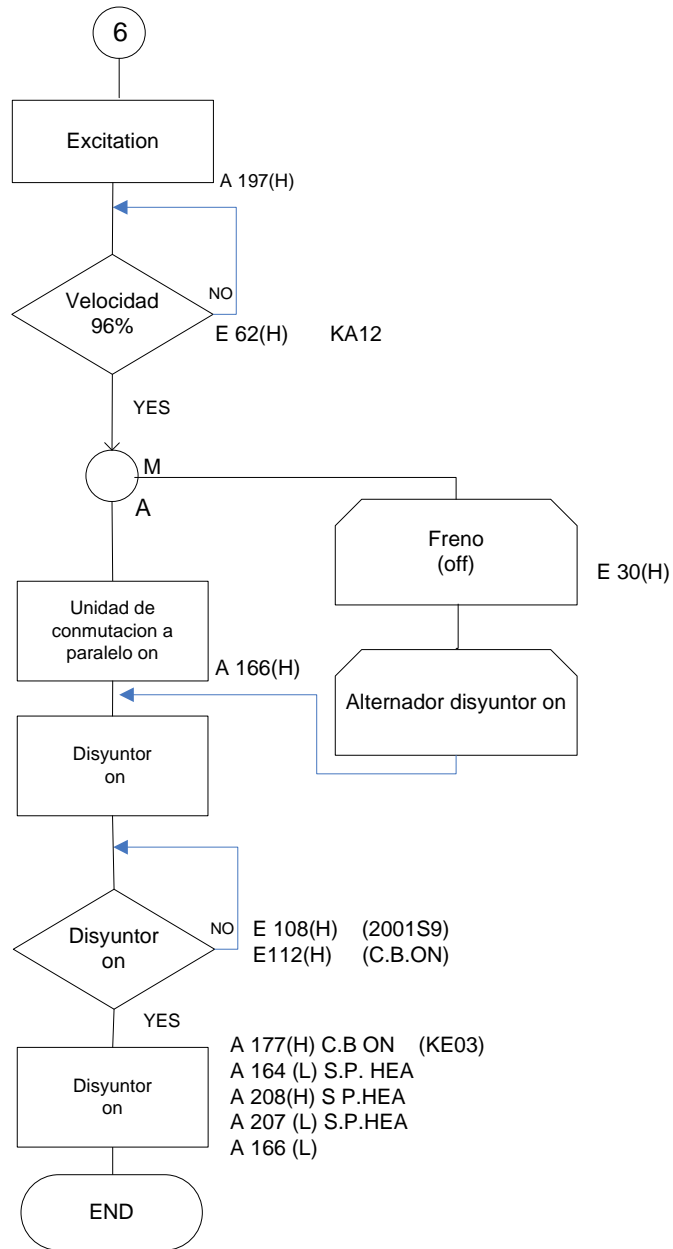






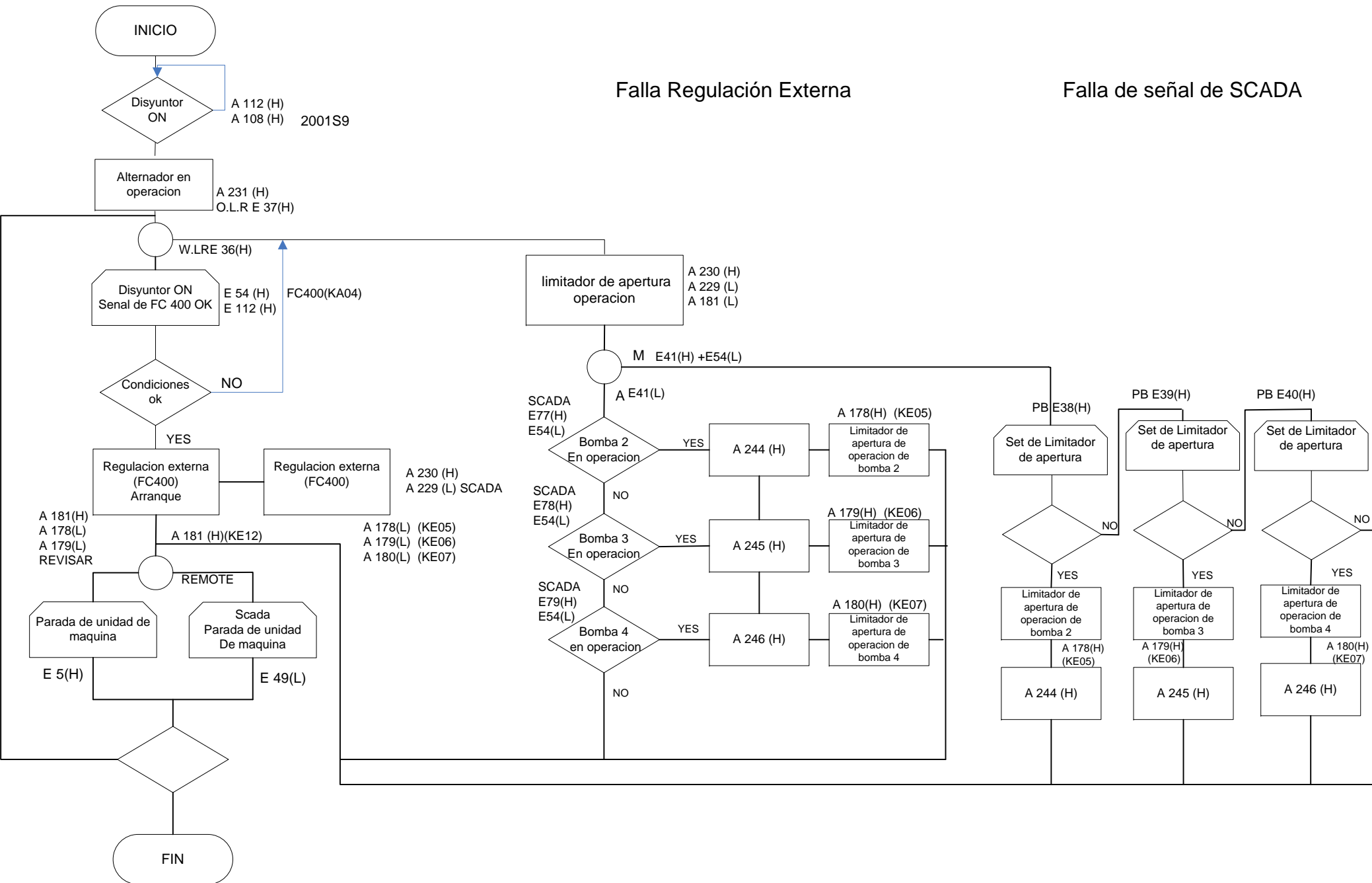


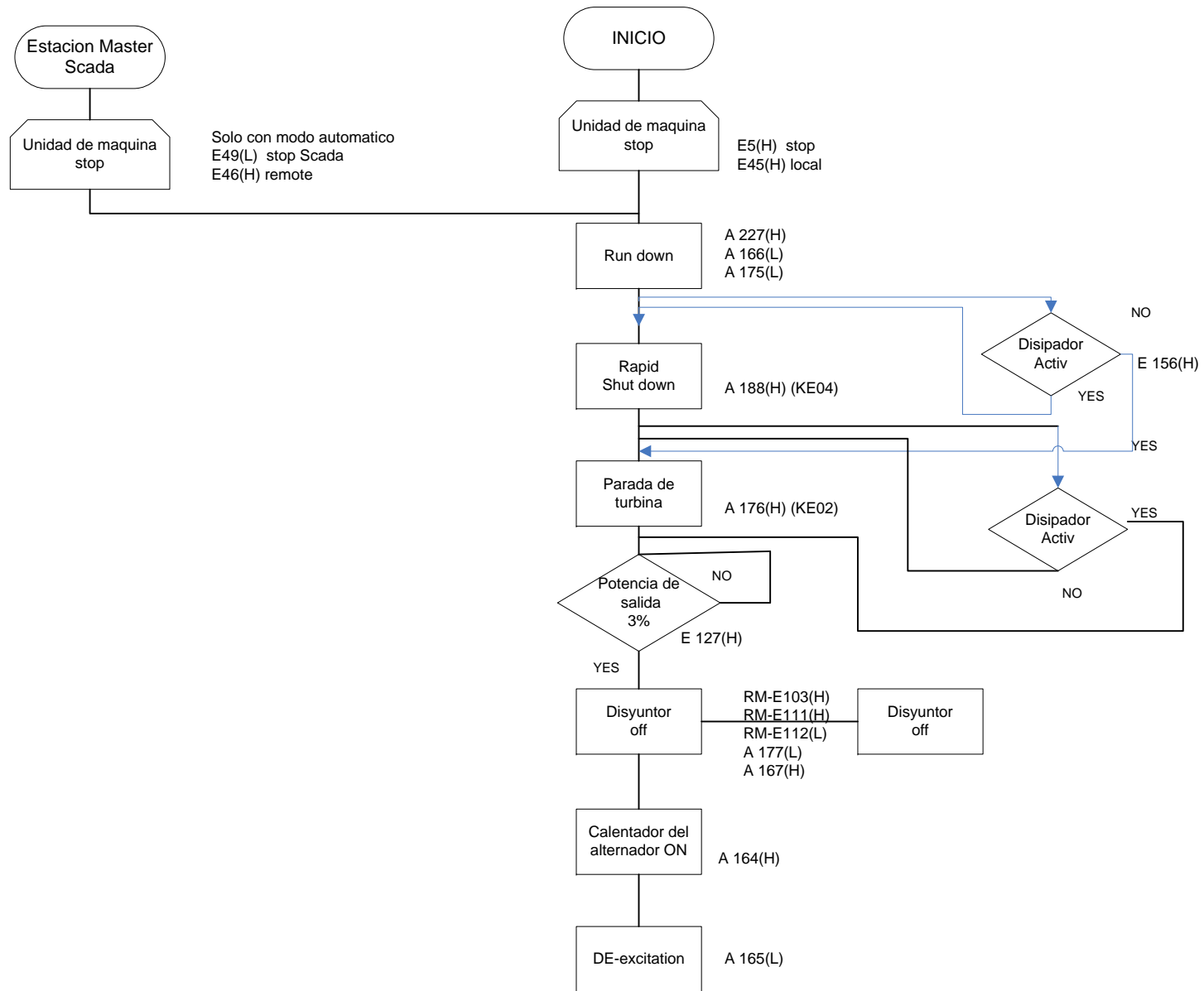


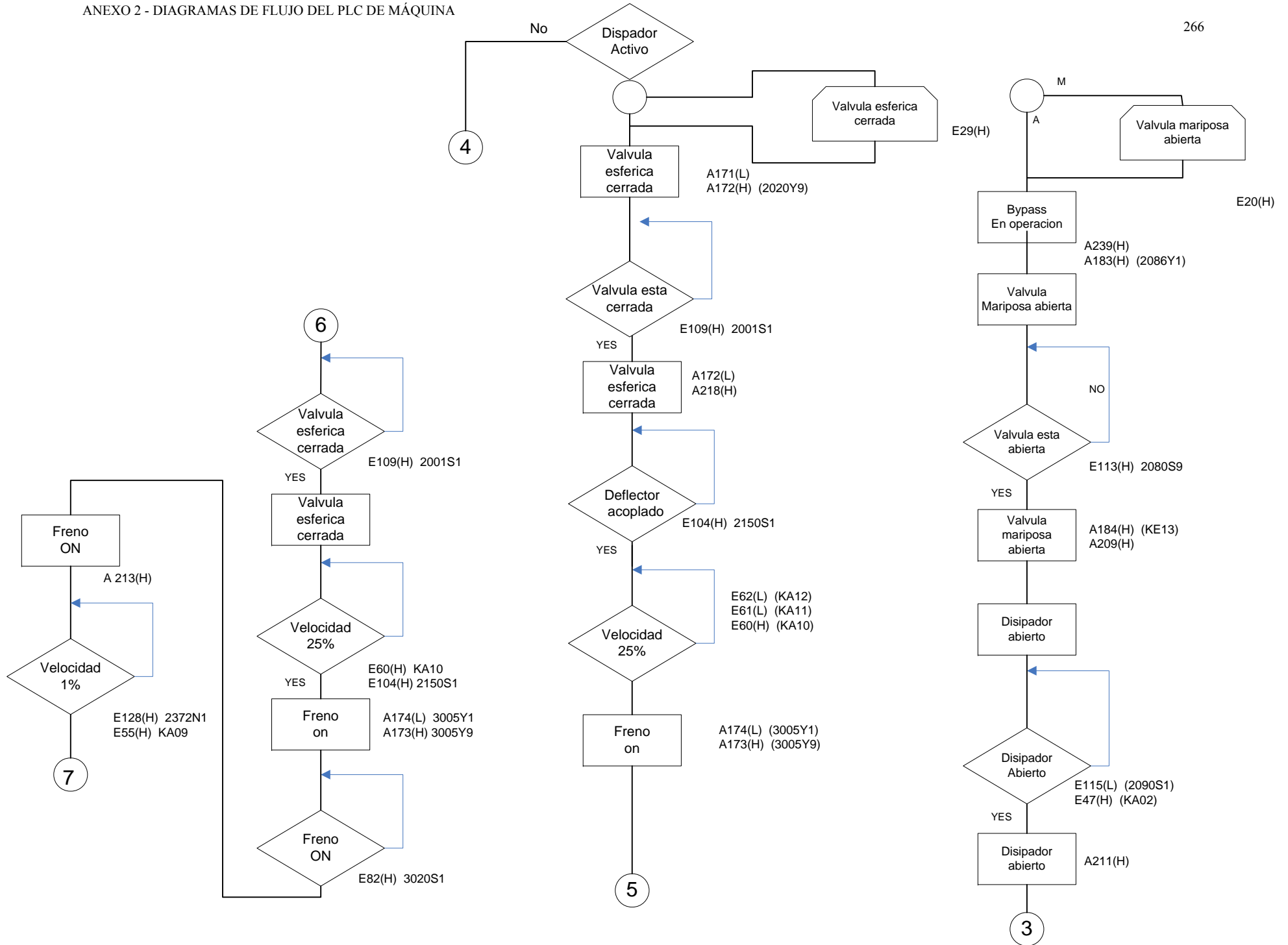


Falla Regulación Externa

Falla de señal de SCADA

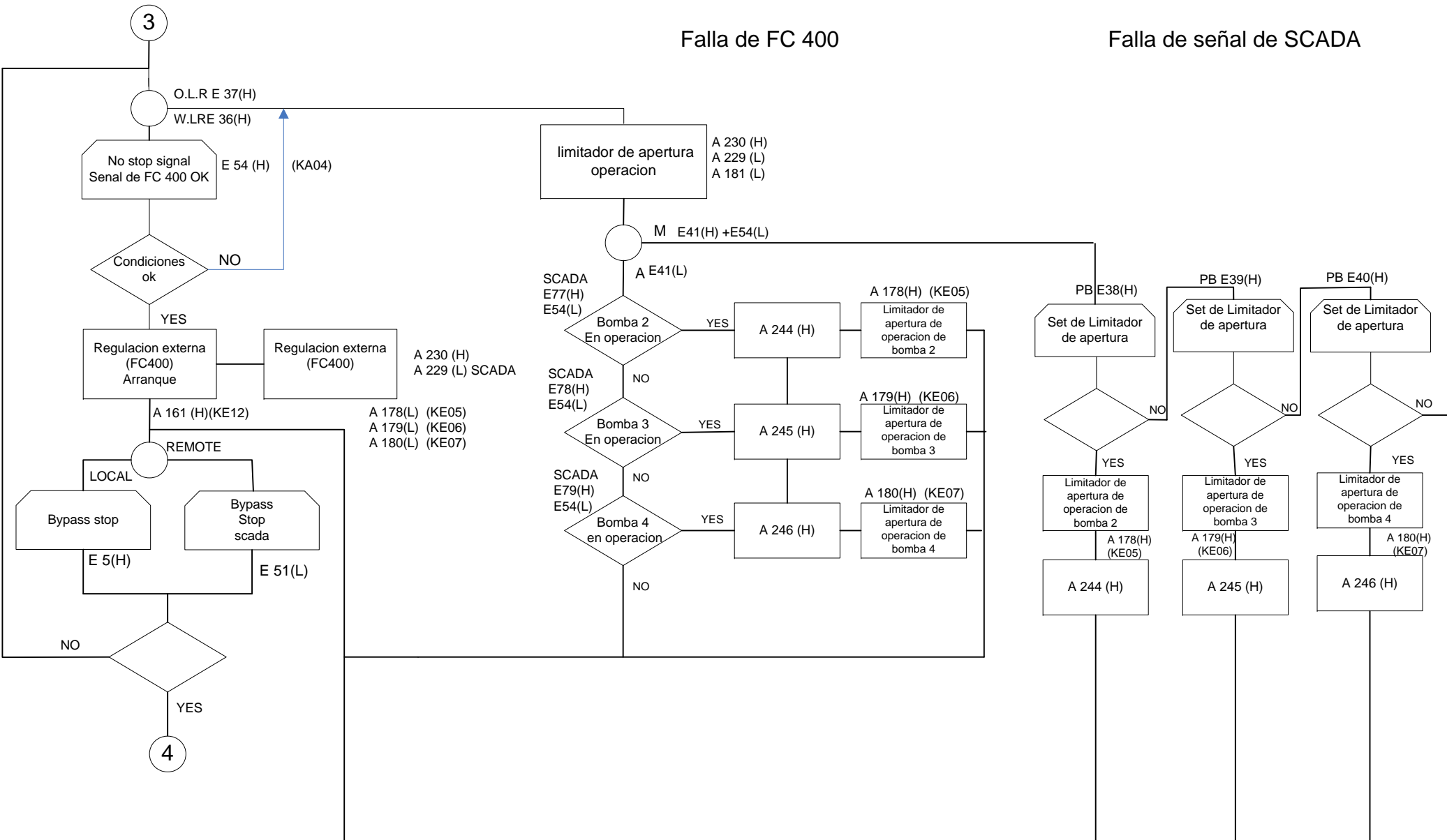




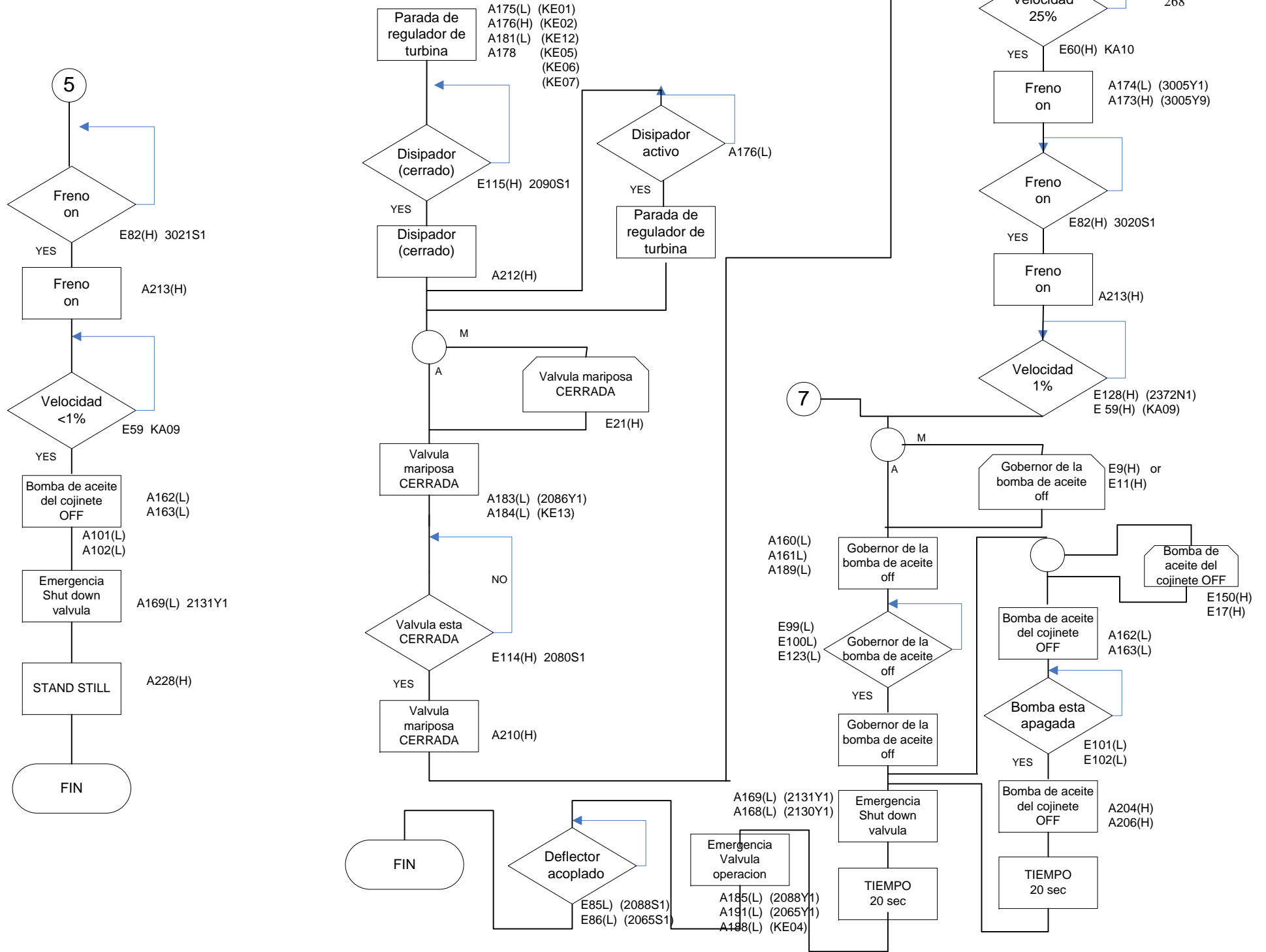


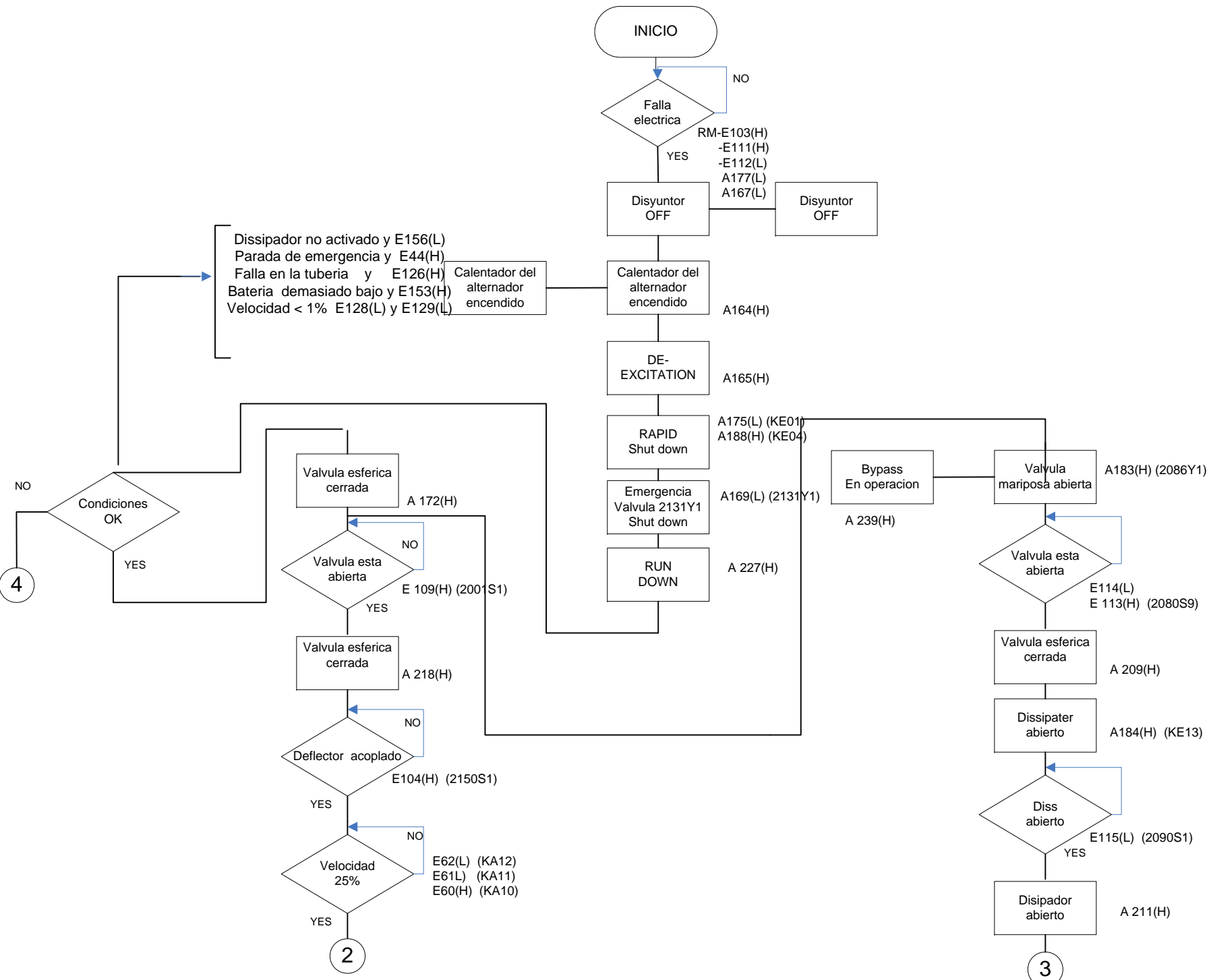
