

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

JACK POLH CANALES SOLIS

**PROMOCIÓN
2006-II**

**LIMA-PERÚ
2010**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA
POTABLE PARA SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA**

Este trabajo lo dedico en especial a mi madre Leonor por el sacrificio, apoyo incondicional y la confianza que puso en mí.

SUMARIO

El Presente trabajo describe la implementación del sistema automatizado para el control y monitoreo del proceso de bombeo de agua potable en el **Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa**, perteneciente al **“Proyecto de Ampliación y Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado para Sargento Lorentz 2da Etapa – Distrito de San Juan de Lurigancho”**.

El sistema de automatización para Sargento Lorentz Segunda Etapa costa de 22 estaciones, en las cuales se implementan con tableros eléctricos para control de Bombas, válvulas, monitoreo de señales de nivel, presión, caudal y parámetros eléctricos.

El control del proceso es realizado mediante controladores lógicos programables (PLC) M340 y Twido, los cuales ejecutan programas con lógicas de control, monitoreo, generación de alarmas e intercambian datos entre ellos a través de un sistema de comunicación mediante radioenlaces sobre plataforma de red industrial Ethernet, y además se cuenta con paneles operadores (HMI) en todas las estaciones desde los cuales se puede realizar operaciones de control y monitoreo.

Se presenta el diseño del sistema de control, principalmente de las arquitecturas de control con PLC M340 y Twido implementados en las estaciones del proyecto.

INDICE

Introducción.....	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	
1.1. Introducción.....	5
1.2. Descripción general del proceso.....	5
1.3. Ubicación geográfica.....	6
1.4. Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa.....	7
1.5. Condiciones generales de funcionamiento del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa.....	13
1.6. Evaluación del problema.....	13
1.6.1. Puntos débiles del Sistemas de Bombeo con control manual.....	14
1.6.2. ¿Por qué automatizar?	15
1.7. Conclusión.....	15
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	
2.1. Introducción.....	17
2.2. Automatización industrial.....	17
2.2.1. Funciones básicas.....	17
2.2.2. Consideraciones de selección de equipamiento.....	18
2.2.3. Sistemas industriales de control.....	19
2.2.4. Niveles de automatización.....	20
2.2.5. Arquitectura de automatización.....	22
2.2.6. Sistema de supervisión SCADA.....	22
2.3. Redes de comunicación industrial.....	23
2.3.1. Tecnologías de red.....	24
2.3.2. Buses de campo.....	26
2.3.3. Ethernet en la industria.....	27

2.4.	Grados de protección IP para equipamiento industrial.....	29
2.5.	Redes de automatización de Schneider Electric.....	30
2.5.1.	Enlace serie Modbus.....	30
2.5.2.	Red Ethernet Modbus/TCP.....	32
2.6.	Conclusión.....	32

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA

3.1.	Características del sistema automático.....	33
3.2.	Arquitectura del sistema de control.....	34
3.3.	Sistema de comunicación.....	35
3.3.1.	Red de comunicación principal.....	35
3.3.2.	Sistema de comunicación Local (SCL).....	37
3.3.3.	Punto de interconexión con el Centro de Supervisión SCADA.....	40
3.4.	Subsistemas automáticos.....	41
3.4.1.	Función de control de suministro de energía.....	42
3.4.2.	Función de control de potencia.....	43
3.4.3.	Función de procesamiento de datos.....	44
3.4.4.	Función dialogo hombre-máquina.....	46
3.4.5.	Función adquisición de datos.....	47
3.5.	Tipos de subsistemas.....	49
3.6.	Selección del bus de campo.....	53
3.7.	Sistema de potencia.....	54
3.7.1.	Circuito de control.....	57
3.8.	Sistema de seguridad.....	60

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA

4.1.	Niveles de automatización.....	62
4.2.	Arquitecturas de automatización.....	64
4.2.1.	Red de dispositivos de campo.....	64
4.2.2.	Arquitectura Twido.....	65
4.2.3.	Arquitectura M340.....	69
4.3.	Estructura de las estaciones.....	73
4.3.1.	Señales de control.....	74
4.4.	Filosofía de operación.....	76
4.4.1.	Modos de operación.....	77
4.4.2.	Proceso de bombeo en Grupos Hidráulicos.....	79

4.4.3. Lógica de control base.....	80
4.4.4. Lógica de control particular.....	83
4.4.5. Lógica de control de bomba.....	87
4.4.6. Control de seguridad en las estaciones.....	91
4.5. Base de datos en los PLC.....	91
4.6. Sistema de supervisión local.....	96
CAPÍTULO V	
ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO	
5.1. Costo general.....	98
5.2. Análisis costo vs beneficio.....	101
5.2.1. Costo.....	101
5.2.2. Beneficio.....	103
5.3. Tiempo de ejecución.....	104
5.4. Entrega del proyecto de automatización.....	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
ANEXO A: Equipamiento utilizado para el proyecto.....	109
ANEXO B: Tableros eléctricos típicos.....	127
ANEXO C: Señales de los controladores del GH09.....	137
ANEXO D: Módulos PLC por estaciones.....	140
ANEXO E: Programas de control del PLC.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	151

INTRODUCCION

El presente trabajo trata sobre la automatización del sistema de bombeo de agua potable para la zona denominada Sargento Lorentz Segunda Etapa, la cual está ubicada en la jurisdicción del distrito de San Juan de Lurigancho.

SEDAPAL programó ejecutar en forma prioritaria en el año 2006 las obras de **“Ampliación y Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado del Esquema Sargento Lorentz Segunda Etapa”**, que comprenden la construcción y reacondicionamiento del sistema de distribución de agua potable denominado Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa el cual cuenta con 22 estaciones de bombeo para la distribución de agua potable.

La implementación de un sistema automatizado para controlar el proceso de distribución de agua potable, surge como necesidad de poder otorgar un grado de confiabilidad al sistema y que pueda ser controlado a distancia y poder monitorear parámetros hidráulicos y eléctricos.

Lo más importante del sistema radica en el control de las bombas centrífugas encargadas de realizar el bombeo de agua desde la estación cisterna CR-67A, hacia los demás reservorios de forma progresiva. Esto se realiza impulsando el agua a estaciones ubicadas a mayor nivel sobre el nivel del mar, desde los cuales se abastecerá a la población por acción de la gravedad. Por ello el sistema automático cuenta con equipamiento de potencia.

El informe presenta los detalles del sistema automático implementado incluyendo detalles del sistema de control, potencia y comunicaciones. Describe una alternativa de automatización y utiliza información de los manuales técnicos disponibles de los equipos utilizados.

En cuanto a los detalles del sistema de bombeo se utilizó información extraída de los planos eléctricos e hidráulicos desarrollados por la contratista encargada, y las características de funcionamiento del sistema de distribución de agua potable, se plantea con información obtenida durante la implementación del sistema por parte de la comisión de recepción del proyecto.

El proyecto de automatización fue implementado para cumplir con los siguientes objetivos:

- Implementar un sistema automatizado para control y monitoreo del sistema de distribución de agua potable en 22 estaciones del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa.
- Permitir al sistema implementado ser operado en forma local mediante paneles operador y dejar preparado al sistema para poder ser integrado al sistema de control SCADA.
- Permitir el monitoreo de los parámetros hidráulicos como: nivel de agua en los reservorios, presión, caudal y volumen en las líneas de impulsión, y monitoreo de los parámetros eléctricos como: corriente, voltaje, factor de potencia y otros en los motores eléctricos.
- Controlar y proteger los motores eléctricos de las bombas centrifugas.
- El sistema de control debe emitir alarmas mediante sus interfaces con el operador y realizar acciones concretas ante alguna de ellas, como detener el proceso de bombeo minimizando los daños a los equipos, la pérdida de agua potable y los daños que pueda ocasionar la fuga del mismo.
- Garantizar un proceso eficiente de distribución de agua potable, mejorando el servicio de abastecimiento de agua potable a la población mediante el control de niveles y horarios de bombeo.
- Ayudar a controlar el parámetro de presión, que es una de las variables más importantes en un sistema de bombeo de agua. Mediante el uso de arrancadores electrónicos y secuencias de control de válvulas, disminuir el efecto de Golpe de Ariete, que se produce por cambios repentinos de presión en el sistema hidráulico.
- Poder implementar funciones de seguridad para proteger el equipamiento suministrado y poder controlar el acceso a personal no autorizado a las estaciones de bombeo.

Los alcances del presente trabajo son:

- El proyecto describe el planteamiento, diseño e implementación del sistema de control utilizando arquitecturas de automatización con controladores lógicos programables M340 y Twido, y redes de comunicación.
- Se configura una base de datos en los PLCs que permita la interconexión con las interfaces con el operador, para poder controlar el sistema de forma local, mediante paneles operador, y control de forma remota a través del SCADA.

- Se describe el sistema de comunicación local para interconectar los PLCs de las 22 estaciones de bombeo, permitiendo el intercambio de datos para el funcionamiento del sistema de distribución de agua, y a través del cual el SCADA accederá a la información de los PLCs.
- Se describe la interconexión de la red de comunicación local con el sistema SCADA.
- Se presentan los sensores y equipos utilizados para monitoreo de parámetros hidráulicos y eléctricos.
- Se define la lista de variables que serán emitidas como alarmas y las acciones que deberá realizar el PLC.
- Se describe el sistema de potencia utilizado para control y protección de los motores eléctricos que controlan las bombas centrifugas y su integración con los PLCs.
- Se describe la lógica de control implementada en los PLCs para control del sistema de distribución de agua.
- Se describe los tableros eléctricos típicos suministrados con el equipamiento de control y potencia.
- Se describe el sistema de seguridad con los sensores y la lógica de control implementada.