Falla de FC 400

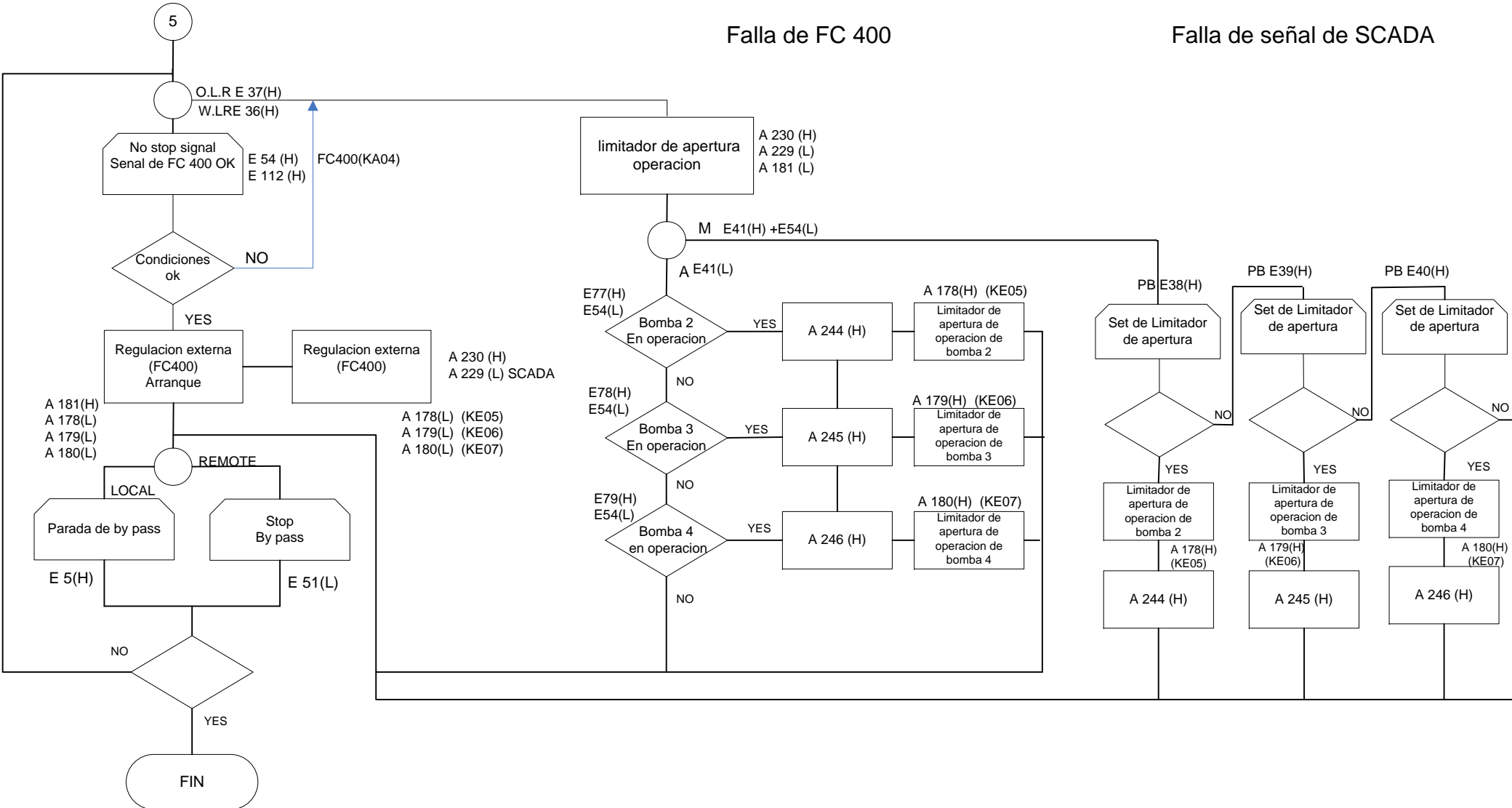
Falla de señal de SCADA

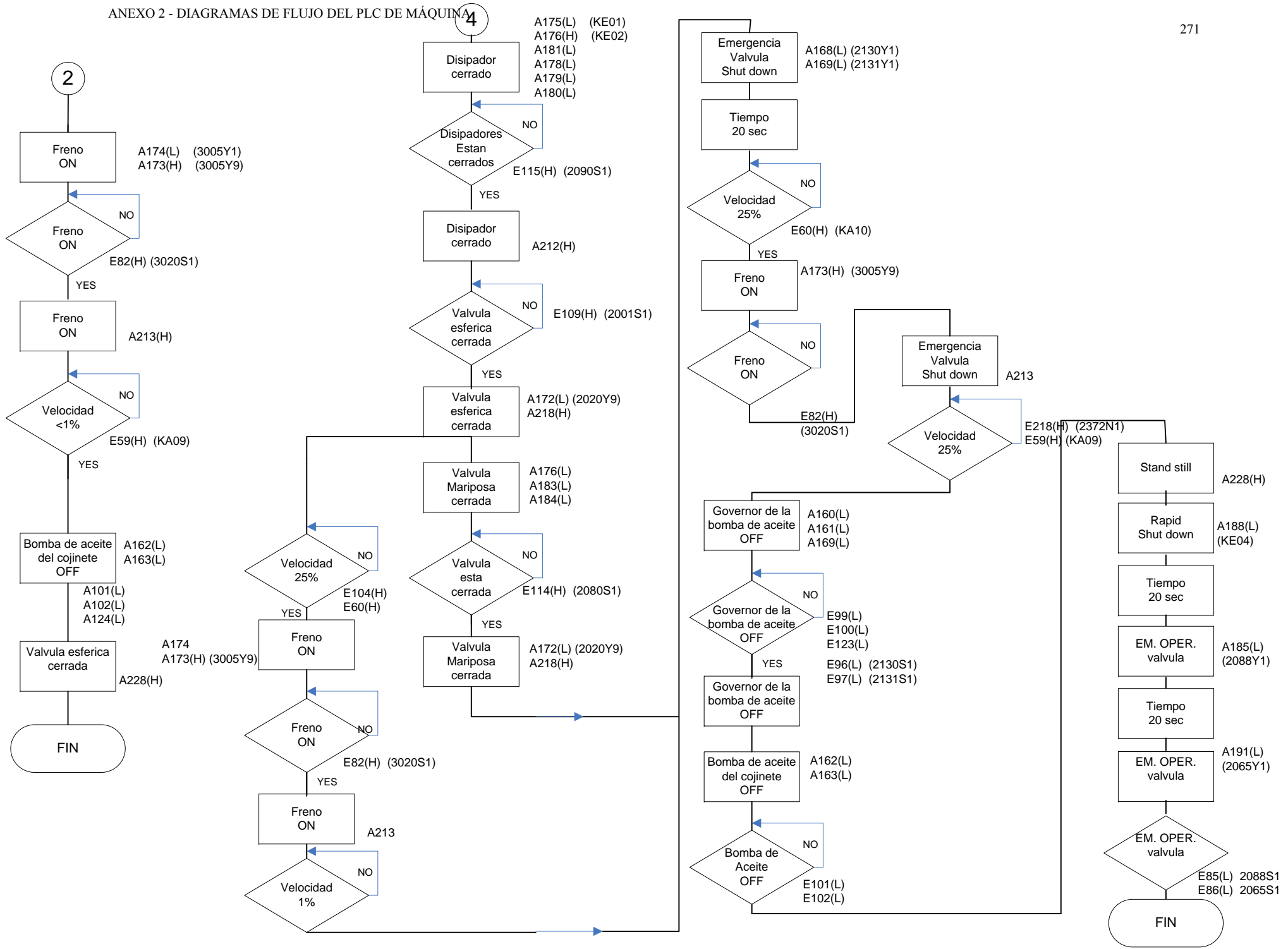


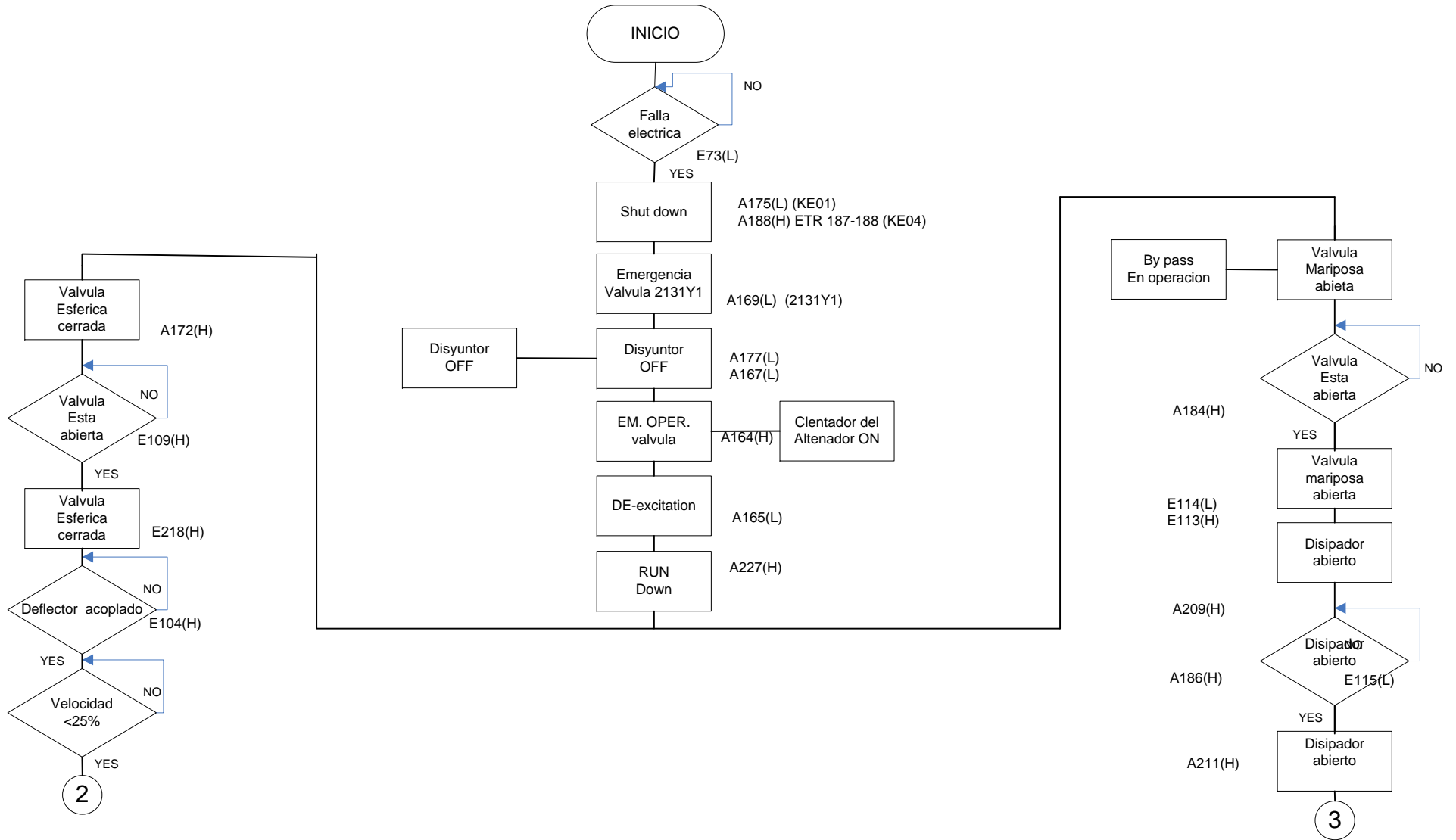
ANEXO 2 - DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PLC DE MÁQUINA

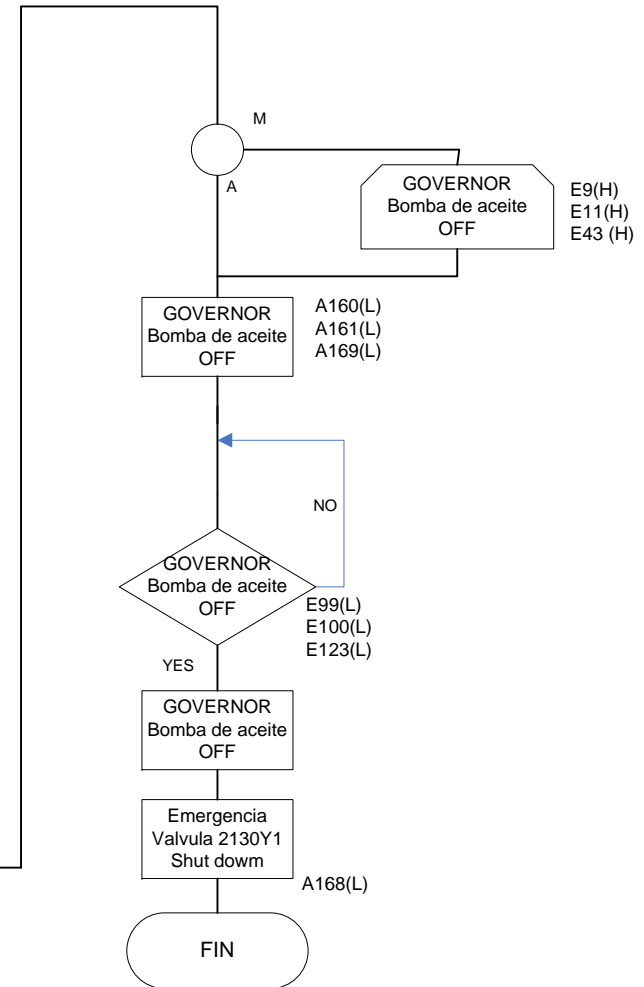
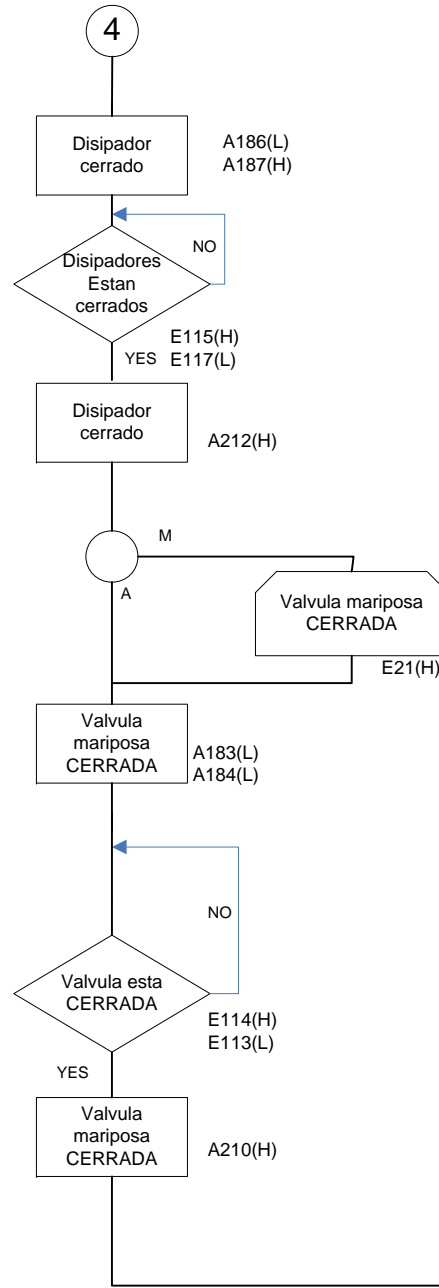
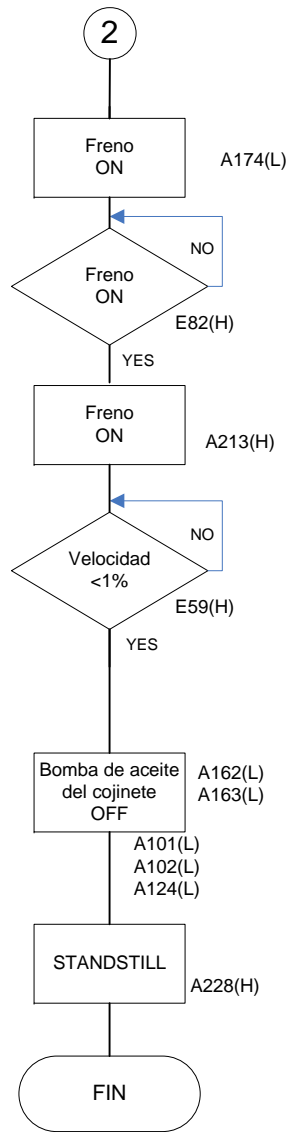