Para poder explicar los detalles de la implementación del sistema automático, el presente informe está dividido en cuatro capítulos.

El capítulo uno contiene el planteamiento del proyecto, en el cual se exponen los detalles del sistema de bombeo, y se plantea las ventajas de implementar un sistema automático para su control.

El capítulo dos contiene el marco teórico de la automatización industrial, sistemas de control y redes industriales.

El capítulo tres presenta los detalles de diseño del sistema automatizado para control del proceso de distribución de agua.

El capítulo cuatro presenta los detalles de implementación del sistema como la estructura de automatización de las estaciones y las lógicas de control del sistema de bombeo.

También se dispone de información adicional en cuatro anexos: el anexo A contiene la descripción de los equipos utilizados en el proyecto de automatización, incluyendo algunos diagramas de conexión, el anexo B contiene los tableros eléctricos típicos implementados, el anexo C muestra las señales que se integran al PLC en las

estaciones RE-3A, RP-6A y RP-6B, y en el anexo D se presenta el resumen de los controladores utilizados, con sus módulos E/S requeridos para controlar todo el sistema de bombeo.

Como las 22 estaciones de bombeo realizan un proceso similar, el equipamiento de potencia y sensores es parecido en todas, diferenciándose en el número de equipos utilizados de acuerdo al detalle del plano hidráulico mostrado en la figura 1.3. En cuanto al equipamiento de control se implementarán dos arquitecturas, uno con PLC M340 en 6 estaciones y otro PLC Twido en 16 estaciones.

La metodología de desarrollo del presente trabajo es el diseño de las dos arquitecturas de control típicas que serán implementadas en todas las estaciones. También se describen algunos temas que son utilizados para la implementación del sistema automatizado, pero cuyo diseño no se especifican y no son materia del presente informe:

- Sistema de potencia de las estaciones de bombeo, utilizado para el control de potencia de las bombas.
- Sistema de radio enlaces, para la comunicación de las 22 estaciones del proyecto.
- El diseño e implementación de la integración al SCADA.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Introducción

En este capítulo se explica las características del proceso a automatizar, es decir las características del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa. Se expone solo los detalles del sistema de bombeo que son relevantes para realizar la automatización.

1.2 Descripción general del proceso

El agua antes de ser apta para el consumo humano, es sometida a un proceso de tratamiento en plantas como la ATARJEA, que abastece de agua potable a la población de Lima. Debido al incremento de la población y la ubicación de las viviendas más alejadas de las fuentes de abastecimiento de agua potable existentes, se implementaron nuevos sistemas de distribución de agua potable como es el caso del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa.

El Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa, tiene como fuente de abastecimiento de agua potable a la ATARJEA, de donde el agua llega a la estación cisterna CR-67A con capacidad de 1200 m³, la cual se ubica en la Av. Wiese dentro de los terrenos del Centro de Servicios de SEDAPAL de San Juan de Lurigancho, y gracias a los trabajos de mejoramiento de la cisterna CR-67A se abastecerá a las estaciones incluidas en el proyecto Sargento Lorentz Segunda Etapa.

Desde la cisterna CR-67A se inicia el proceso de distribución de agua hacia los demás reservorios de forma progresiva, impulsando el agua mediante bombas centrifugas a través del sistema hidráulico construido, llegando a estaciones ubicadas a mayor nivel de altura sobre el nivel del mar desde los cuales se abastecerá a la población

por acción de la gravedad, siendo este proceso controlado por el sistema automático implementado que es materia de este informe.

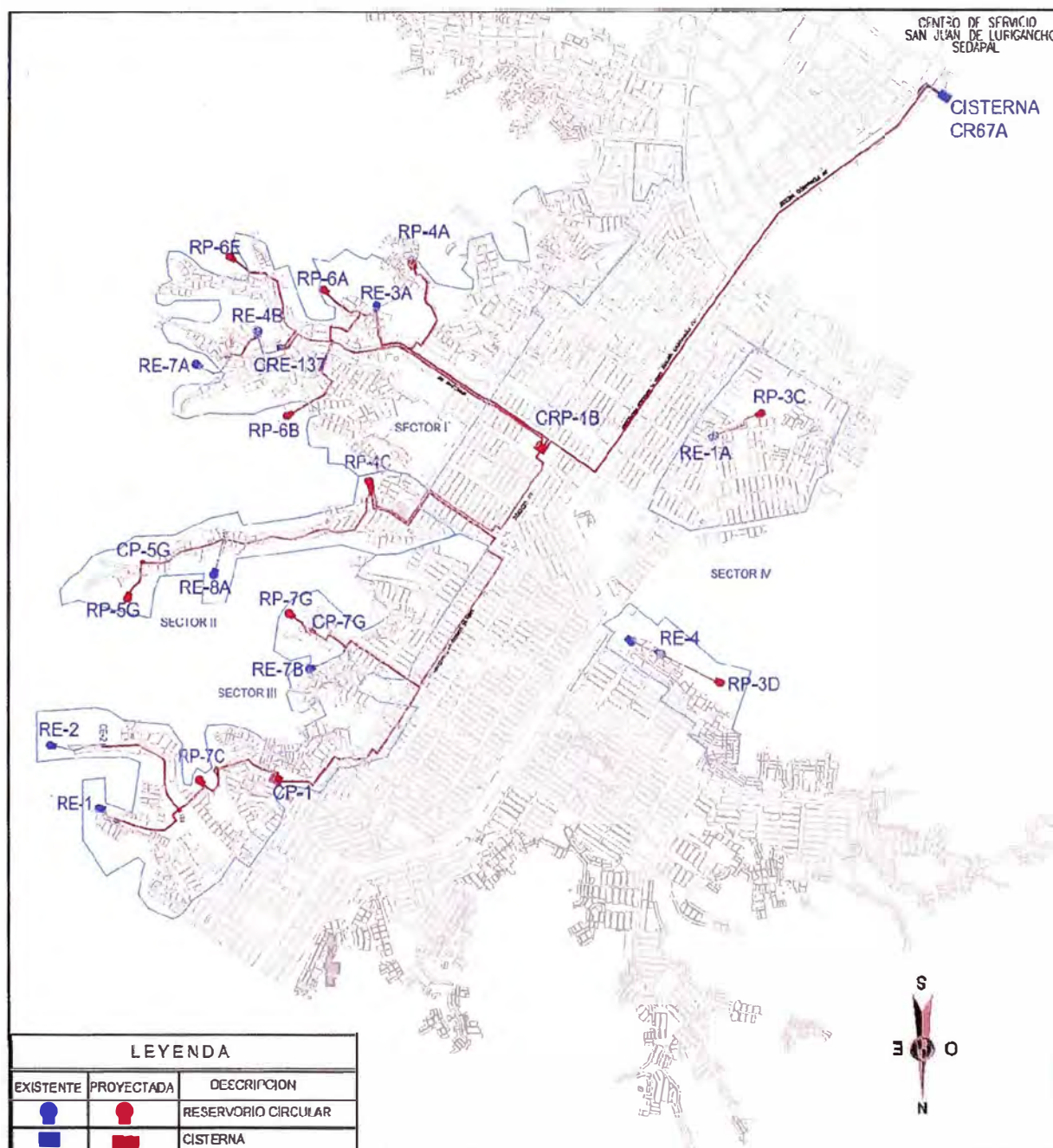


FIGURA 1.1 Plano geográfico del sistema de bombeo

1.3 Ubicación geográfica

El Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa, cubre un área ubicada en la Región Lima, Departamento y Provincia de Lima y Distrito de San Juan de Lurigancho, a la altura de la cuadra 30 de la Av. Wiese., el cual está delimitado:

- Por el Norte: Con la comunidad campesina de Jicamarca y cerros de la Zona.

- Por el Sur: Con los sectores Huáscar y Canto Rey.
- Por el Este: Con los cerros de la zona.
- Por el Oeste: Con el Esquema Juan Pablo II, Saúl Cantoral y Anexos y Cerros de la zona.

La figura 1.1 muestra la ubicación de las estaciones que conforman el Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa, y el recorrido de las tuberías por donde se distribuye el agua potable.

1.4 Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa

El Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa, está constituido por 22 estaciones, entre estaciones de Bombeo y estaciones terminales:

- Estaciones de bombeo: pueden ser cisternas o reservorios, las cuales contiene bombas centrífugas.
- Estaciones terminales: son reservorios, los cuales no tienen bombas centrífugas.

Se define como cisterna cuando el almacenamiento de agua se realiza en una construcción debajo del nivel del suelo y reservorio cuando el almacenamiento de agua se realiza en una construcción sobre el nivel del suelo.