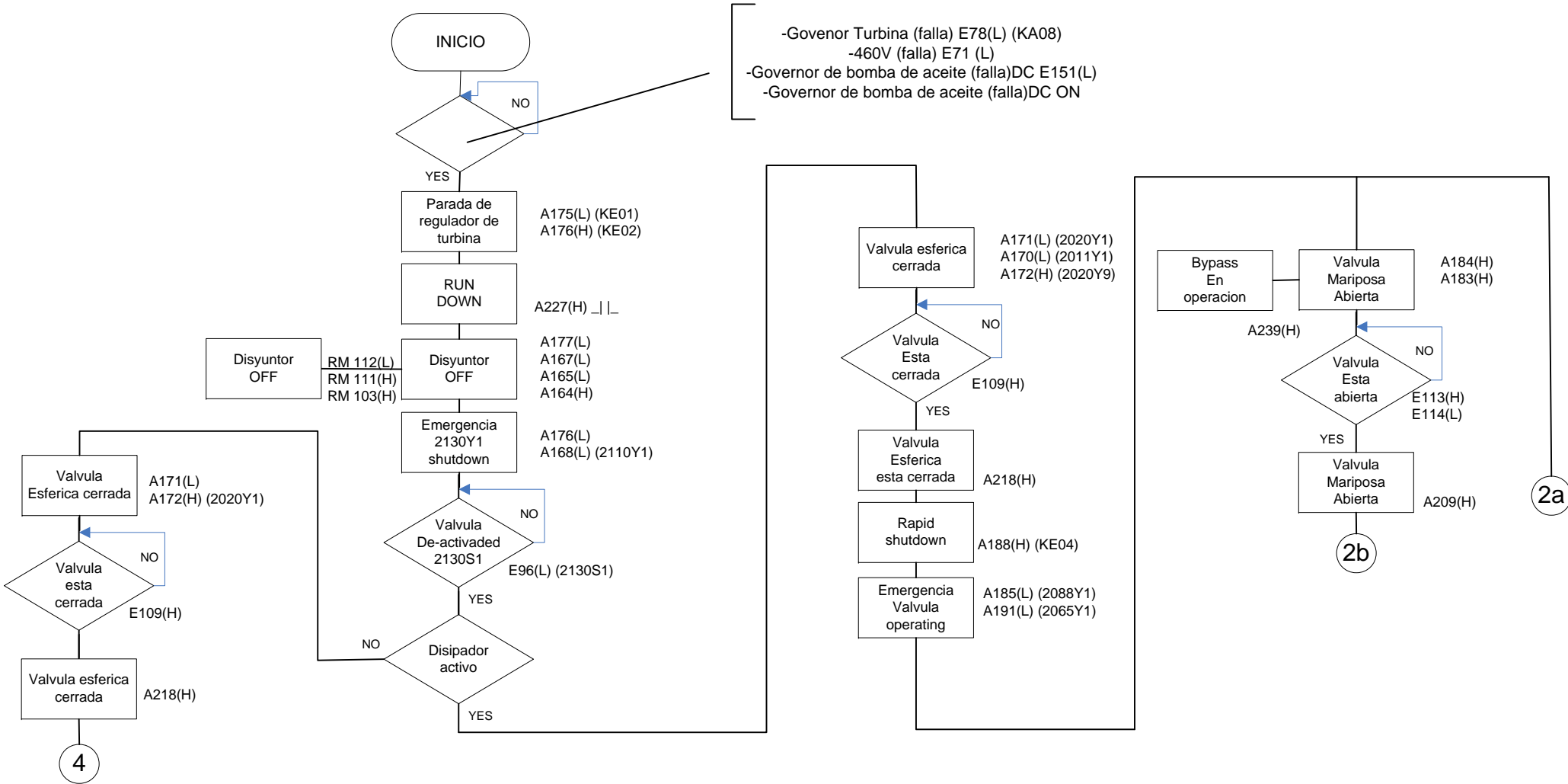


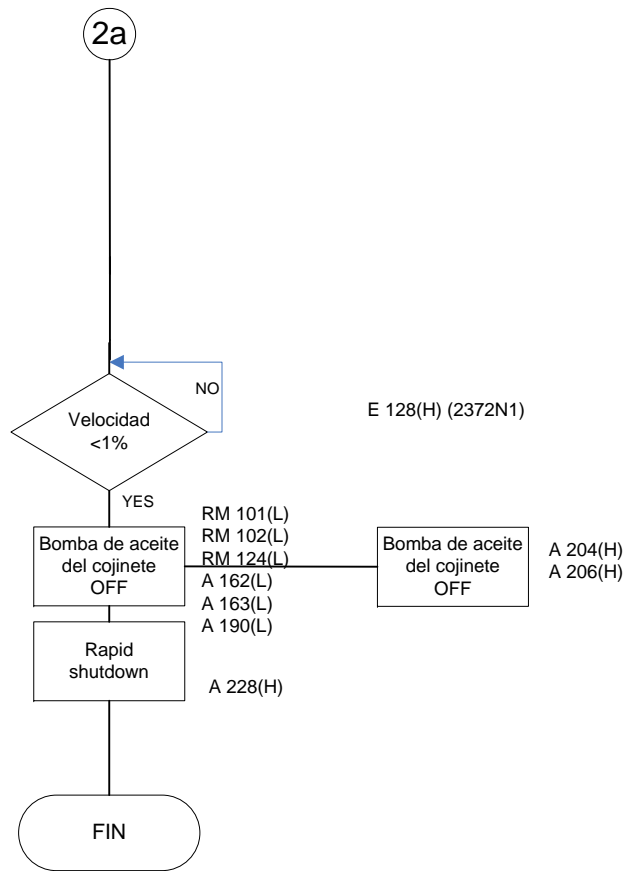


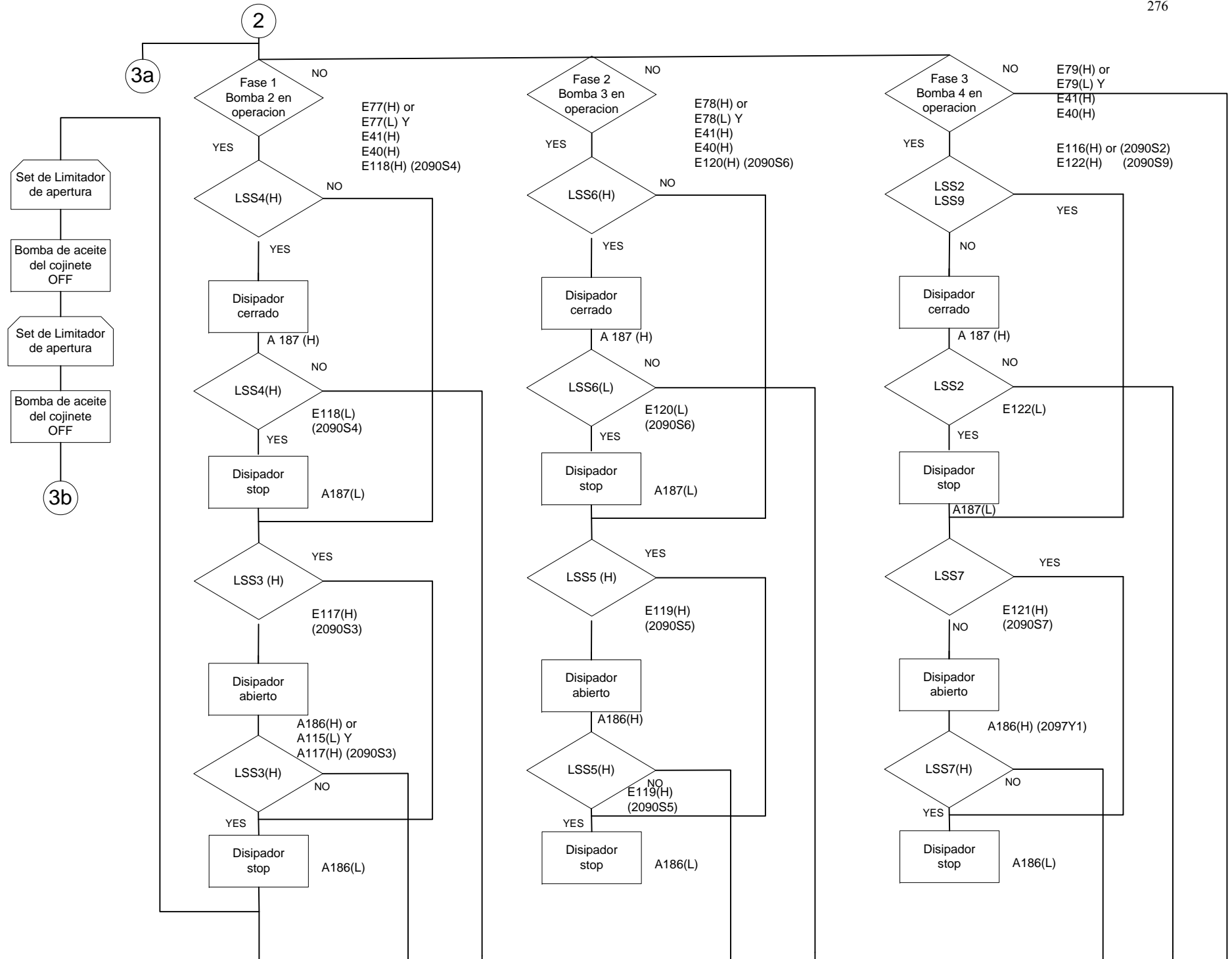


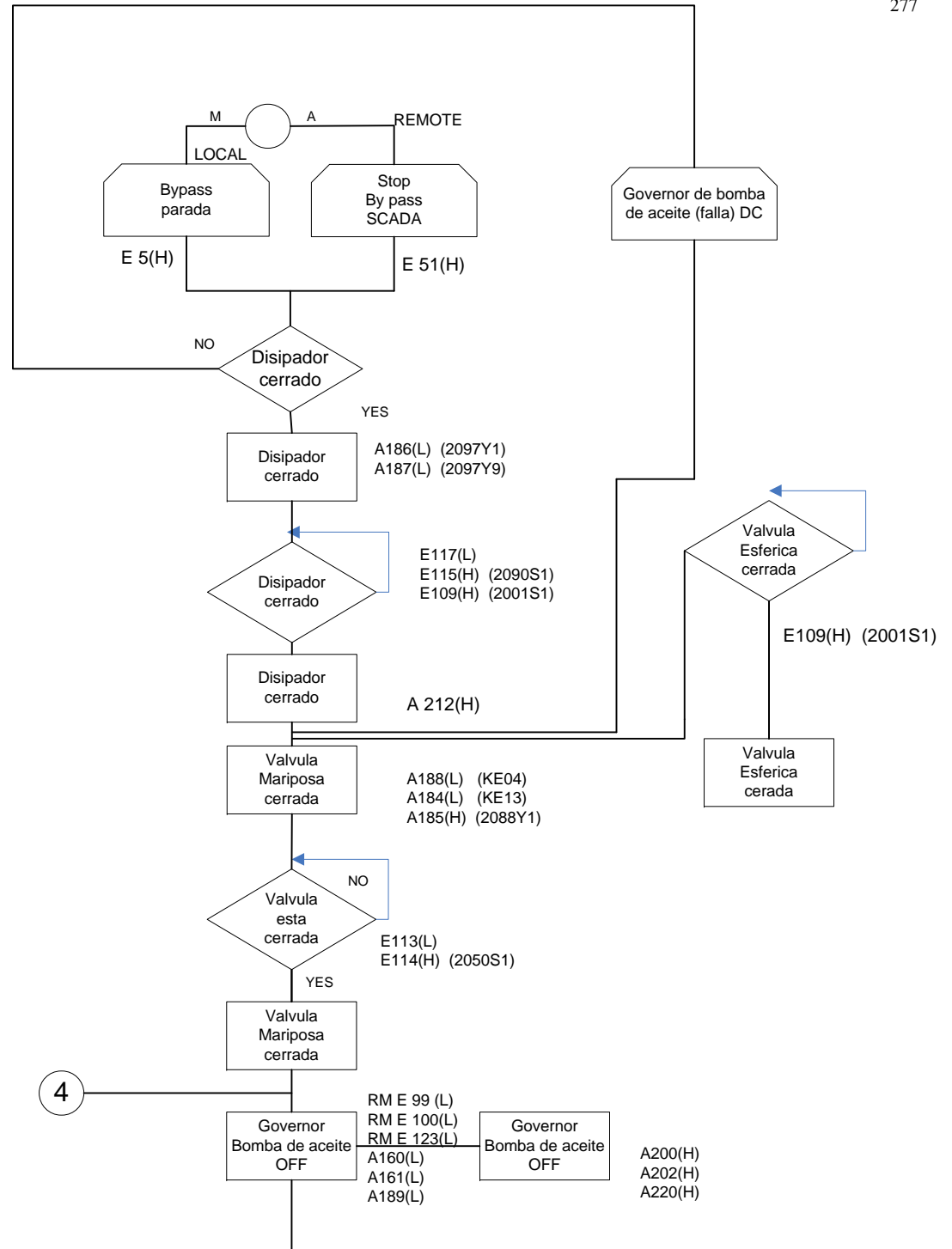
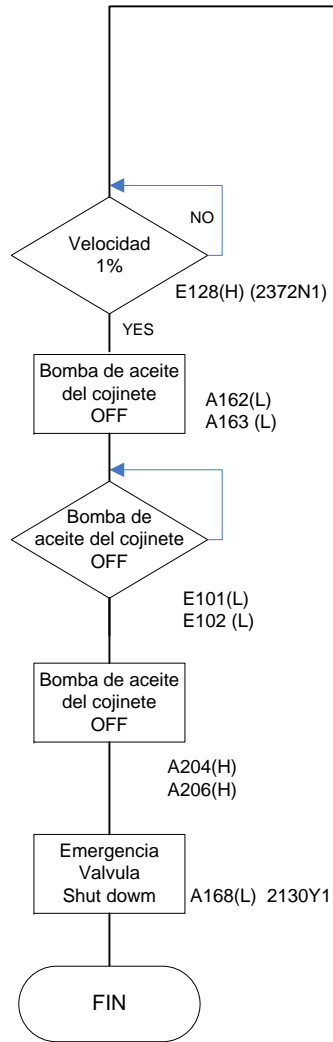


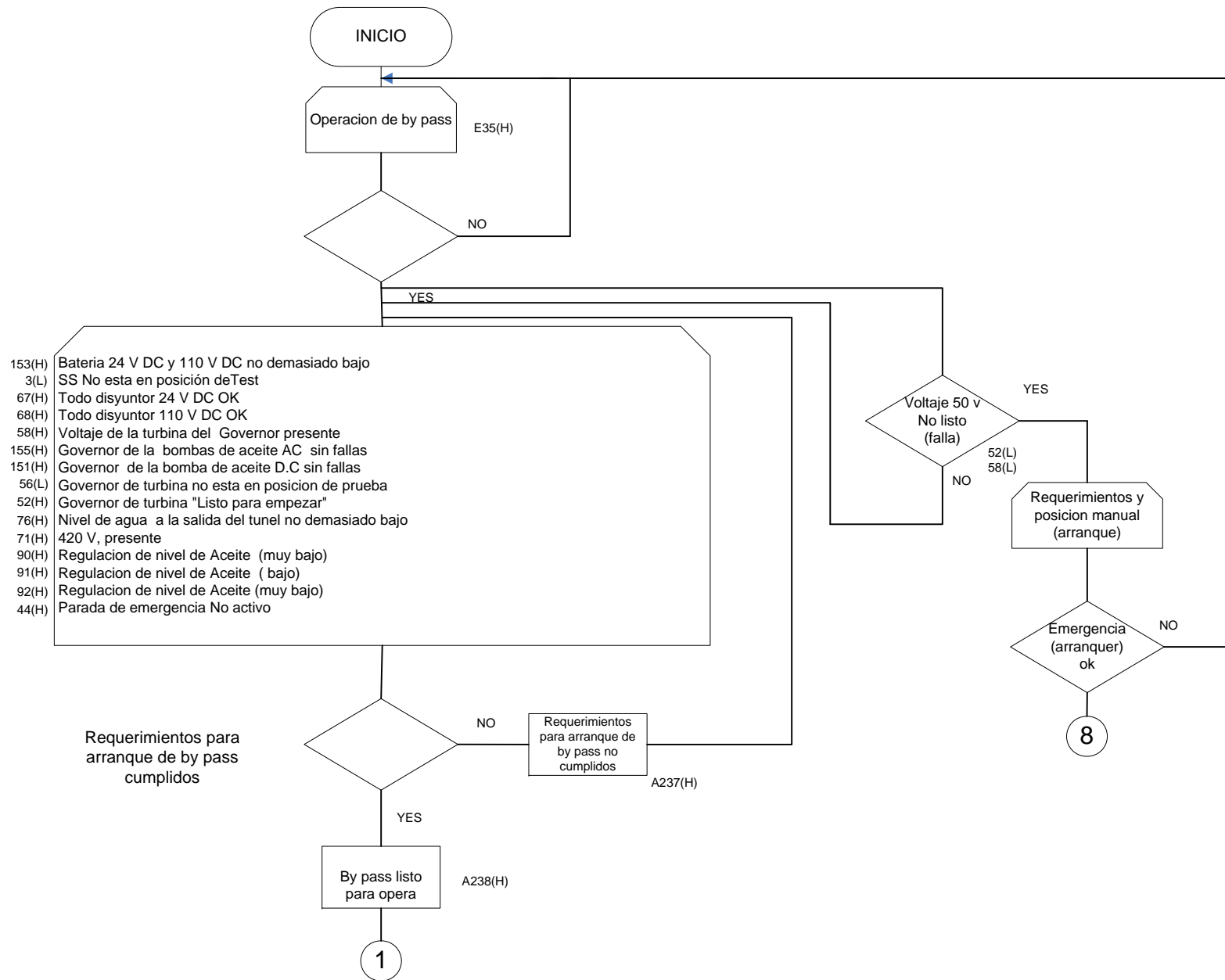




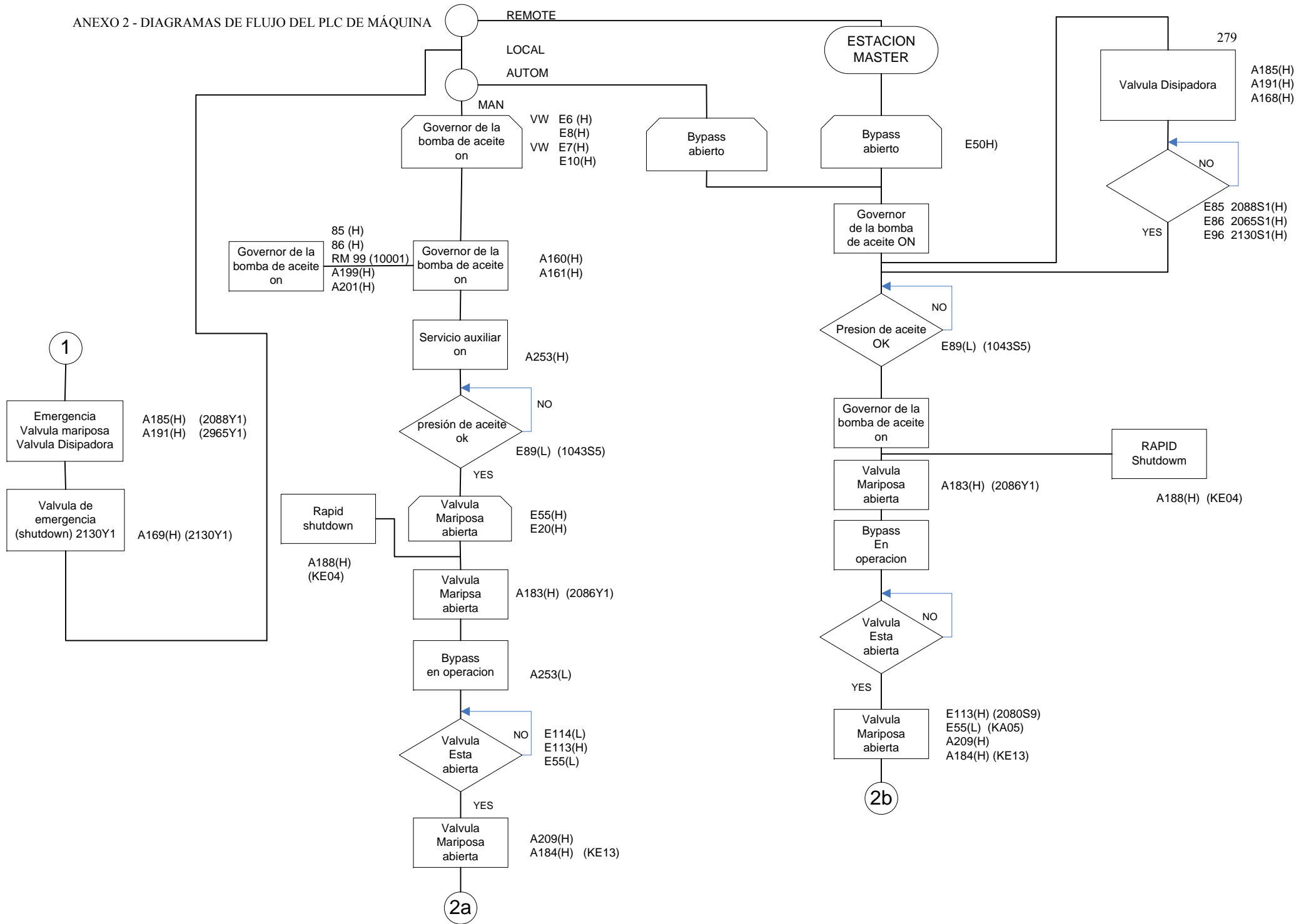


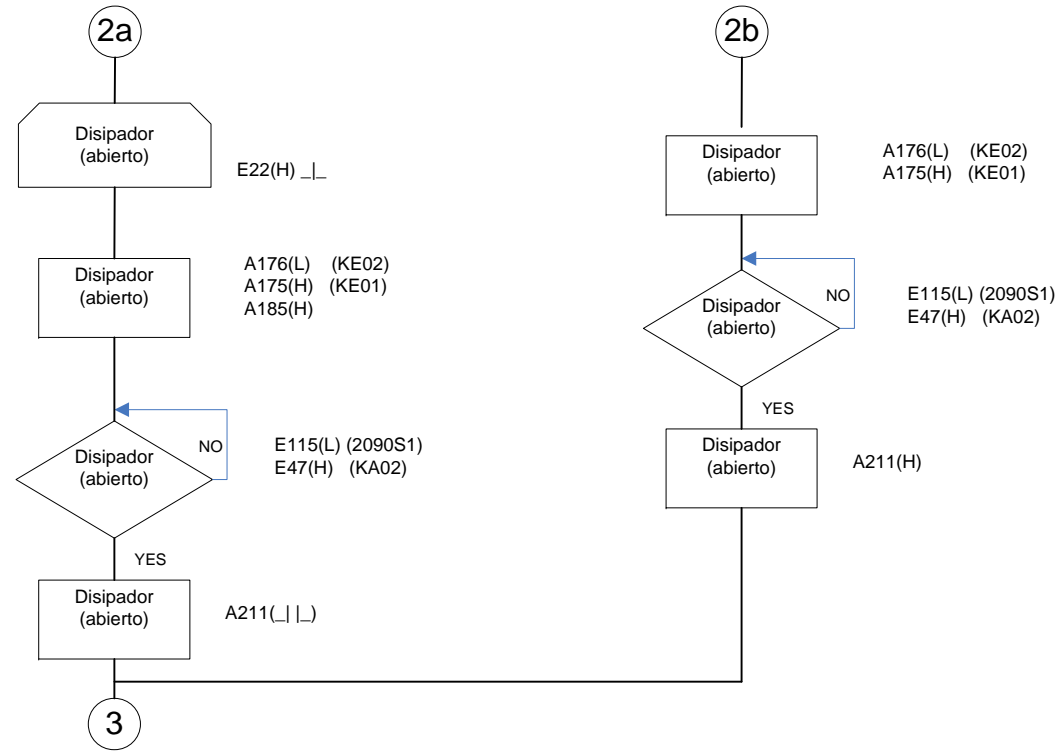






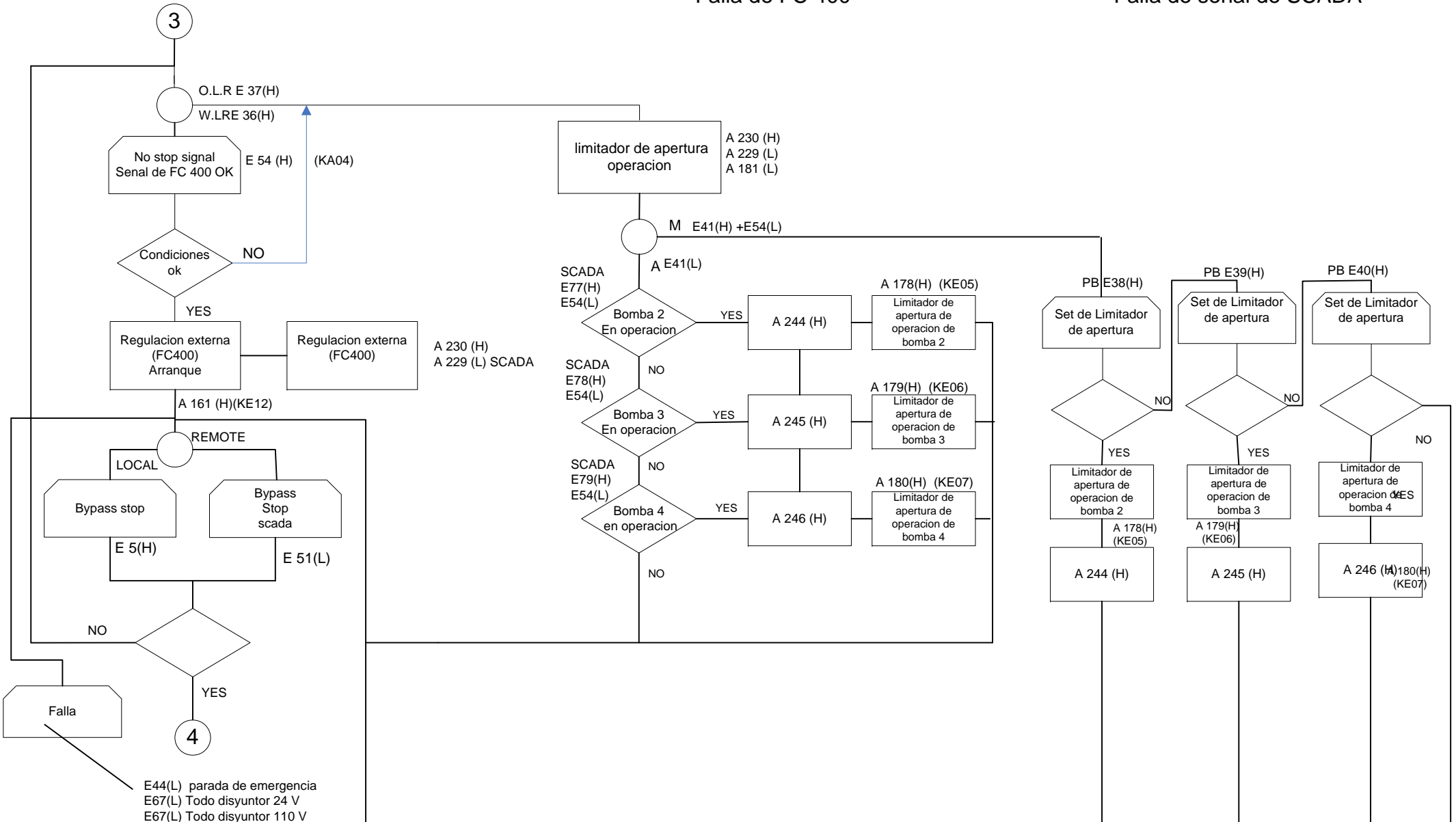
ANEXO 2 - DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PLC DE MÁQUINA