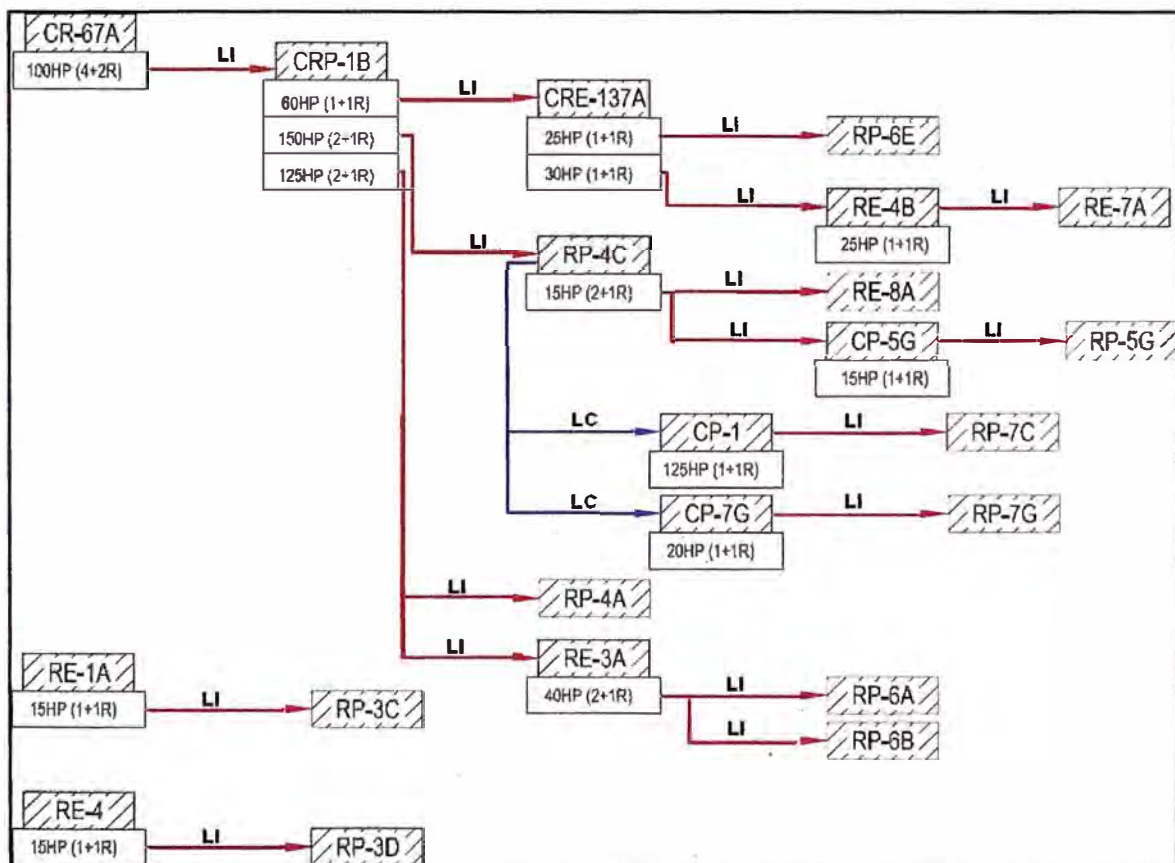


FIGURA 1.2 Esquema general

Las estaciones durante la ejecución de las obras civiles fueron construidos y algunos ya existentes mejorados, el sistema de bombeo tiene como esquema general de distribución de agua la figura 1.2, con las siguientes características:

- El esquema de distribución de agua tiene su base en un complejo sistema hidráulico conformado principalmente por cisternas y reservorios como depósitos del agua interconectados a través de líneas de distribución de agua, regulados por válvulas y electrobombas, las cuales impulsan el agua dependiendo del cumplimiento de ciertas condiciones de funcionamiento, que se describe en la sección 1.4.
- Las líneas de distribución de agua entre estaciones se pueden dividir en: a) Líneas de impulsión (LI), en las cuales el agua es impulsado mediante el uso de bombas centrífugas, y b) Líneas de conducción (LC), en las cuales el agua es transportado por acción de la gravedad de acuerdo a la diferencia de altura sobre el nivel del mar al cual se ubica la estación fuente y el destino.
- Las estaciones de bombeo están equipadas en configuraciones 1+1R, 2+1R, 4+2R el cual indica el número máximo de bombas que se pueden encender y la cantidad de bombas que son de reserva, junto con la letra "R".
- En el sistema de bombeo se controla en total 36 electrobombas distribuidas en diferentes estaciones, cuyas potencias se muestran en la tabla 1.1.