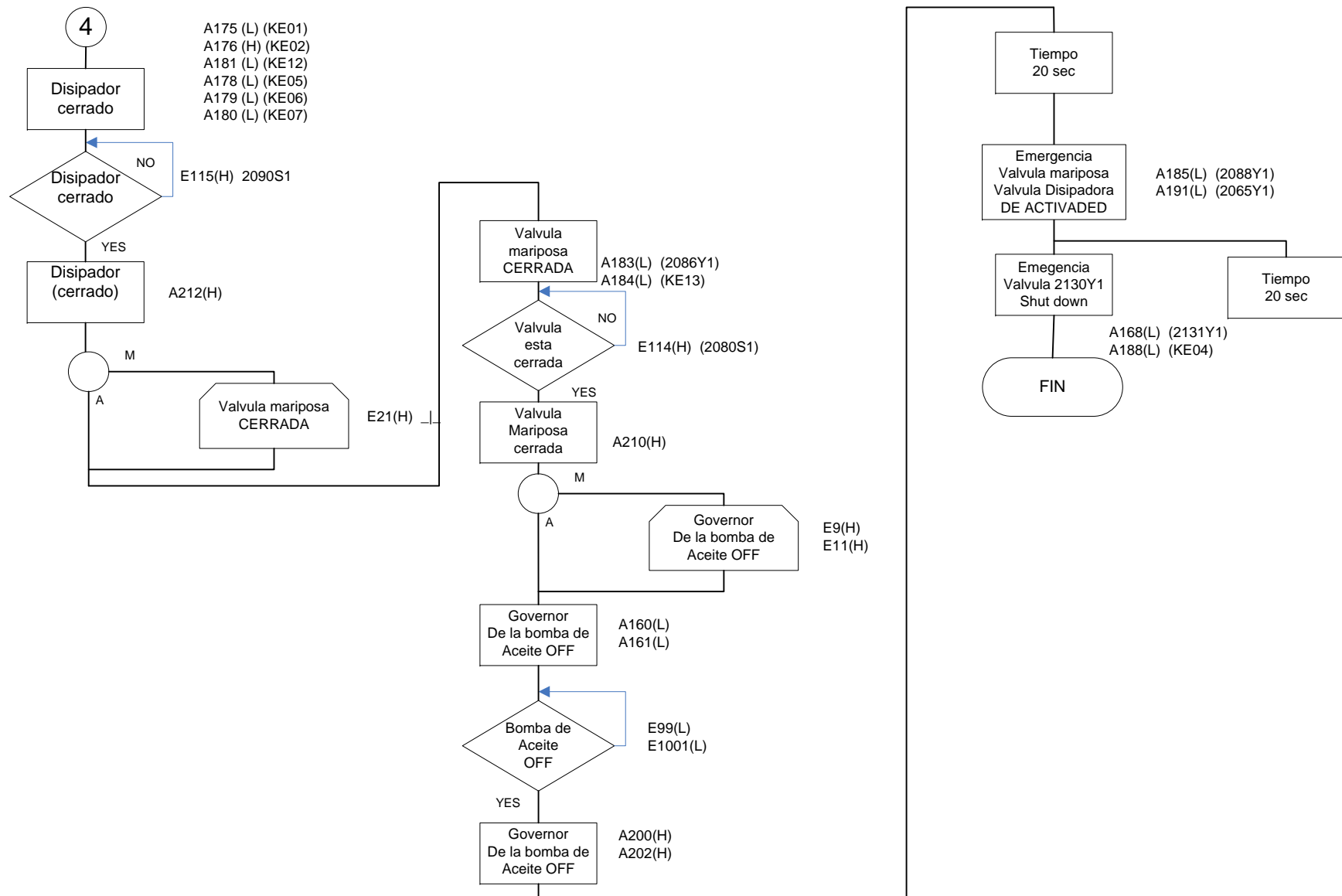


Falla de FC 400

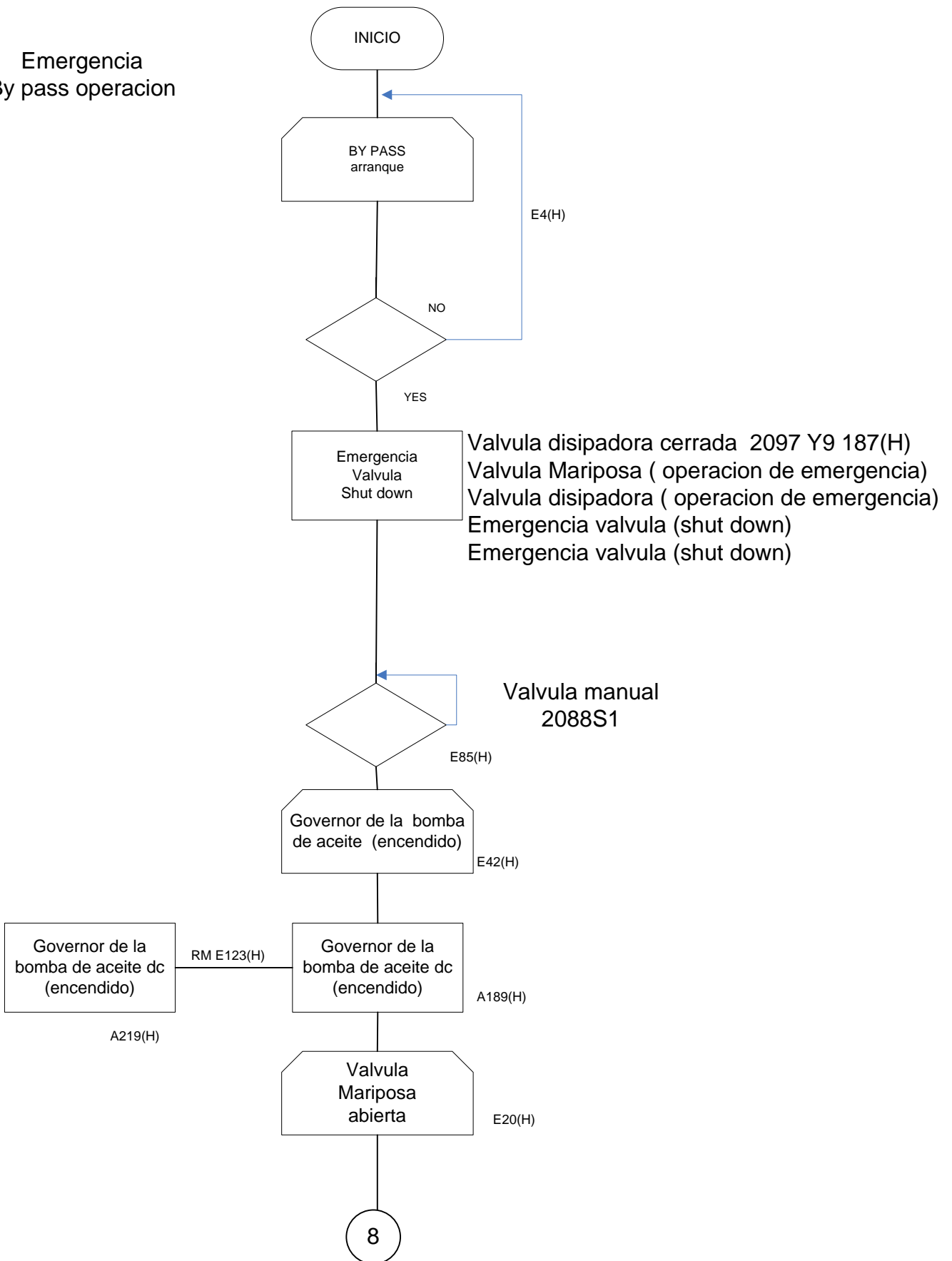
Falla de señal de SCADA

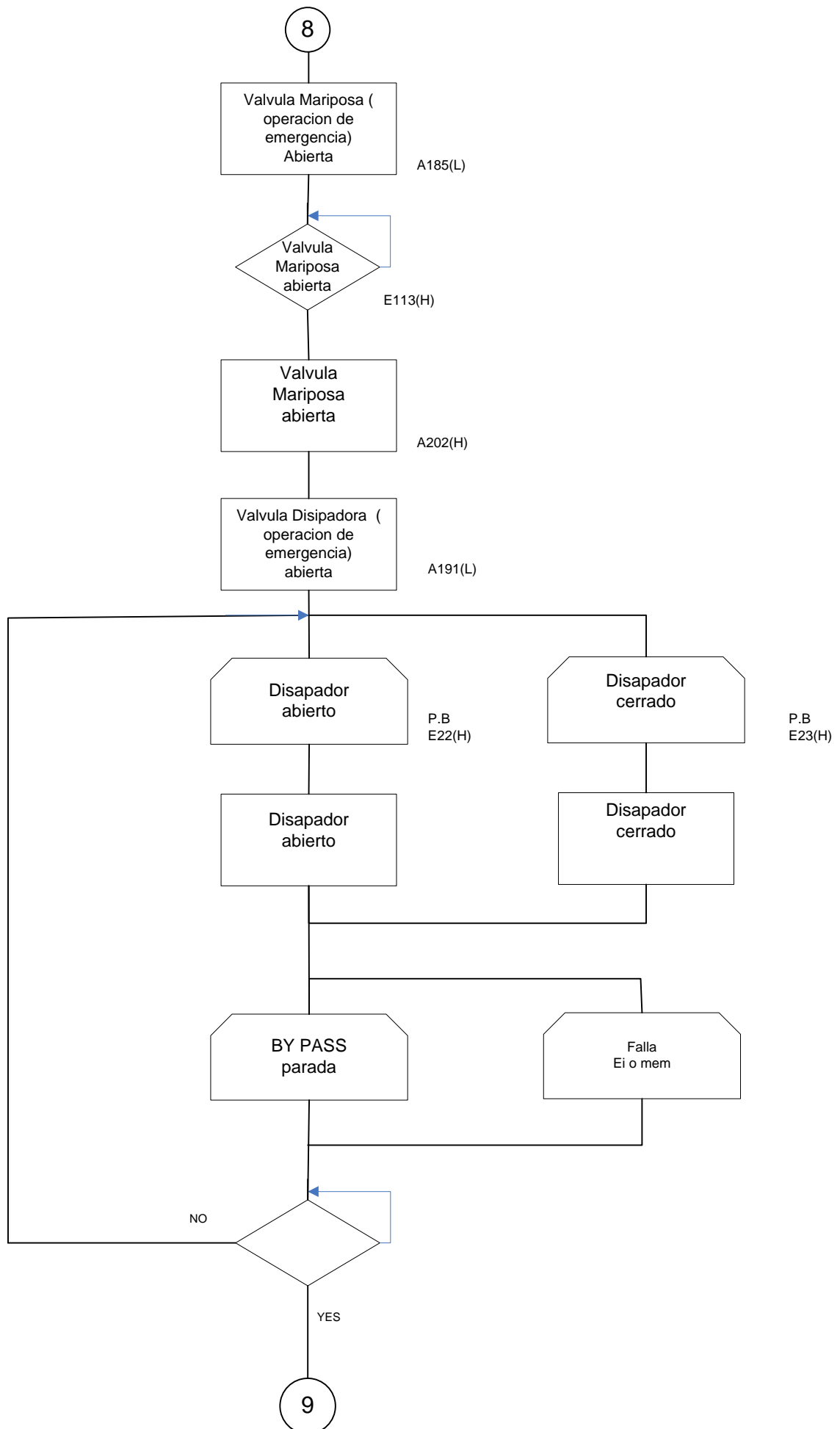


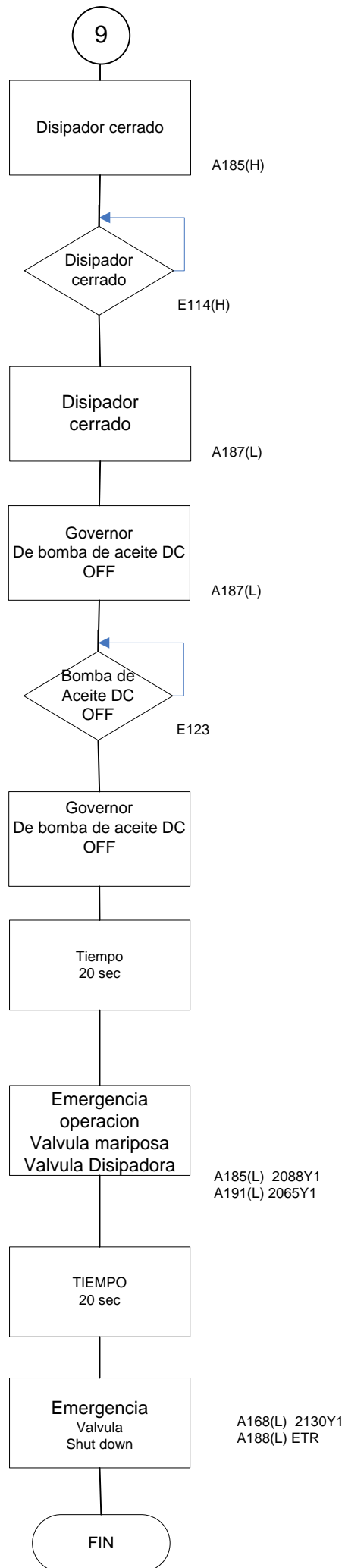
- E44(L) parada de emergencia
- E67(L) Todo disyuntor 24 V
- E67(L) Todo disyuntor 110 V
- E90(L)Regulacion de nivel de Aceite 1081S1
- E91(L)Regulacion de nivel de Aceite 1081S3
- E92(L)Regulacion de nivel de Aceite 1081S7
- E153(L) Bateria
- E71(L) 420 V, AC presente



Emergencia
By pass operacion

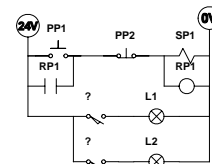
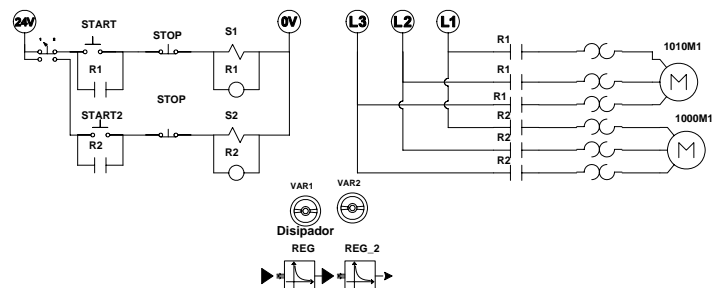
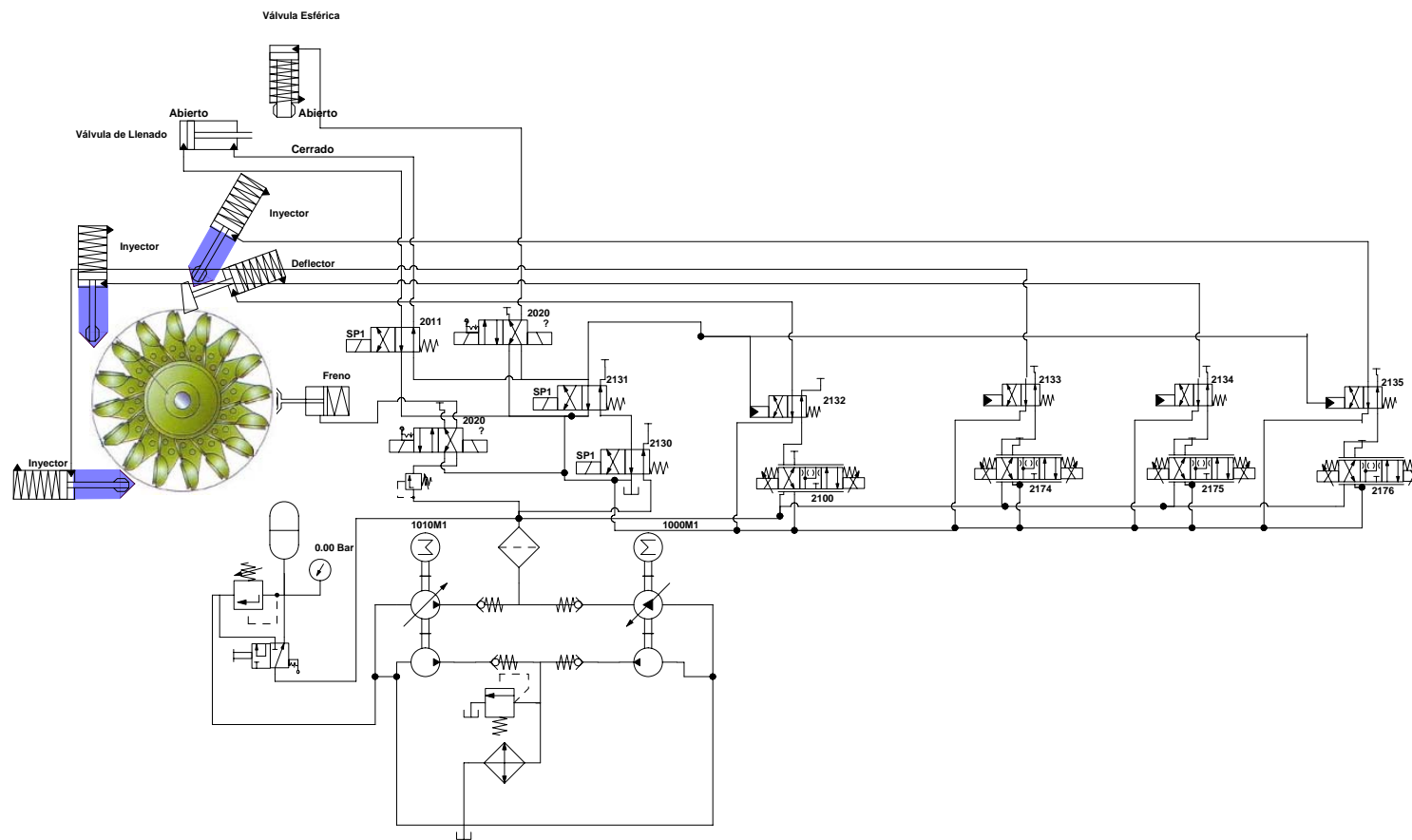


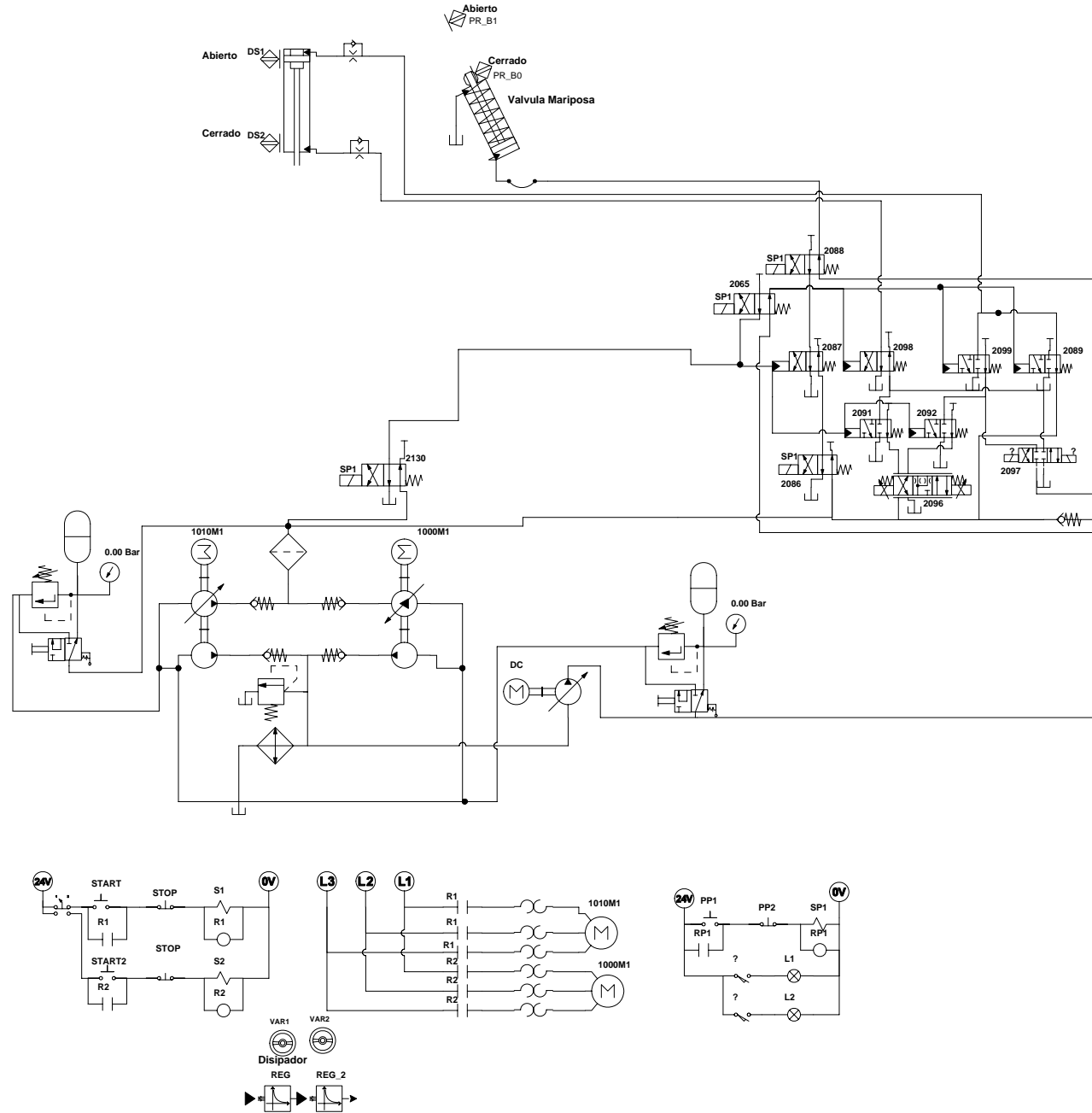




ANEXO 3

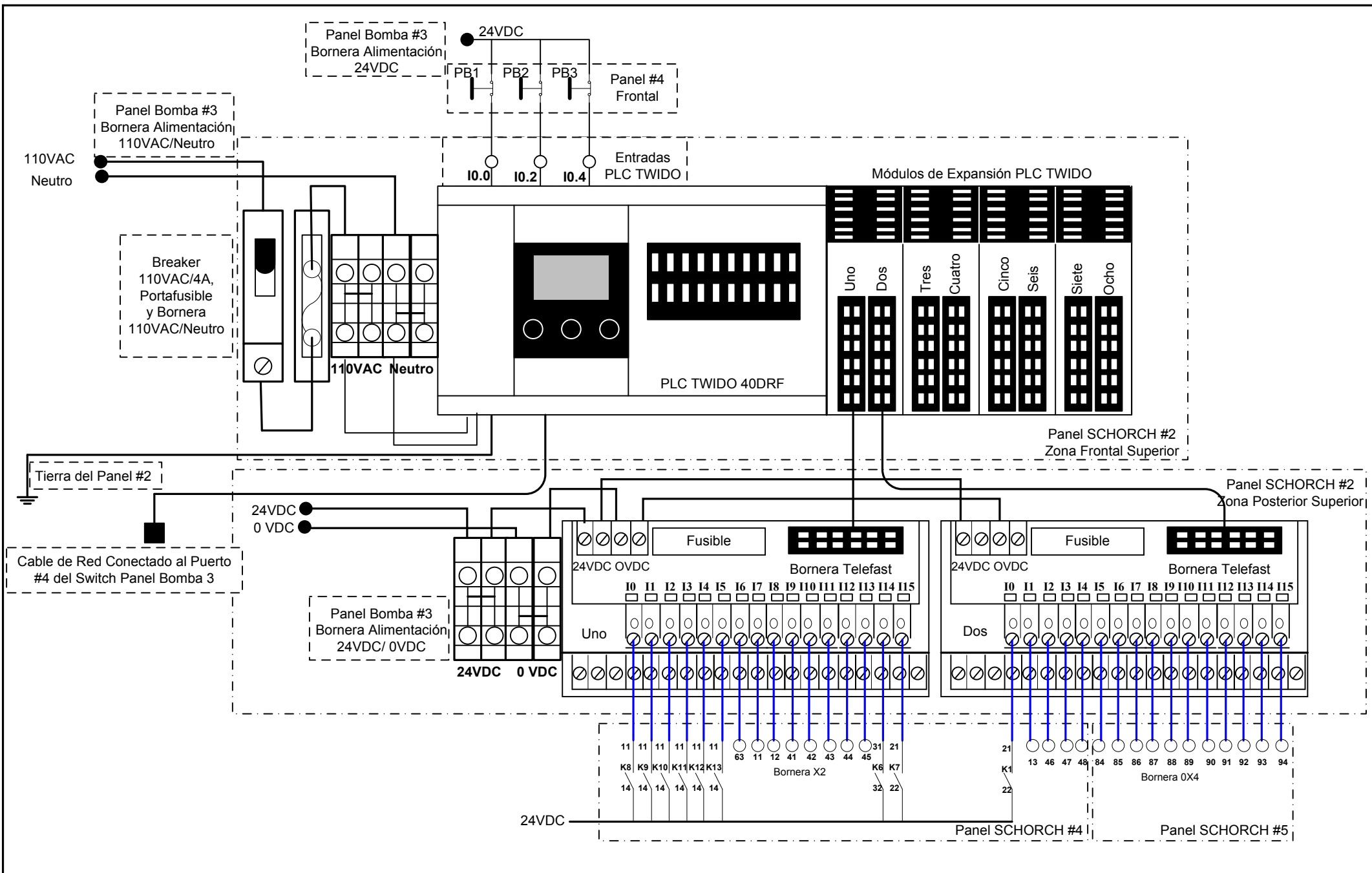
Esquemas de Simulación de la Turbina y el Bypass