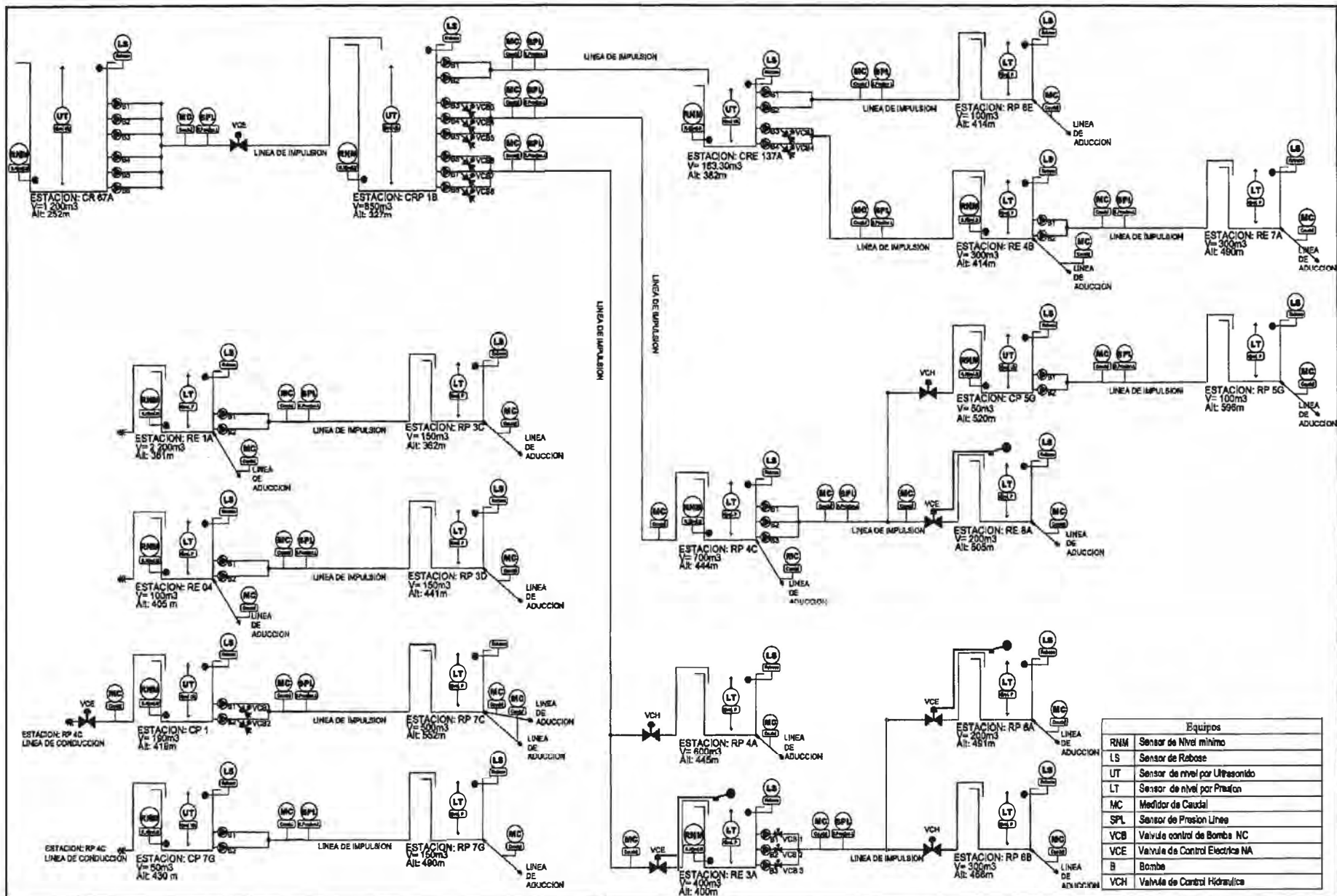
El esquema detallado del Sistema de Bombeo se muestra en la figura 1.3, donde se puede ver el detalle de las estaciones con sus sensores, válvulas y bombas, de acuerdo al requerimiento de SEDAPAL. Las estaciones contienen los siguientes sensores:

- Sensor de nivel: para determinar el nivel de agua que contiene la cisterna o reservorio. Se implementa en todas las estaciones.
- Sensor de Rebose: para detectar el máximo nivel en una estación antes del rebose. Se implementa en todas las estaciones.
- Sensor de nivel mínimo: para detectar un nivel de agua muy bajo, donde el proceso de bombeo no está permitido. Se implementa sólo en las estaciones de bombeo.
- Sensor de caudal: para poder medir el caudal y volumen total acumulado por una línea hidráulica: de impulsión, de aducción o de conducción.
- Sensor de presión: para medir la presión de agua en la tubería de línea de impulsión.

Las estaciones cuentan con los siguientes actuadores:

- Bombas: las cuales son controlados para ejecutar la operación de distribución de agua.

FIGURA 1.3 Esquema detallado



- Válvulas de control eléctrico: son válvulas que se pueden controlar su apertura y cierre eléctricamente.
- Válvulas de control de bomba: son válvulas que son controladas eléctricamente e intervienen en la lógica de funcionamiento de bombas.