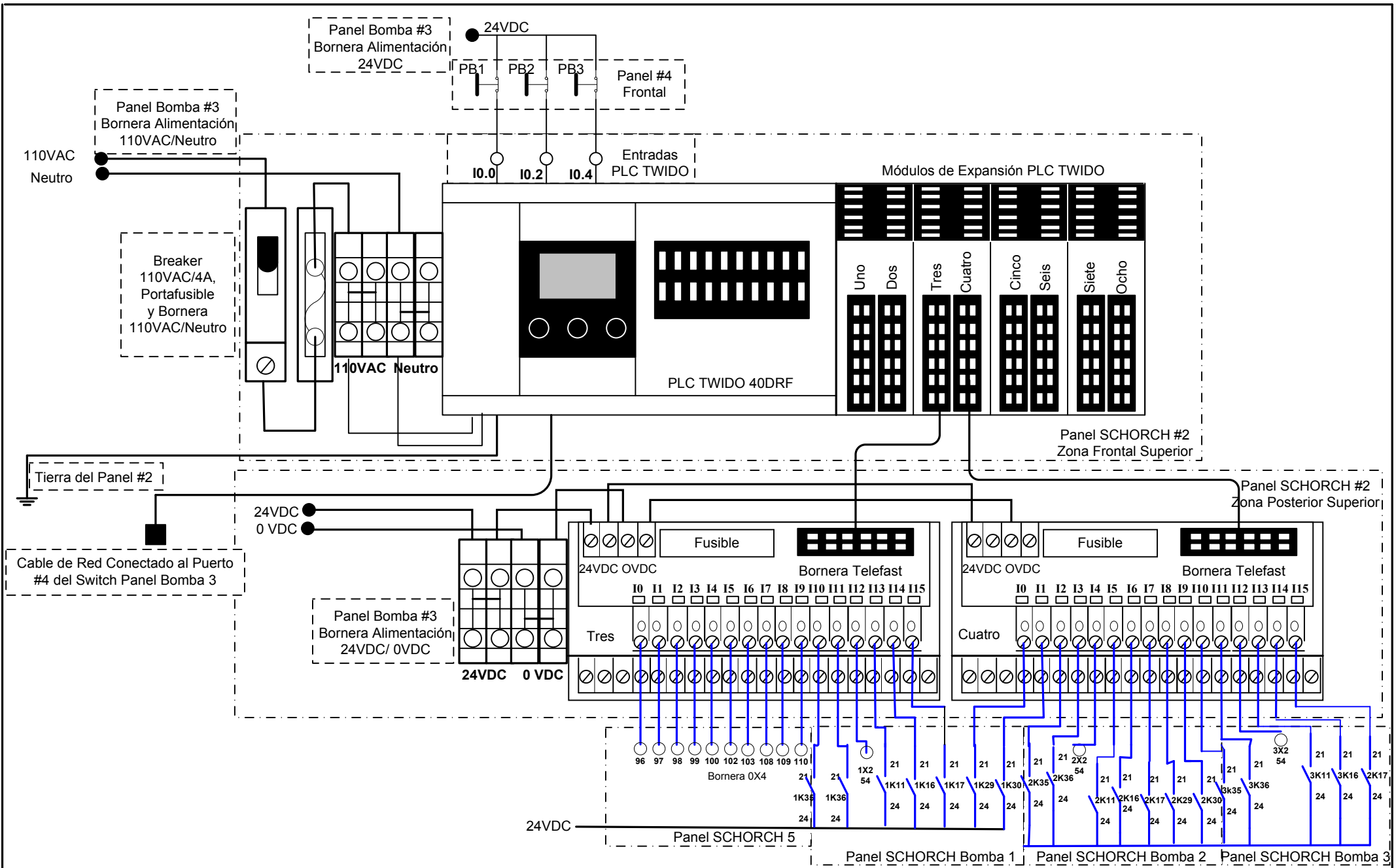


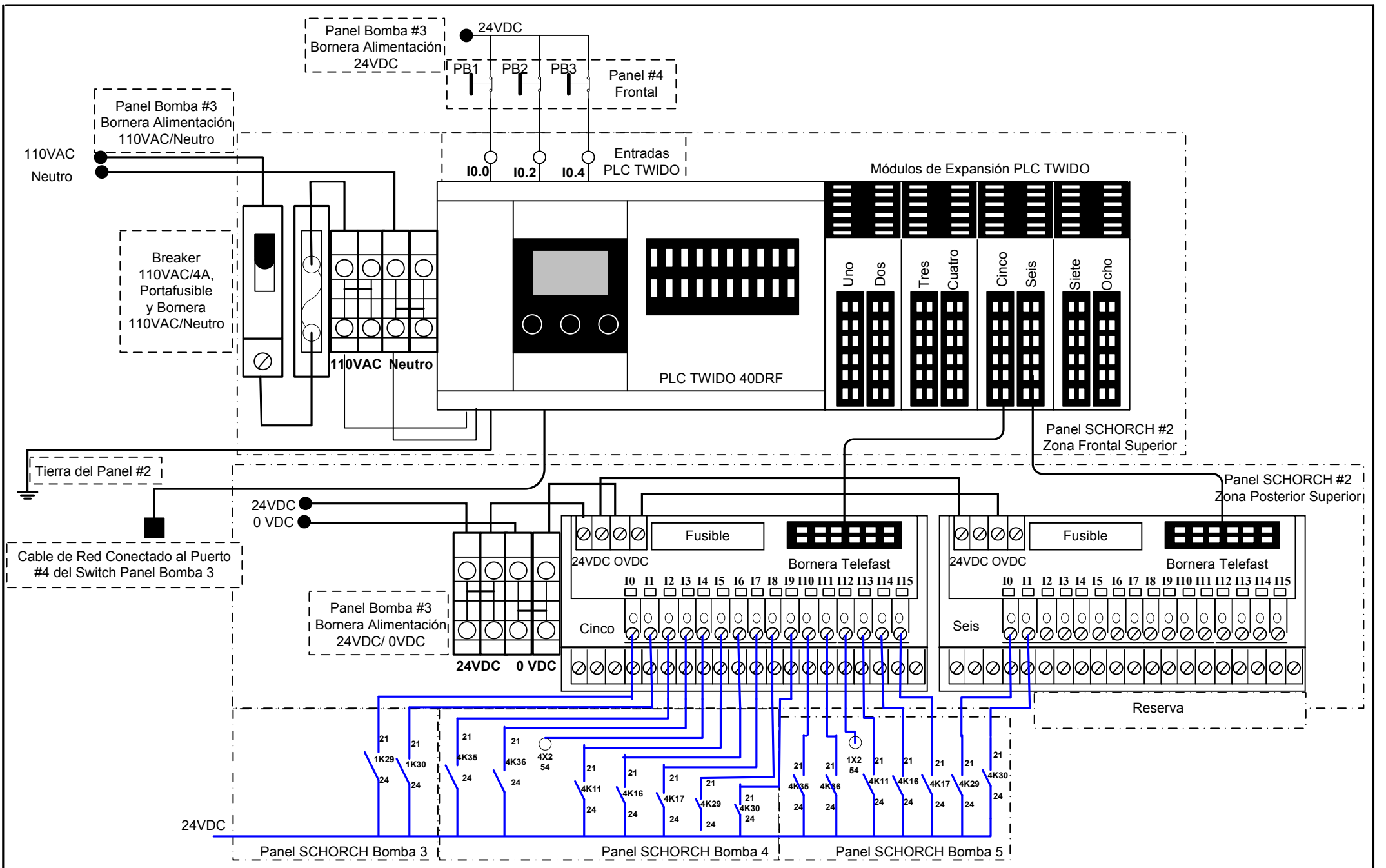


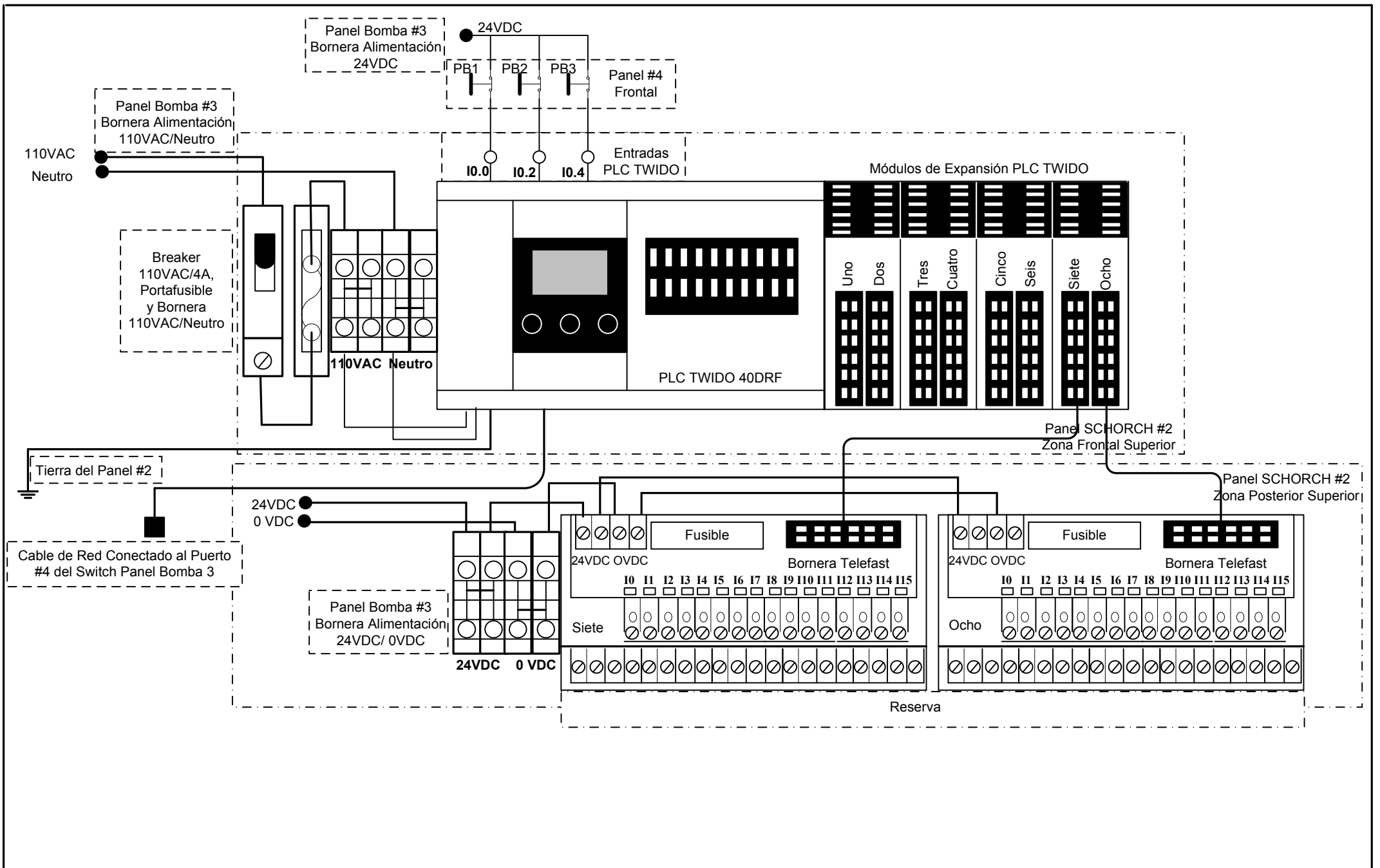
ANEXO 4

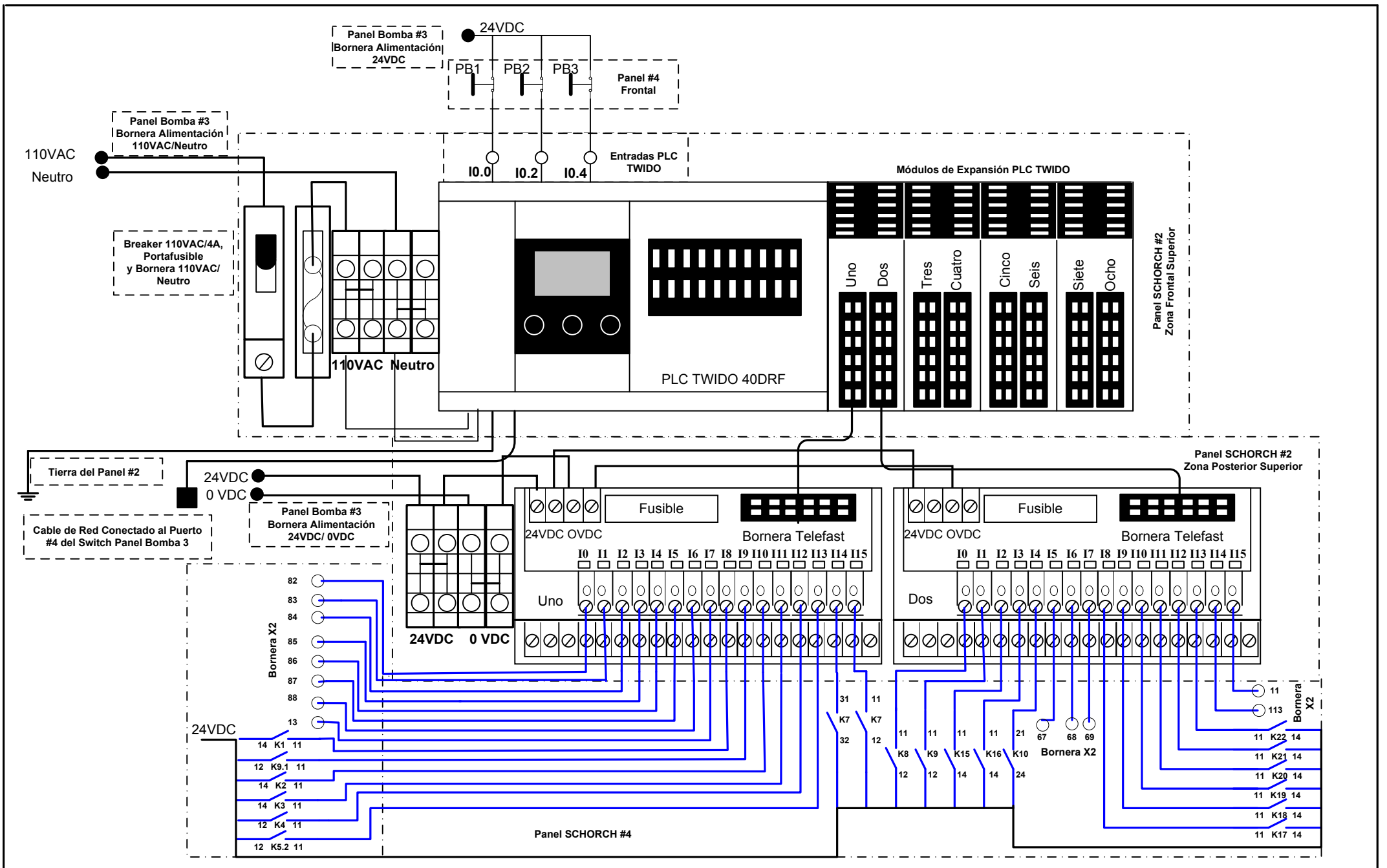
Diagramas de Conexión

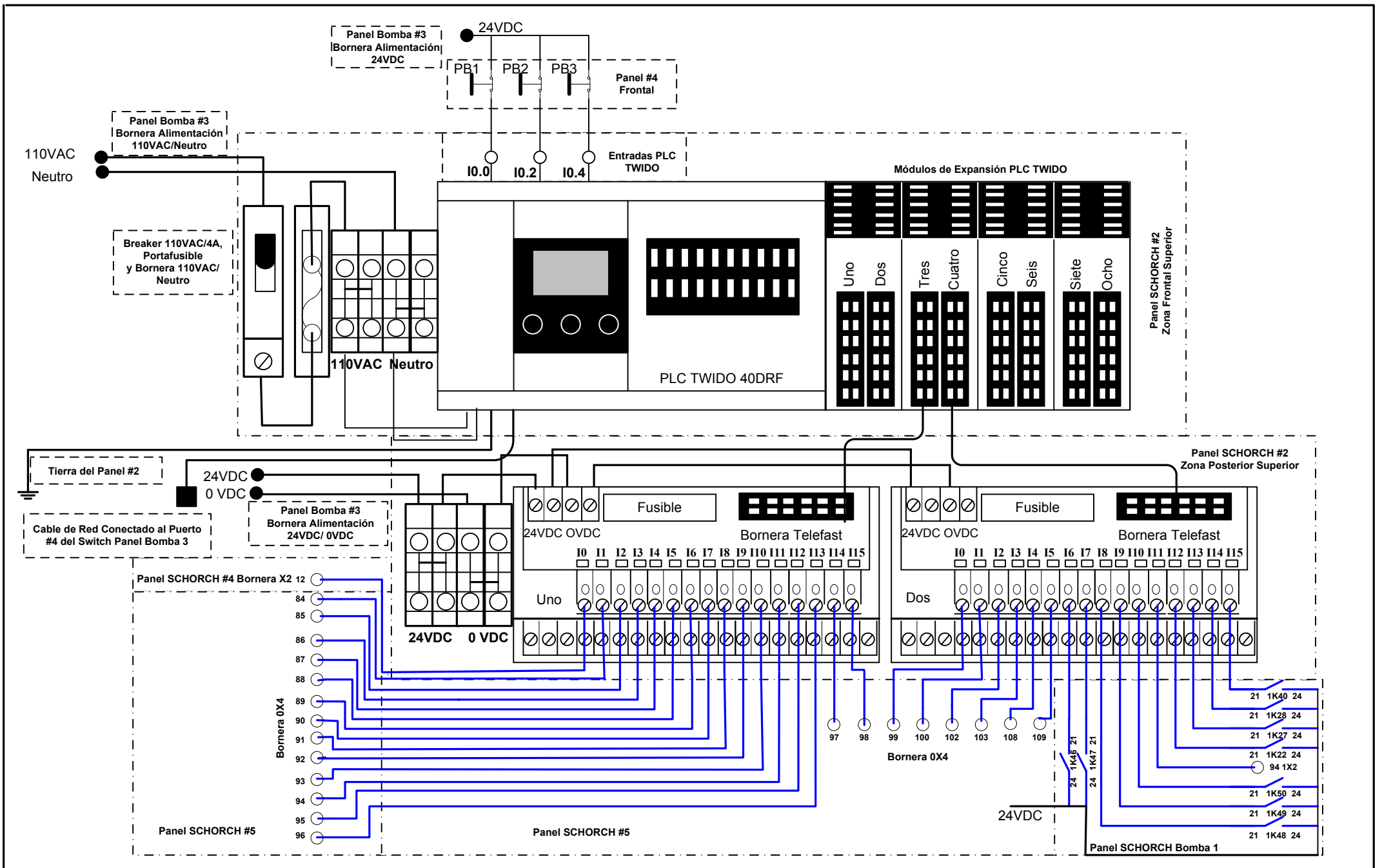


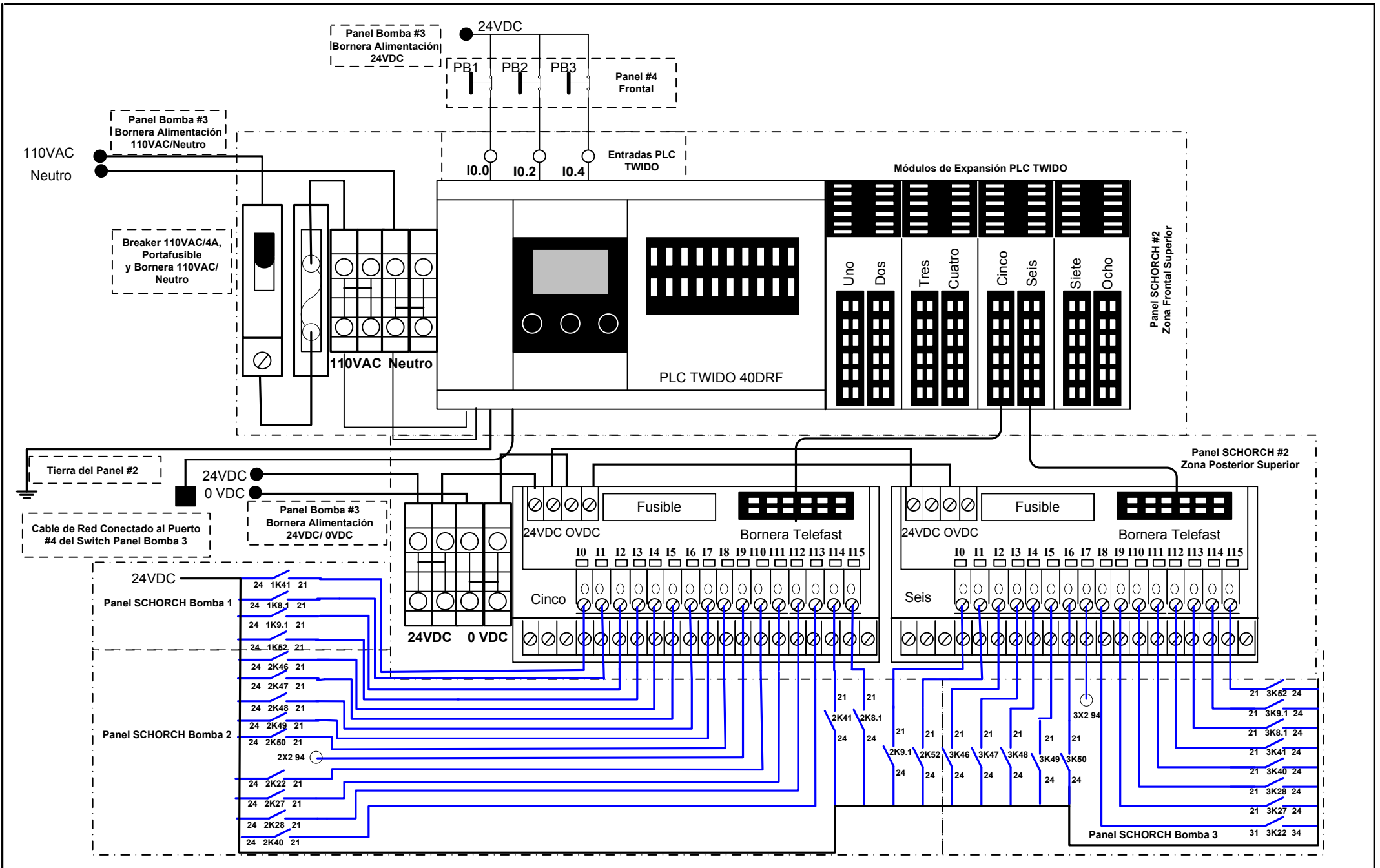


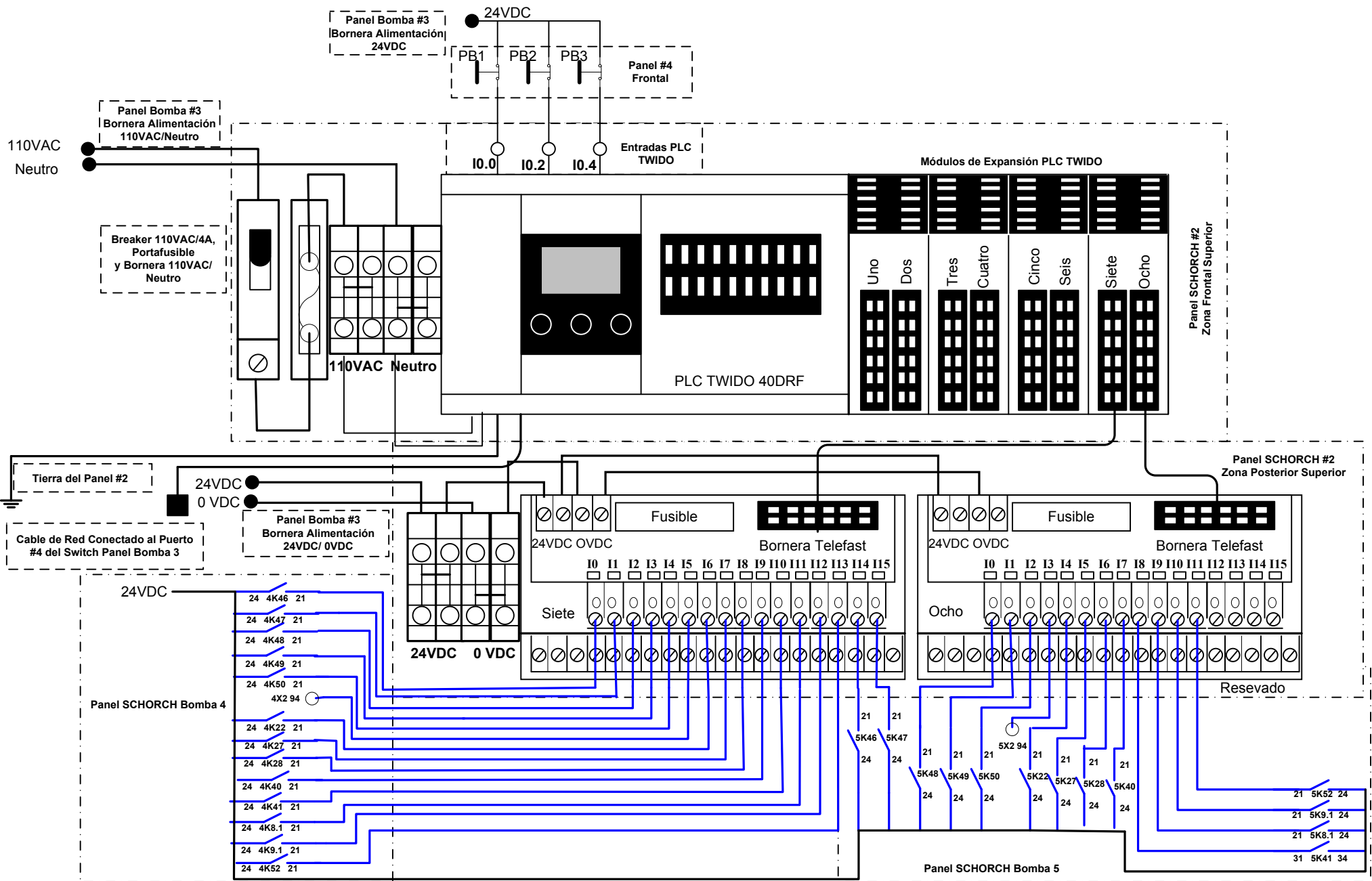


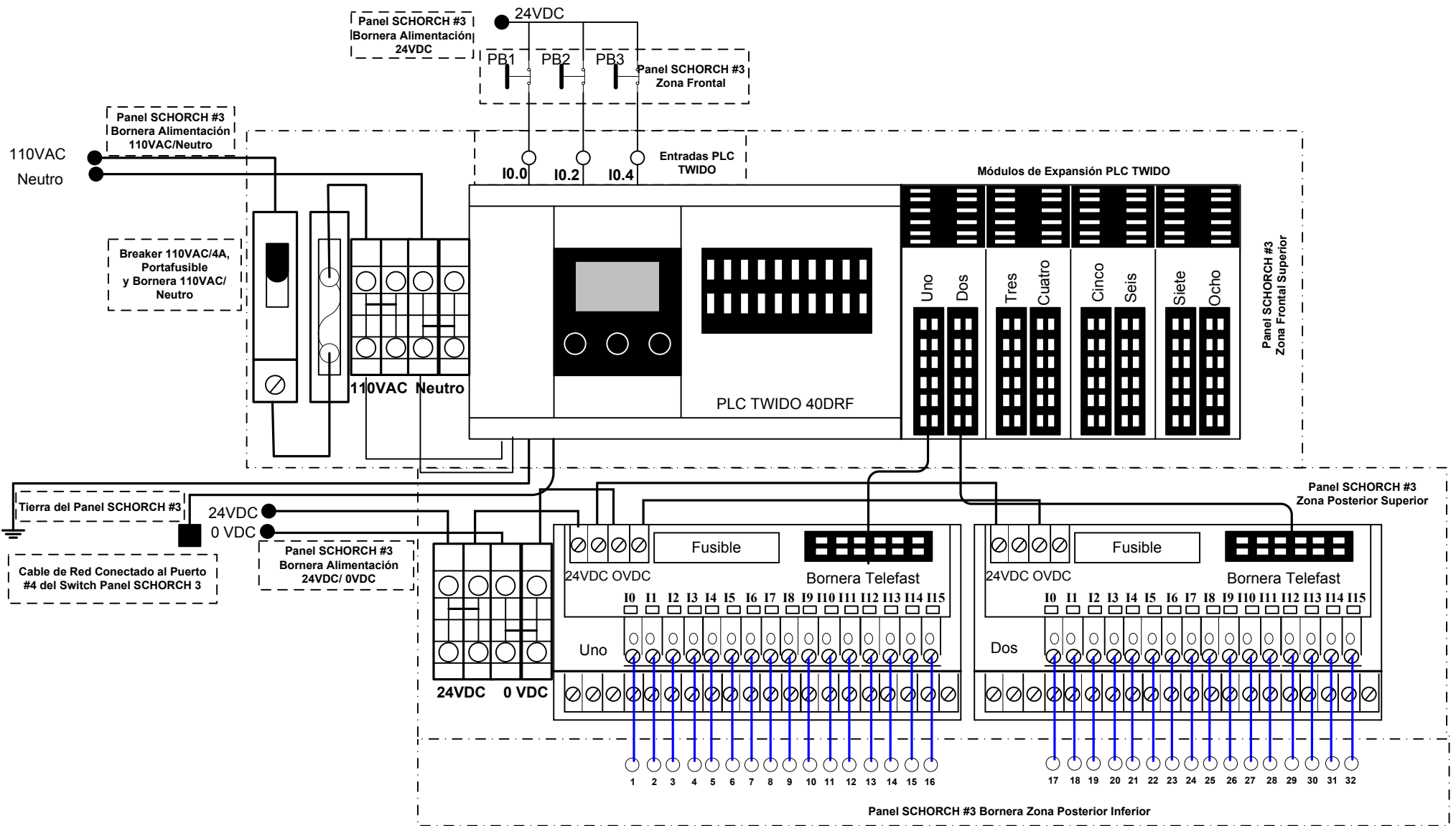


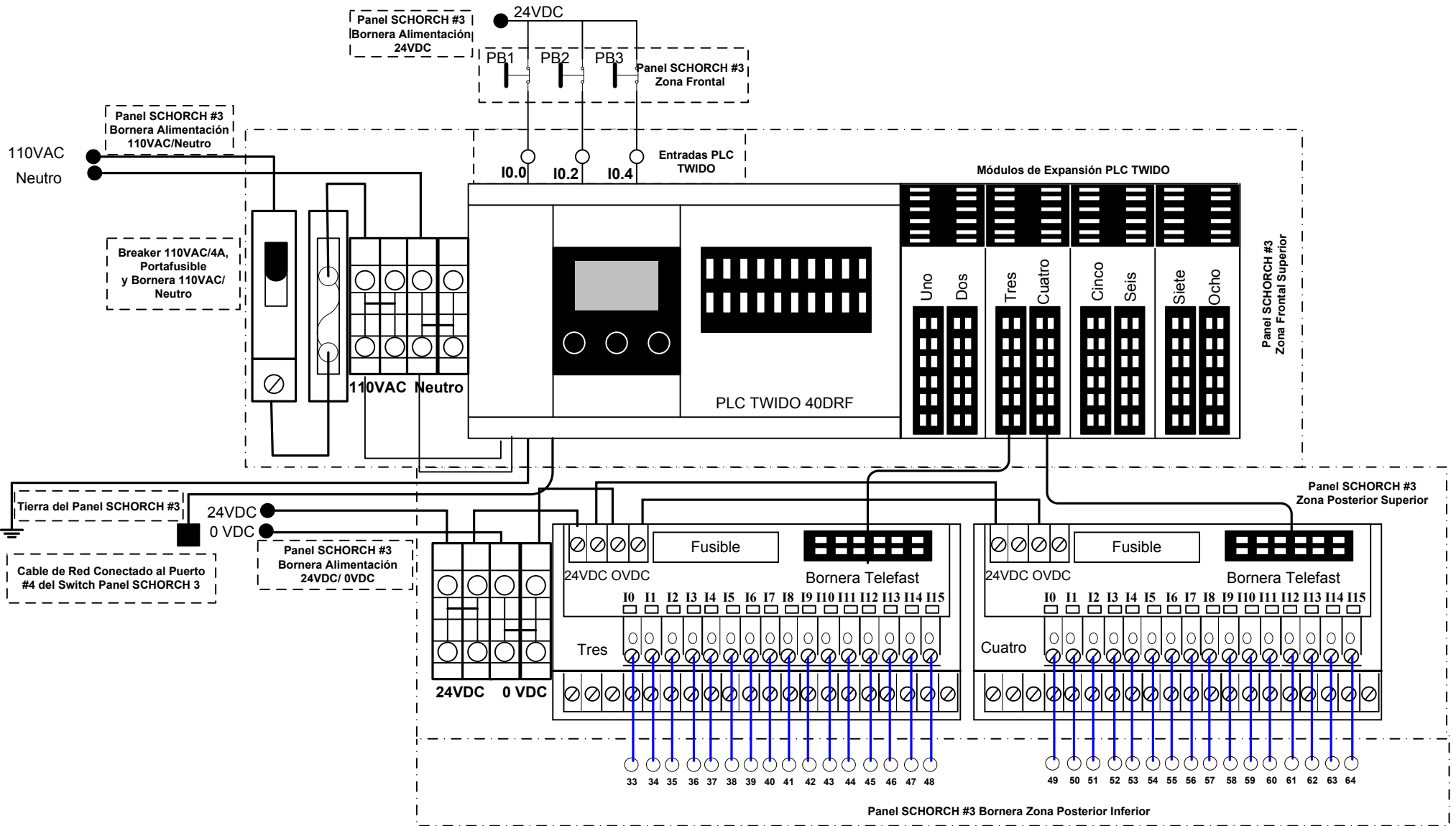


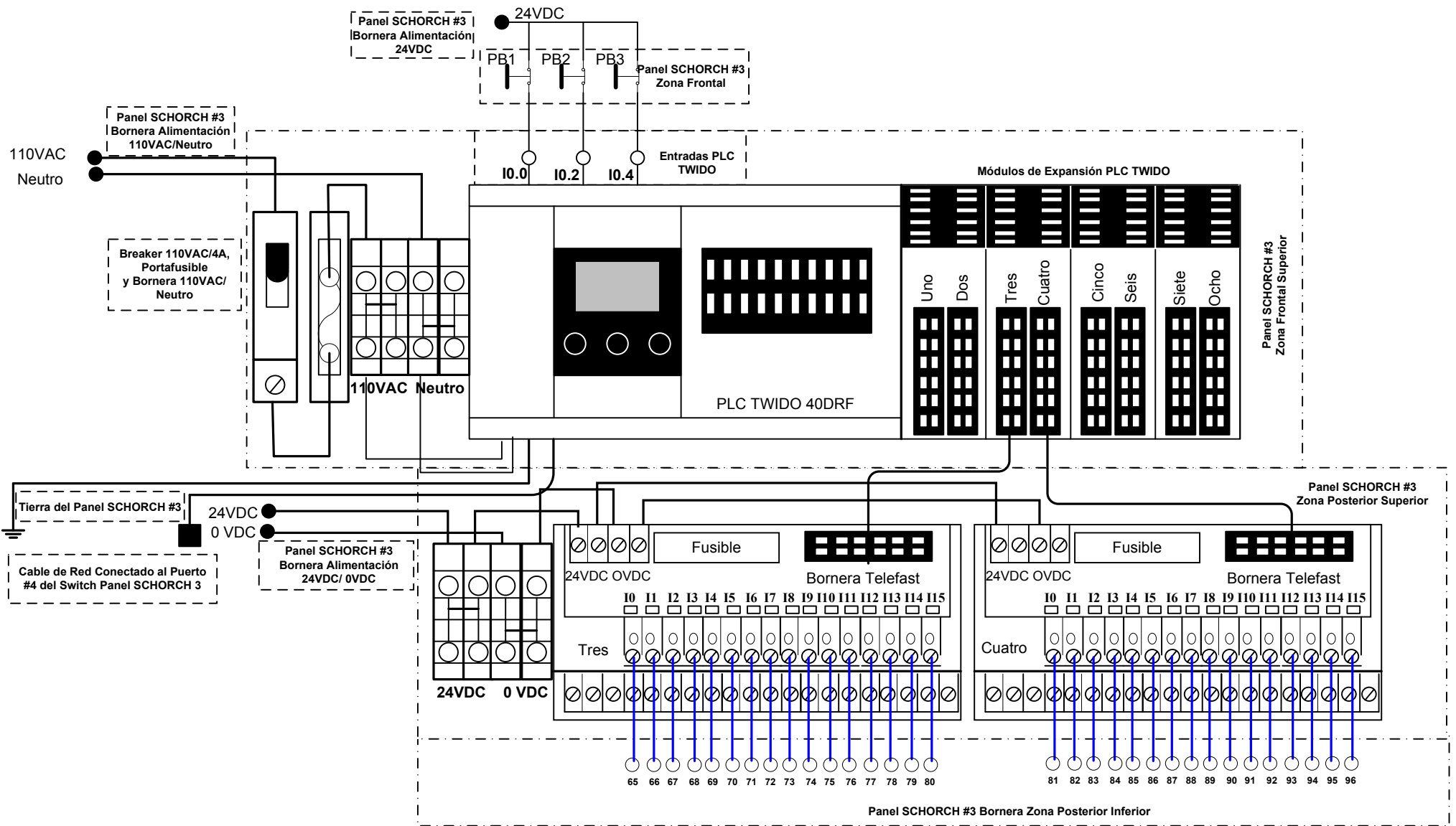


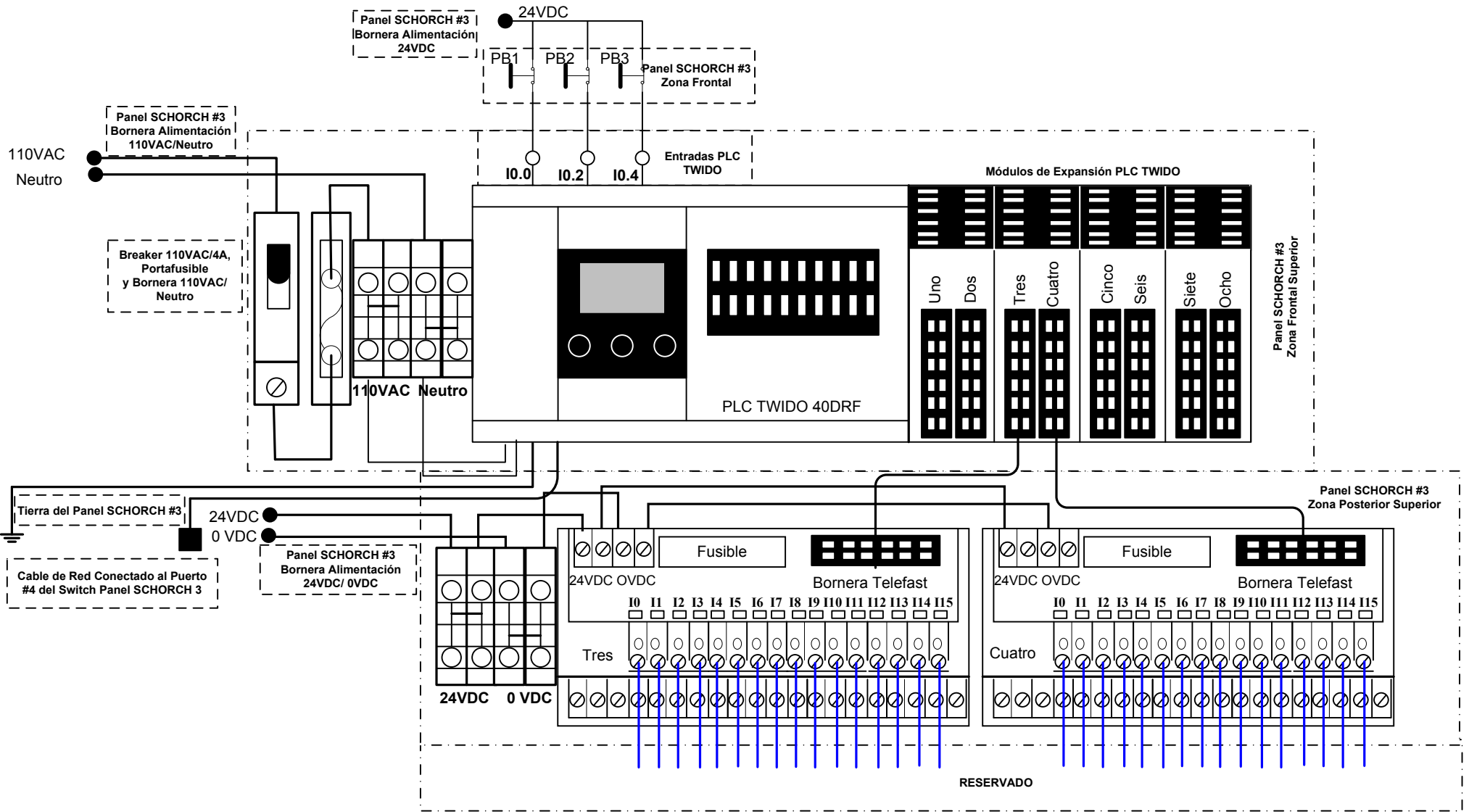


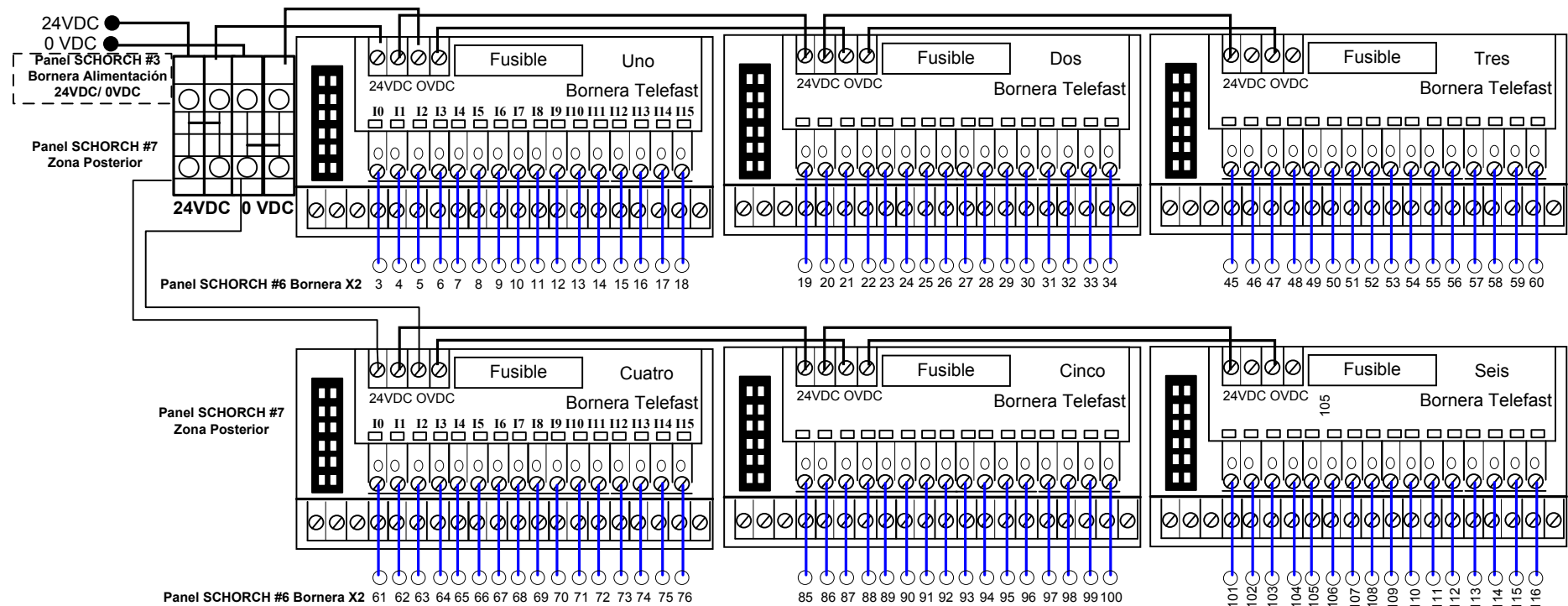
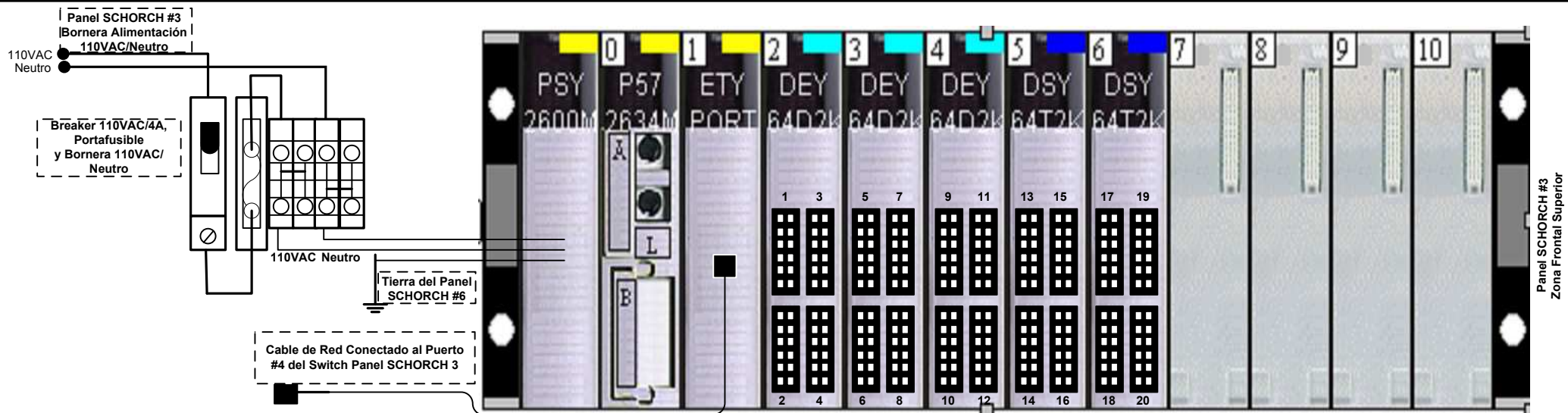


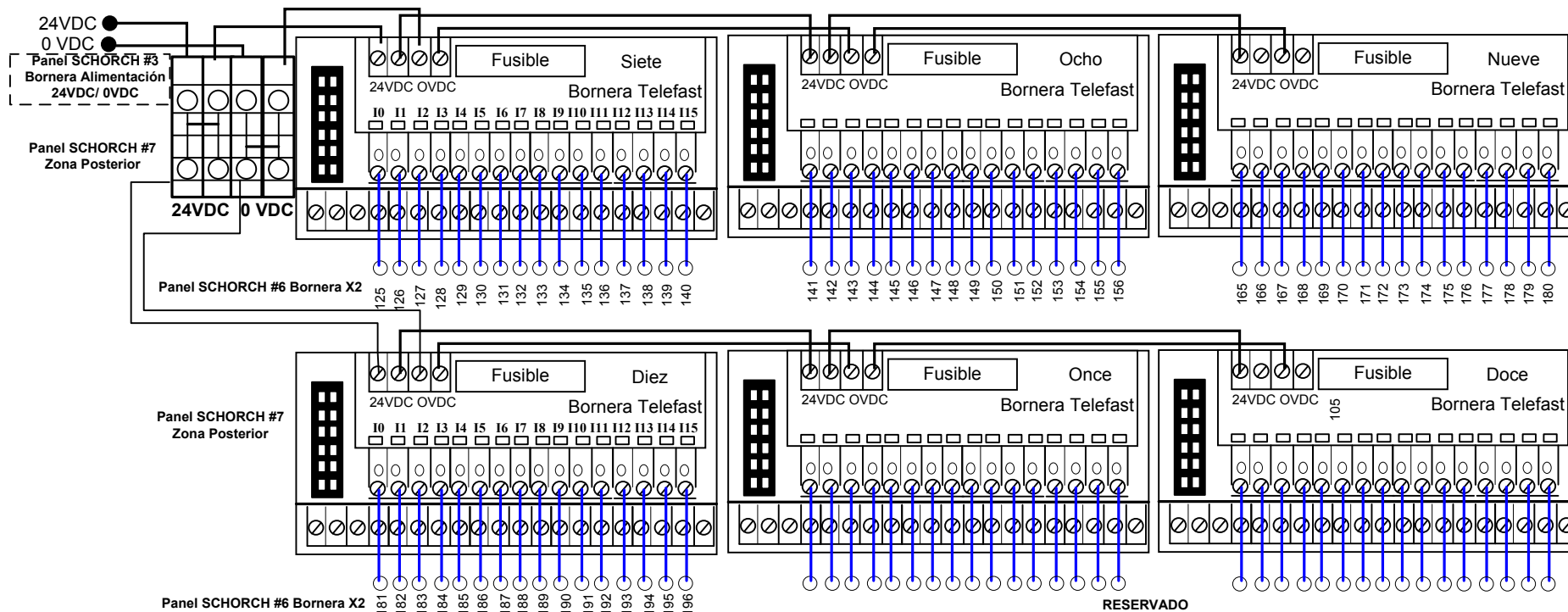
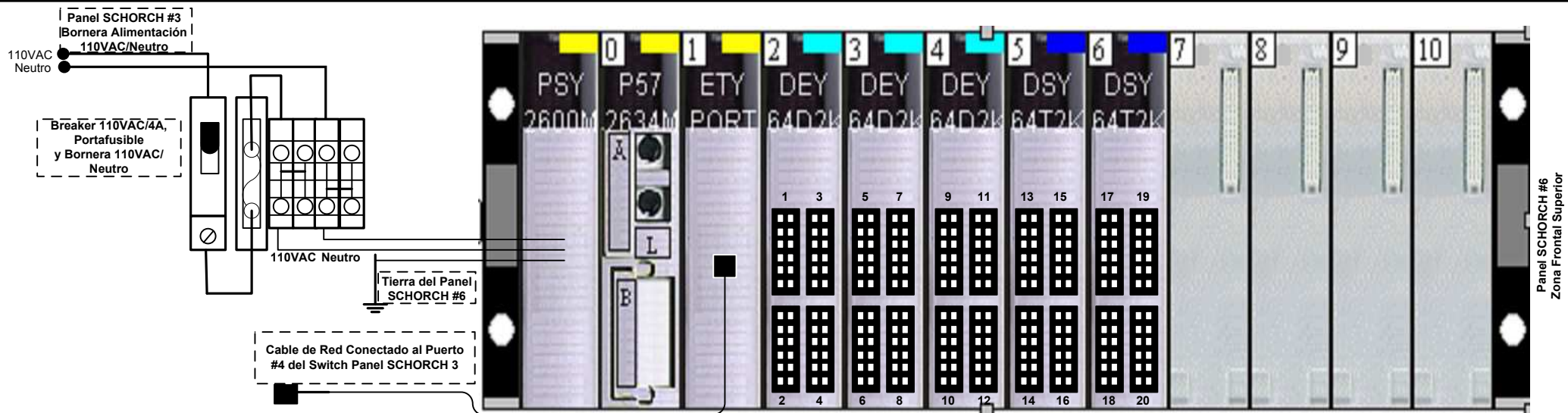