TABLA 1.1 Detalle de bombas por estación

Nº	Tipo	Nombre	Volumen m3	Electrobombas	Pot (HP)
Cisternas Proyectadas					
1	Cisterna	CR-67A	1200	6	100
2	Cisterna	CRP-1B	850	8	60,125,150
3	Cisterna	CP-7G	50	2	20
4	Cisterna	CP-5G	50	2	15
5	Cisterna	CP-1	190	2	125
Cisternas Existentes					
6	Cisterna	CRE-137A	85	4	25,30
Reservorios Proyectados					
7	Reservorio Terminal	RP-3C	150	-	-
8	Reservorio Terminal	RP-3D	150	-	-
9	Reservorio Terminal	RP-4A	600	-	-
10	Reservorio	RP-4C	700	3	15
11	Reservorio Terminal	RP-5G	100	-	-
12	Reservorio Terminal	RP-6A	200	-	-
13	Reservorio Terminal	RP-6B	300	-	-
14	Reservorio Terminal	RP-6E	150	-	-
15	Reservorio Terminal	RP-7C	500	-	-
16	Reservorio Terminal	RP-7G	150	-	-
Reservorios Existentes					
17	Reservorio Terminal	RE-8A	200	-	-
18	Reservorio Terminal	RE-7A	300	-	-
19	Reservorio	RE-4B	300	2	25
20	Reservorio	RE-3A	400	3	40
21	Reservorio	RE-4	100	2	15
22	Reservorio	RE-1A	2200	2	15
TOTAL				36	

Para poder realizar el proceso de bombeo se tiene estaciones que poseen bombas centrífugas las cuales impulsaran el agua a la siguiente estación de acuerdo al esquema hidráulico de la figura 1.3, monitoreando parámetros fundamentales como, nivel de agua en la estación fuente (la que impulsa el agua) y destino (la que recibe el agua), con sus respectivas protecciones de rebose, nivel mínimo y censado de la presión del agua en la tubería de la línea de impulsión. El bombeo se realiza de acuerdo a niveles de agua configurados en los reservorios y horarios de funcionamiento.

Se define como estación fuente a la estación que posee bombas encargada de enviar agua y como estación destino a la estación que esta al final de la línea de impulsión. En el sistema de bombeo se puede ver muchas estaciones fuentes y destino por tramos, entonces se define al conjunto conformado por una estación fuente y una estación destino o dos, como un grupo hidráulico, por lo tanto el Sistema de Bombeo

Sargento Lorentz Segunda Etapa queda definida como un conjunto de 14 grupos hidráulicos, según la figura 1.4, de los cuales se pueden dividir en dos tipos según el número de destinos que poseen:

- Grupo hidráulico tipo 1: una estación fuente y un destino
- Grupo hidráulico tipo 2: una estación fuente y dos destino

El funcionamiento de todo el sistema de bombeo, está basado en el funcionamiento de cada grupo hidráulico de forma independiente, donde cada conjunto evalúa sus condiciones de operación.