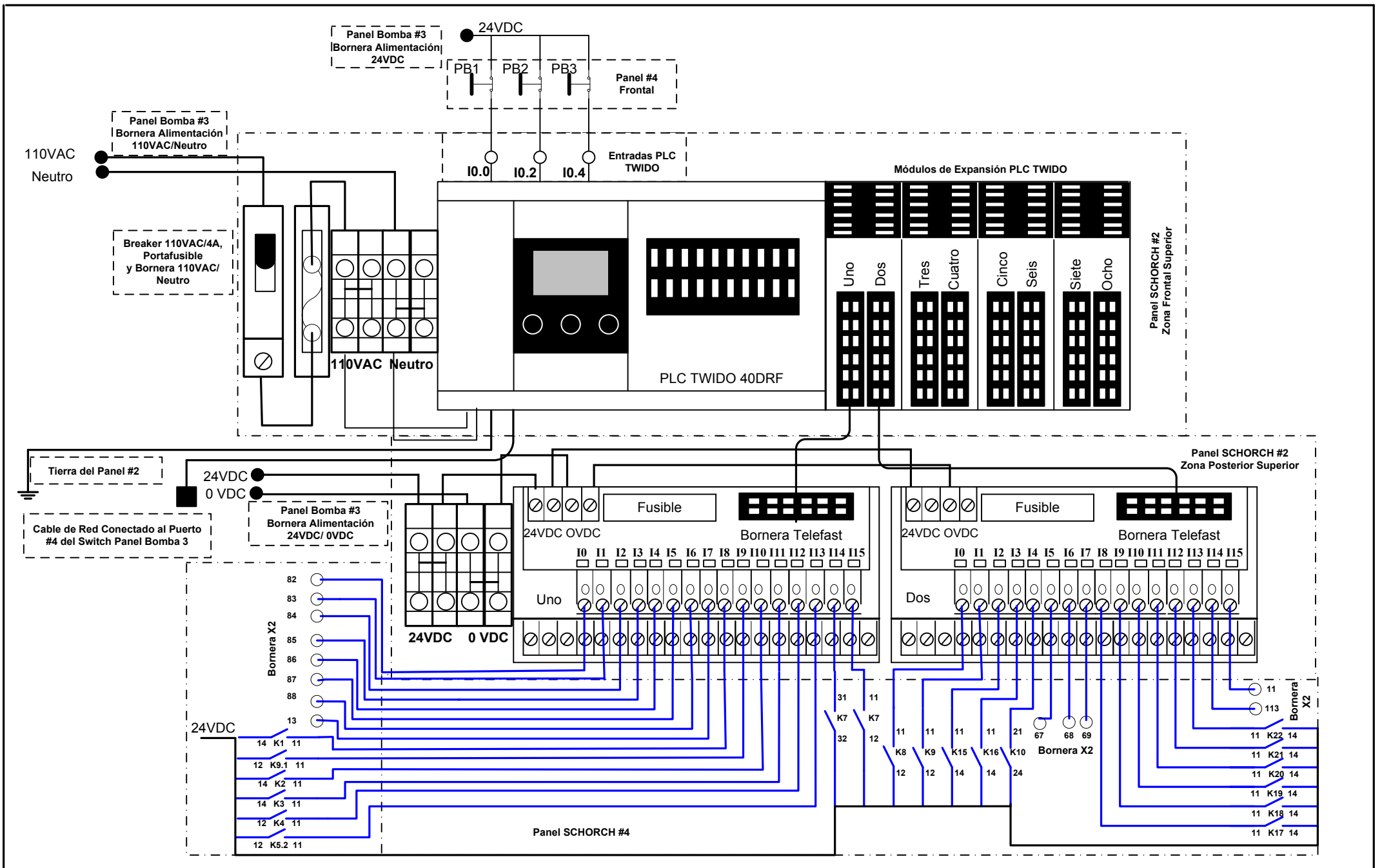


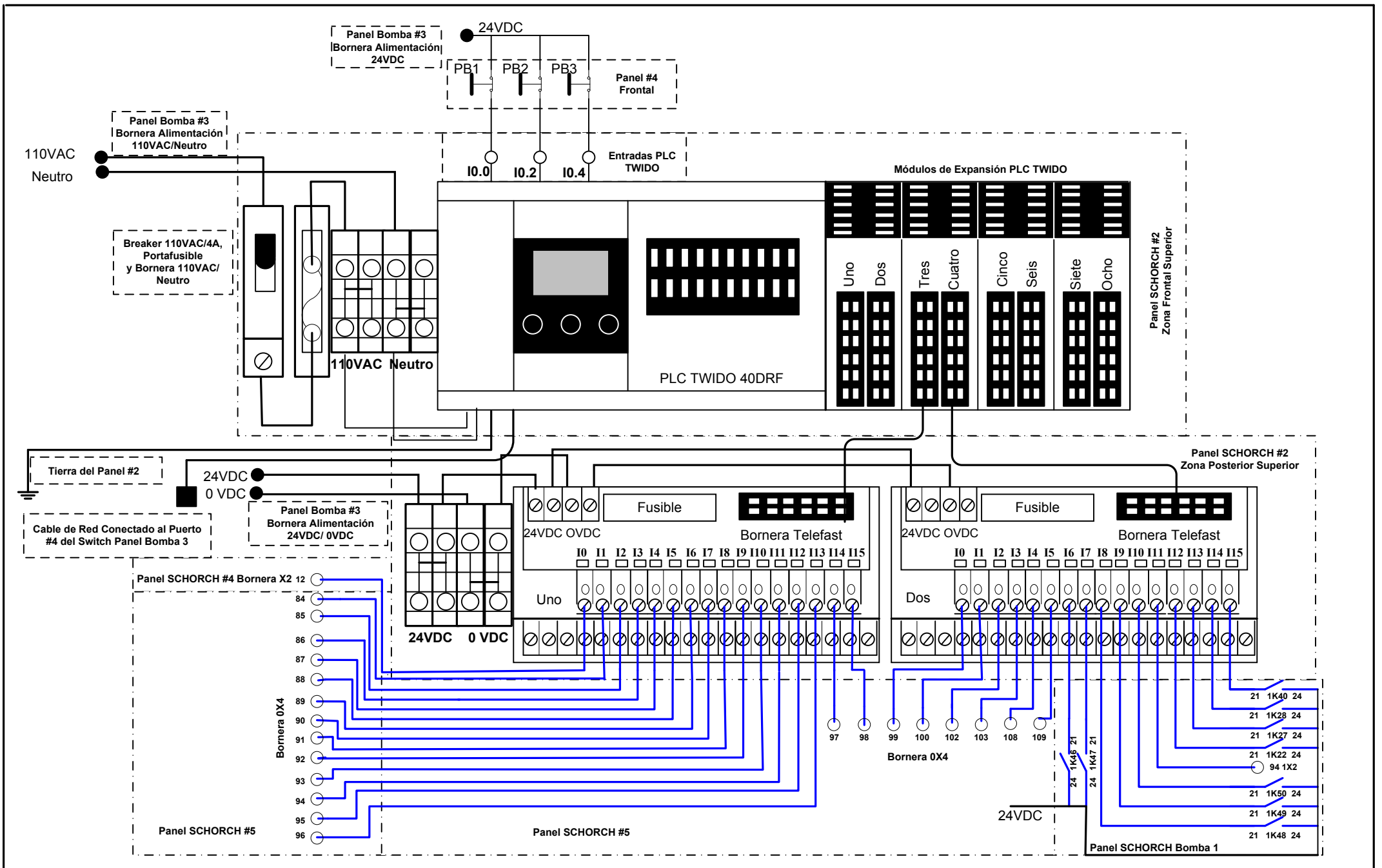


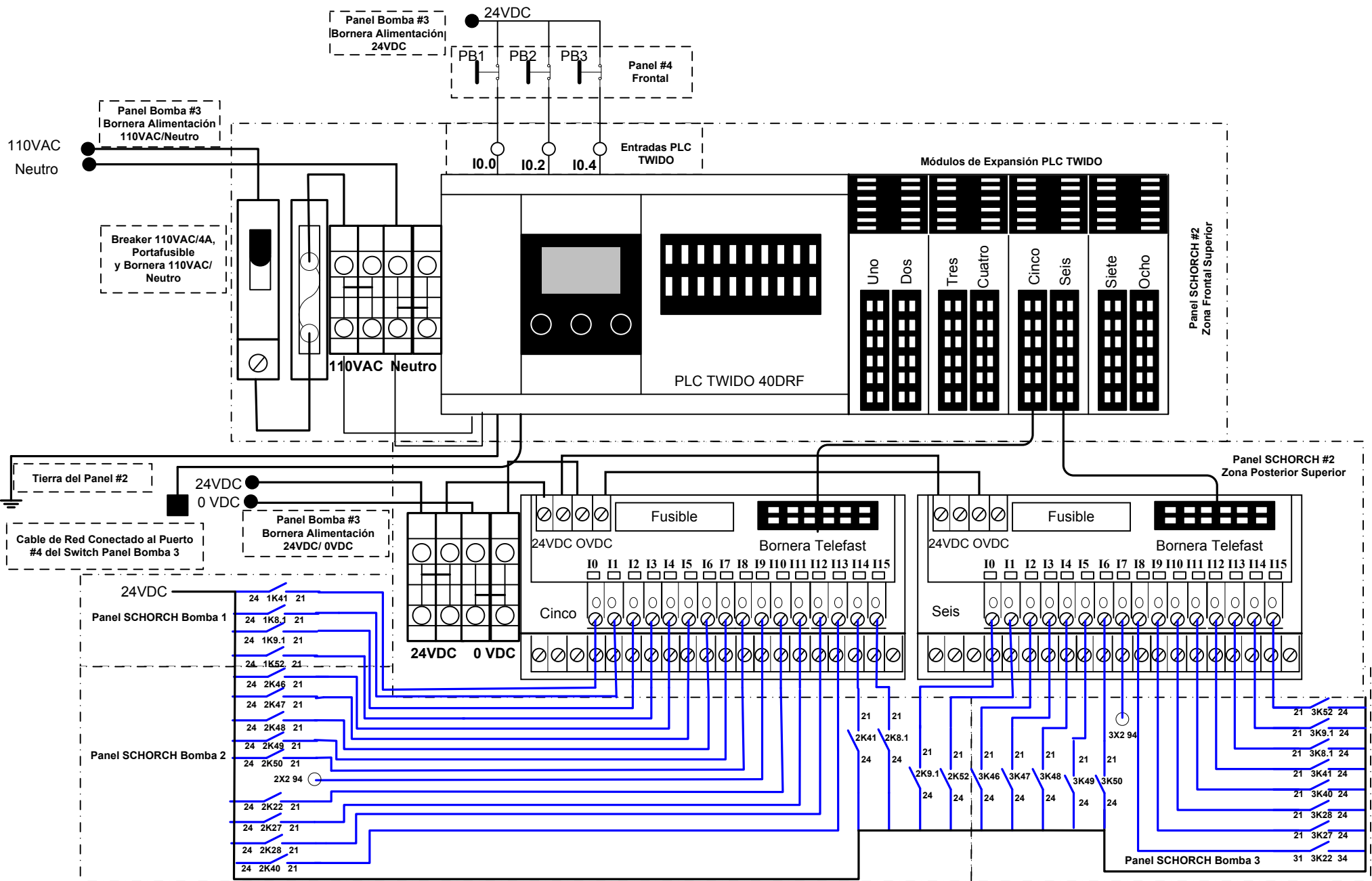


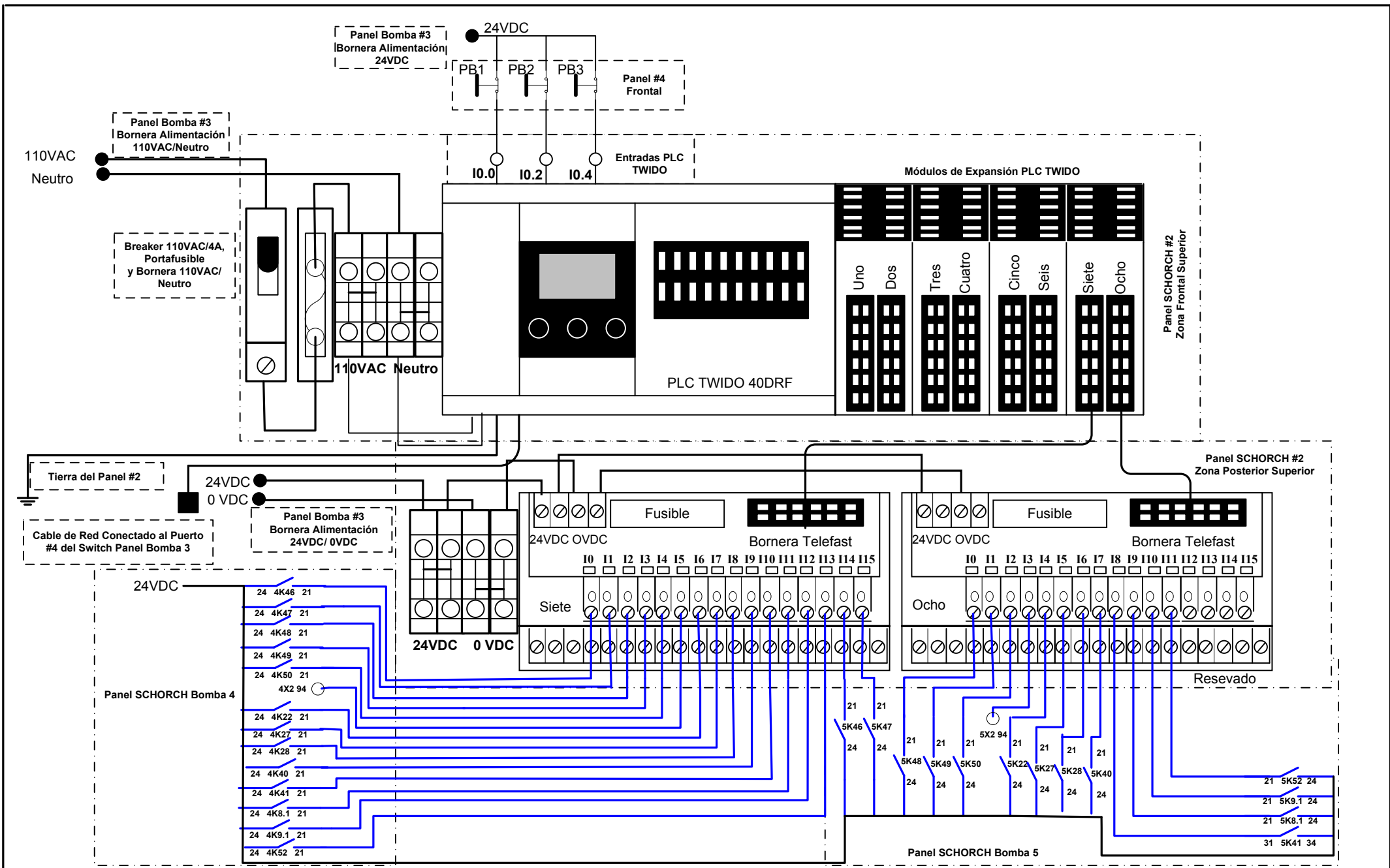












ANEXO 5

Presupuesto del Proyecto

Cantidad	Nombre	Características	Precio Unitario	Subtotal
4	TWD LCA 40DRF	PLC TWIDO ETHERNET	702,83	2811,32
16	TWD DDI 32DK	MODULO EXPANSIÓN DE 32 ENTRADAS	187,01	2992,16
32	ABE 7E16EPN20	TELEFAST (BORNERAS) PARA MODULOS DDI32DK	106,91	3421,12
8	ABF T20E050	CONECTOR PARA MODULOS DDI32DK	13,75	110
16	ABF T20E100	CONECTOR PARA MODULOS DDI32DK	16,31	260,96
8	ABF T20E200	CONECTOR PARA MODULOS DDI32DK	21,76	174,08
1	TSX P57 2623M	CPU PLC ETHERNET PREMIUM	3594,69	3594,69
1	TSX RKY12	RACK PARA PLC	165,73	165,73
1	TSX PSY2600	FUENTE PARA PLC	169,24	169,24
3	TSX DEY 64D2K	MODULO EXPANSION 64 ENTRADAS	322,95	968,85
2	TSX DSY 64T2K	MODULO EXPANSIÓN DE 64 SALIDAS	389,04	778,08
12	ABE 7H16R11	TELEFAST (BORNERAS) PARA MODULOS DE 16 ENTRADAS	73,73	884,76
8	ABE 7H16S21	TELEFAST (BORNERAS) PARA MODULOS DE 16 SALIDAS	141,28	1130,24
20	TSX CDP 203	CABLE PARA CONECCION MODULOS I/O	44,87	897,4
1	Unity Pro	SOFTWARE PARA PLC PREMIUM	2137,11	2137,11
1	MULTIFUNC	CABLE DE PROGRAMACIÓN	170	170
7	BREAKERS	5 AMPERIOS	11,89	83,23
7	PORTA FUSIBLES	3 AMPERIOS	3,78	26,46
20	ROLLOS DE CABLE	AWG 18	16,35	327
1	ROLLO DE CABLE	AWG 14	21,7	21,7
4	PAQUETES	MARQUILLAS	1,66	6,64
10	PAQUETES TAIPE		1,78	17,8
2	AMARRAS	PAQUETES 100 UNIDADES	7,54	15,08
1000	TERMINALES	TIPO PIN PARA CABLE AWG18	0,06	60
4	METROS RIEL	DIN	7,05	28,2
200	BORNERAS	PARA RIEL DIN	0,47	94
100	BORNERAS	PARA RIEL DIN TIERRA	0,49	49
5	CABLES DE RED	DIRECTOS	3,75	18,75

SUBTOTAL	21413,6
IVA	2141,36
TOTAL	23554,96

Nota: Estos valores están referenciados al 17/07/2006 día en que se realizó la cotización del presente Proyecto

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

	Página
Figura 1.1.- Ubicación del Sistema Papallacta Integrado	2
Figura 1.2.- Captaciones Principales del Sistema Papallacta	2
Figura 1.3.- Estación Elevadora	5
Figura 1.4.- Estación Booster I	6
Figura 1.5.- Estación Booster II	7
Figura 1.6.- Estación Recuperadora	9
Figura 1.7.- Subestaciones	10
Figura 1.8.- Papallacta Optimización	12
Figura 1.9.- Terminales SCADA Bellavista	13
Figura 1.10.- Lazo de Regulación de caudal a la salida del túnel	17
Figura 1.11.- Lazo de Regulación de caudal a la salida de la Pileta de Recuperadora	19
Figura 1.12.- Lazo de Control Tramo de Gravedad	20
Figura 1.13.- Interacción PLC SCHORCH	23
Figura 1.14.- Sistema de Telecomunicaciones del Sistema Papallacta Integrado	24

CAPITULO 2

Figura 2.1.- Esquema de un Sistema Automatizado	26
Figura 2.2.- Componentes habituales de un sistema automatizado	27
Figura 2.3.- Evolución de los Sistemas de Control	28
Figura 2.4.- Esquema comparativo de los Sistemas de Control	28
Figura 2.5.- Elementos fundamentales de un PLC	30
Figura 2.6.- Esquema simplificado de un PLC	33
Figura 2.7.- Interacción del PLC con todos sus componentes	34

	Página
Figura 2.8.- Comparación entre la lógica de relés y un PLC	35
Figura 2.9.- Arquitectura de un PLC	38
Figura 2.10.- Tipos de lenguajes de programación de los PLCs	39
Figura 2.11.- Pantalla Táctil	42
Figura 2.12.- Estructura básica de un sistema SCADA	50

CAPITULO 3

Figura 3.1.- PLC Twido DRF 40	55
Figura 3.2.- Módulo de Expansión TWD DDI 32 DK	56
Figura 3.3.- Bornera Telefast ABE16EPN 20	57
Figura 3.4.- Cable Telefast HE 10 para PLC Twido	58
Figura 3.5.- Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Elevadora.	61
Figura 3.6.- Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Booster I.	65
Figura 3.7.- Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Booster II.	70
Figura 3.8.- Esquema General de la Gestión del Sistema de Alarmeros Inteligentes en la Estación Recuperadora.	73
Figura 3.9.- Esquema General de la Gestión del PLC de Turbina en la Estación Recuperadora.	81
Figura 3.10.- PLC Premium 2634M	81
Figura 3.11.- Fuente para PLC Premium	83
Figura 3.12.- Módulo de entradas discretas para PLC Premium	84
Figura 3.13.- Módulo de salidas discretas para PLC Premium	85
Figura 3.14.- Bornera tipo Telefast para entradas discretas PLC Premium	85
Figura 3.15.- Bornera tipo Telefast para salidas discretas PLC Premium	86
Figura 3.16.- Cable Telefast HE 10 para PLC Premium	87

CAPITULO 4

Figura 4.1.- Software Twido Soft	90
---	----

	Página
Figura 4.2.- Software Unity Pro	93
Figura 4.3.- Ejemplo de Programación con Intouch 9.0	96
Figura 4.4.- Lógica de Programación del Sistema de Alarmeros Inteligentes	97
Figura 4.5.- Configuración de la dirección IP controlador Estación Elevadora	98
Figura 4.6.- Pantalla de Presentación de Vijeo Designer	107
Figura 4.7.- Creación de un Proyecto en Vijeo Designer	107
Figura 4.8.- Selección del tipo de panel de Operador	108
Figura 4.9.- Configuración del la dirección IP del panel de Operador	108
Figura 4.10.- Selección del Protocolo de comunicaciones del Panel de Operador	109
Figura 4.11.- Pantalla de Menú para el panel de Operador Estación Elevadora	110
Figura 4.12.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 4 de la Estación Elevadora	110
Figura 4.13.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 5 de la Estación Elevadora	111
Figura 4.14.- Pantalla de Alarmas de la bomba 1 de la Estación Elevadora	111
Figura 4.15.- Pantalla de Alarmas de la bomba 2 de la Estación Elevadora	112
Figura 4.16.- Pantalla de Alarmas de la bomba 3 de la Estación Elevadora	112
Figura 4.17.- Pantalla de Alarmas de la bomba 4 de la Estación Elevadora	112
Figura 4.18.- Pantalla de Alarmas de la bomba 5 de la Estación Elevadora	113
Figura 4.19.- Pantalla de Alarmas Activas de la Estación Elevadora	113
Figura 4.20.- Pantalla de Alarmas de la Estación Elevadora	114
Figura 4.21.- Pantalla SCADA de Menú de la Estación Elevadora	115
Figura 4.22.- Pantalla SCADA de Alarmas panel Schorch 4 Estación Elevadora	115
Figura 4.23.- Pantalla SCADA de Alarmas panel Schorch 5 Estación Elevadora	116
Figura 4.24.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 1 de la Estación Elevadora	116
Figura 4.25.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 2 de la Estación Elevadora	117
Figura 4.26.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 3 de la Estación Elevadora	117
Figura 4.27.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 4 de la Estación Elevadora	117
Figura 4.28.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 5 de la Estación Elevadora	118
Figura 4.29.- Pantalla SCADA Alarmas Activas de la Estación Elevadora	118
Figura 4.30.- Pantalla SCADA de Histórico de Alarmas de la Estación Elevadora	119
Figura 4.31.- Driver ModBus Ethernet Wonderware	119
Figura 4.32.- Configuración SCADA del Tópico y la Dirección IP Estación Elevadora	120
Figura 4.33.- Pantalla de Menú para el panel de Operador Estación Booster I	132

	Página
Figura 4.34.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 4.1 de la Estación Booster I	132
Figura 4.35.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 4.2 de la Estación Booster I	133
Figura 4.36.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 5 de la Estación Booster I	133
Figura 4.37.- Pantalla de Alarmas de la bomba 1 de la Estación Booster I	134
Figura 4.38.- Pantalla de Alarmas de la bomba 2 de la Estación Booster I	134
Figura 4.39.- Pantalla de Alarmas de la bomba 3 de la Estación Booster I	135
Figura 4.40.- Pantalla de Alarmas de la bomba 4 de la Estación Booster I	135
Figura 4.41.- Pantalla de Alarmas de la bomba 5 de la Estación Booster I	135
Figura 4.42.- Pantalla de Alarmas Activas de la Estación Booster I	136
Figura 4.43.- Pantalla de Alarmas de la Estación Booster I	136
Figura 4.44.- Pantalla SCADA de Menú de la Estación Booster I	137
Figura 4.45.- Pantalla SCADA de Alarmas panel Schorch 4.1 Estación Booster I	138
Figura 4.46.- Pantalla SCADA de Alarmas panel Schorch 4.2 Estación Booster I	138
Figura 4.47.- Pantalla SCADA de Alarmas panel Schorch 5 Estación Booster I	139
Figura 4.48.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 1 de la Estación Booster I	139
Figura 4.49.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 2 de la Estación Booster I	140
Figura 4.50.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 3 de la Estación Booster I	140
Figura 4.51.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 4 de la Estación Booster I	140
Figura 4.52.- Pantalla SCADA Alarmas de la bomba 5 de la Estación Booster I	141
Figura 4.53.- Pantalla SCADA Alarmas Activas de la Estación Booster I	141
Figura 4.54.- Pantalla SCADA de Histórico de Alarmas de la Estación Booster I	142
Figura 4.55.- Pantalla de Menú para el panel de Operador Estación Recuperadora	163
Figura 4.56.- Pantalla de Alarmas panel Schorch 1.1 de la Estación Recuperadora	164
Figura 4.57.- Pantalla de Alarmas panel Schorch 1.2 de la Estación Recuperadora	164
Figura 4.58.- Pantalla de Alarmas panel Schorch 3.1 de la Estación Recuperadora	165
Figura 4.59.- Pantalla de Alarmas panel Schorch 3.2 de la Estación Recuperadora	165
Figura 4.60.- Pantalla de Alarmas panel Schorch 4 de la Estación Recuperadora	166
Figura 4.61.- Pantalla de Alarmas Activas de la Estación Recuperadora	166
Figura 4.62.- Pantalla de Alarmas de la Estación Recuperadora	167
Figura 4.63.- Pantalla de SCADA Menú Estación Recuperadora	168
Figura 4.64.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 1.1 Estación Recuperadora	168
Figura 4.65.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 1.2 Estación Recuperadora	169
Figura 4.66.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 3.1 Estación Recuperadora	169

	Página
Figura 4.67.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 3.2 Estación Recuperadora	170
Figura 4.68.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 4 Estación Recuperadora	170
Figura 4.69.- Pantalla SCADA Alarmas Activas de la Estación Recuperadora	171
Figura 4.70.- Pantalla SCADA Histórico de Alarmas de la Estación Recuperadora	171
Figura 4.71.- Programación del PLC Premium 2634M	172
Figura 4.72.- Asignación de la dirección IP al PLC Premium	173
Figura 4.73.- Pantalla de Alarmas del panel Schorch 2 Estación Recuperadora	196
Figura 4.74.- Botones de Acceso al estado de la Turbina y el Bypass	197
Figura 4.75.- Pantalla SCADA Alarmas panel Schorch 2 Estación Recuperadora	197
Figura 4.76.- Pantalla Secuencia de Operación de la Turbina	198
Figura 4.77.- Pantalla Secuencia de Operación del Bypass	198
Figura 4.78.- Pantalla de Estado del PLC de Máquina	199

CAPITULO 5

Figura 5.1.- Panel SCHORCH 2 parte Frontal Superior Estación Elevadora	201
Figura 5.2.- Panel SCHORCH 2 parte Posterior Superior Estación Elevadora	201
Figura 5.3.- Montaje del PLC Twido en la Estación Elevadora	202
Figura 5.4.- Montaje de Borneras Telefast en la Estación Elevadora	202
Figura 5.5.- Montaje de disyuntor, portafusible y borneras Estación Elevadora	203
Figura 5.6.- Montaje del PLC Twido en la Estación Booster I	204
Figura 5.7.- Montaje de Borneras Telefast en la Estación Booster I	205
Figura 5.8.- Montaje de disyuntor, portafusible y borneras Estación Booster I	205
Figura 5.9.- Panel SCHORCH 2 parte Frontal Superior Estación Booster II	206
Figura 5.10.- Montaje del PLC Twido y Borneras Telefast Estación Booster II	207
Figura 5.11.- Montaje del PLC Twido en la Estación Recuperadora	209
Figura 5.12.- Montaje de Borneras Telefast en la Estación Recuperadora	209
Figura 5.13.- Cableado de las señales de alarma Estación Recuperadora	209
Figura 5.14.- Panel SCHORCH 6 parte Frontal Superior Estación Recuperadora	211
Figura 5.15.- Panel SCHORCH 7 parte Trasera Estación Recuperadora	211
Figura 5.16.- Montaje del PLC Premium 2634M en la Estación Recuperadora	212

CAPITULO 6

	Página
Figura 6.1.- Tipo de falla generada en pantalla de operador al no encontrar el PLC dentro de la red	214
Figura 6.2.- Tipo de falla generada en el IOServer del Sistema SCADA al no encontrar el PLC dentro de la red	215
Figura 6.3.- Comunicación del PLC de la Estación Elevadora mediante monitoreo local	216
Figura 6.4.- Comunicación del PLC de la Estación Elevadora con el Sistema SCADA mediante monitoreo local	216
Figura 6.5.- Comunicación del PLC de la Estación Booster I mediante monitoreo local	217
Figura 6.6.- Comunicación del PLC de la Estación Booster I con el Sistema SCADA mediante monitoreo local	218
Figura 6.7.- Comunicación del PLC de la Estación Booster II mediante monitoreo local	218
Figura 6.8.- Comunicación del PLC de la Estación Booster II con el Sistema SCADA mediante monitoreo local	219
Figura 6.9.- Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora mediante monitoreo local	220
Figura 6.10.- Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora con el Sistema SCADA mediante monitoreo local	220
Figura 6.11.- Comunicación del PLC de la Estación Elevadora mediante monitoreo remoto	221
Figura 6.12.- Comunicación del PLC de la Estación Elevadora con el Sistema SCADA mediante monitoreo remoto	222
Figura 6.13.- Comunicación del PLC de la Estación Booster I mediante monitoreo remoto	222
Figura 6.14.- Comunicación del PLC de la Estación Booster I con el Sistema SCADA mediante monitoreo remoto	223
Figura 6.15.- Comunicación del PLC de la Estación Booster II mediante monitoreo remoto	223
Figura 6.16.- Comunicación del PLC de la Estación Booster II con el Sistema	

SCADA mediante monitoreo remoto	224
Figura 6.17.- Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora mediante monitoreo remoto	224
Figura 6.18.- Comunicación del PLC de la Estación Recuperadora con el Sistema SCADA mediante monitoreo remoto	225
Figura 6.19.- Comunicación del PLC de Simulación mediante monitoreo local	226
Figura 6.20.- Comunicación del PLC de Simulación con el Sistema SCADA mediante monitoreo local	226
Figura 6.21.- Comunicación del PLC de Simulación mediante monitoreo remoto	227
Figura 6.22.- Comunicación del PLC de Simulación con el Sistema SCADA mediante monitoreo remoto	227
Figura 6.23.- Programa PCA para programación de PLCs SAIA	228
Figura 6.24.- Entorno de Programación para PLCs SAIA	226

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 3

	Página
Tabla 3.1.- Características Ambientales PLC Twido DRF40	55
Tabla 3.2.- Características principales PLC Twido DRF40	55
Tabla 3.3.- Características de los módulos de Expansión TWD DDI 32DK	57
Tabla 3.4.- Características de las Borneras	57
Tabla 3.5.- Características del Cable HE-10	58
Tabla 3.6.- Señales de Alarma de la Estación Elevadora	59
Tabla 3.7.- Lista de Equipos a utilizarse en la Estación Elevadora	61
Tabla 3.8.- Señales de Alarma de la Estación Booster I	62
Tabla 3.9.- Lista de Equipos a utilizarse en la Estación Booster I	66
Tabla 3.10.- Señales de Alarma de la Estación Booster II	66
Tabla 3.11.- Lista de Equipos a utilizarse en la Estación Booster II	70
Tabla 3.12.- Señales de Alarma de la Estación Recuperadora de Energía	71
Tabla 3.13.- Lista de Equipos a utilizarse en la Estación Recuperadora	73
Tabla 3.14.- Señales del PLC de Máquina de la Central Hidroeléctrica Recuperadora	74
Tabla 3.15.- Características Ambientales del PLC Premium 2634M	82
Tabla 3.16.- Características Principales del PLC Premium 2634M	82
Tabla 3.17.- Características de la Fuentes TSX PSY 2600M	83
Tabla 3.18.- Características del módulo de entradas discretas TSX DEY 62D2K	84
Tabla 3.19.- Características del módulo de salidas discretas TSX DEY 62T2K	85
Tabla 3.20.- Características de las borneras ABE 7H16R11	86
Tabla 3.21.- Características de las borneras ABE 7H16S21	86
Tabla 3.22.- Características del Cable Telefast	87
Tabla 3.23.- Lista de Equipos a Utilizarse para el PLC de Simulación	87

CAPITULO 4

	Página
Tabla 4.1.- Descripción de Pantalla Unity Pro	93
Tabla 4.2.- Tipos de Paneles de Operador Programables con Vijeo Designer	95
Tabla 4.3.- Requisitos del Sistema para instalar Vijeo Designer	95
Tabla 4.4.- Señales de control para el Sistema de Alarmeros en la Estación Elevadora	98
Tabla 4.5.- Distribución de las señales de Alarma Estación Elevadora	95
Tabla 4.6.- Señales de control para el Sistema de Alarmeros en la Estación Booster I	121
Tabla 4.7.- Distribución de las señales de Alarma Estación Booster I	122
Tabla 4.8.- Señales de control para el Sistema de Alarmeros en la Estación Booster II	143
Tabla 4.9.- Distribución de las señales de Alarma Estación Booster II	144
Tabla 4.10.- Señales de control para el Sistema de Alarmeros en la Estación Recuperadora	154
Tabla 4.11.- Distribución de las señales de Alarma Estación Recuperadora	155
Tabla 4.12.- Distribución de la Entradas Salidas del PLC de Máquina	174
Tabla 4.13.- Lista de Equipos para el Control de Turbina Pelton	185
Tabla 4.14.- Lista de Equipos para el Control del Bypass	191

CAPITULO 5

Tabla 5.1.- Materiales utilizados en la estación Elevadora	203
Tabla 5.2.- Materiales utilizados en la estación Booster I	206
Tabla 5.3.- Materiales utilizados en la estación Booster II	208
Tabla 5.4.- Materiales utilizados en la estación Recuperadora	210
Tabla 5.5.- Materiales utilizados para el sistema de simulación	213

GLOSARIO

- **ETR:** Electronic Turbina Regulador, regulador de velocidad de Turbina.
- **FIC:** Controlador de Flujo
- **Governor:** Centralina Hidráulica que permite el funcionamiento de la Turbina y el Bypass.
- **HMI:** Interfase Hombre-Máquina.
- **KVA:** Kilo Voltios Amperios.
- **LIC:** Controlador Indicador de Nivel
- **Mbps:** Mega Bits por segundo.
- **MODBUS:** Protocolo de Comunicación serial.
- **MODBUS ETHERNET:** Protocolo de Comunicación en Redes TCP/IP.
- **msnm:** Metros sobre el nivel del mar.
- **OP:** Operator Panel, panel de Operador
- **OSP:** Optimización Sistema Papallacta.
- **PLC:** Controlador Lógico Programable.
- **SCADA:** Sistema de Control Supervisión y Adquisición de Datos.
- **ShutDown:** Parada de Emergencia
- **T.R.P.:** Tanque Rompe Presión.
- **WAN:** Wide Area Network, red de área amplia.