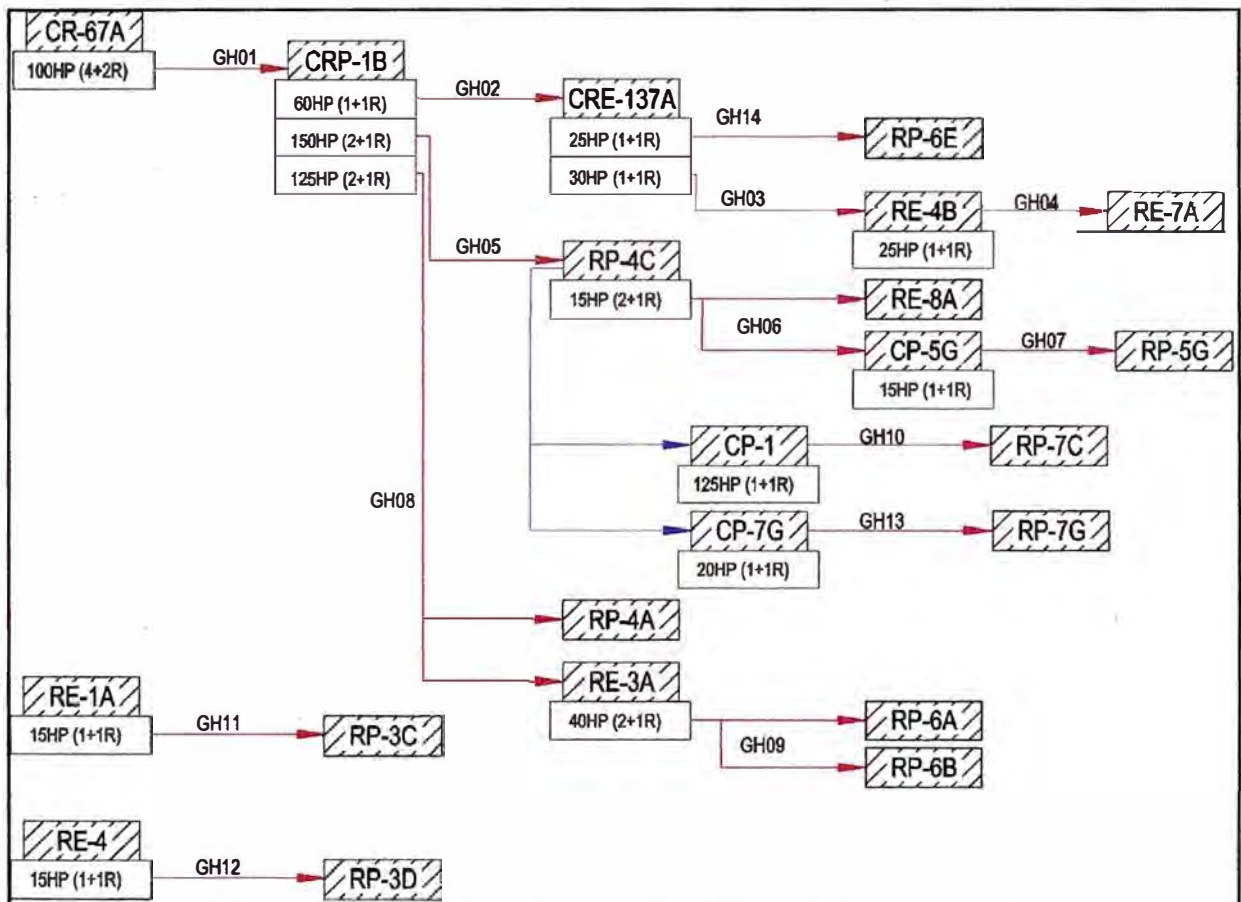


FIGURA 1.4 Grupos hidráulicos

Los grupos hidráulicos con un destino, figura 1.5, son:

- GH01: tiene como fuente a la estación CR-67A y destino a la estación CRP-1B.
- GH02: tiene como fuente a la estación CRP-1B y destino a la estación CRE-137A.
- GH03: tiene como fuente a la estación CRE-137A y destino a la estación RE-4B.
- GH04: tiene como fuente a la estación RE-4B y destino a la estación RE-7A.
- GH05: tiene como fuente a la estación CRP-1B y destino a la estación RP-4C.
- GH07: tiene como fuente a la estación CP-5G y destino a la estación RP-5G.

- GH10: tiene como fuente a la estación CP-1 y destino a la estación RP-7C.
- GH11: tiene como fuente a la estación RE-1A y destino a la estación RP-3C.
- GH12: tiene como fuente a la estación RE-4 y destino a la estación RP-3D.
- GH13: tiene como fuente a la estación CP-7G y destino a la estación RP-7G.
- GH14: tiene como fuente a la estación CRE-137A y destino a la estación RP-6E.

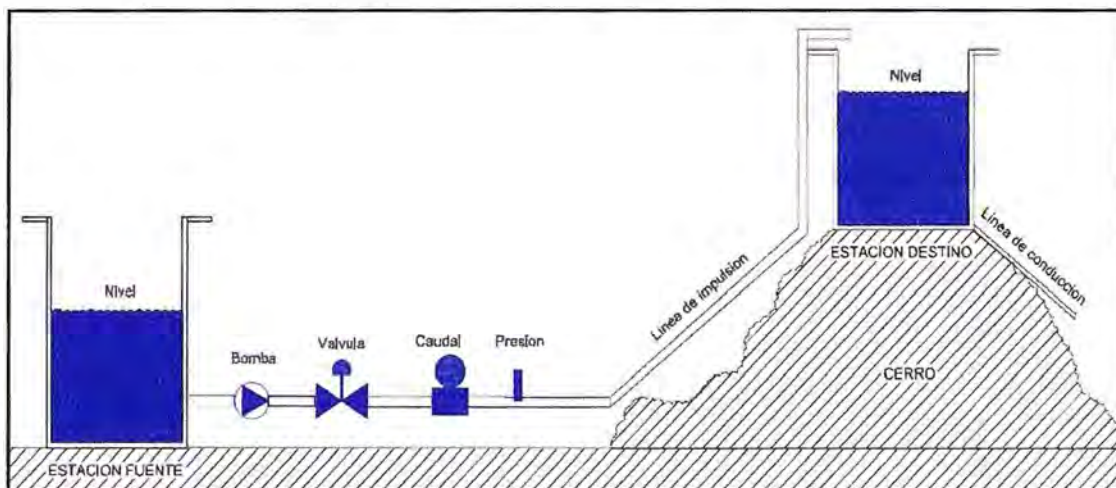


FIGURA 1.5 Grupo hidráulico tipo 1

Los grupos hidráulicos con dos destinos, figura 1.6, son:

- GH06: tiene como fuente a la estación RP-4C y destinos a las estaciones RE-8A y CP-5G.
- GH08: tiene como fuente a la estación CRP-1B y destinos a las estaciones RP-4A y RE-3A.
- GH09: tiene como fuente a la estación RE-3A y destinos a las estaciones RP-6A y RP-6B.

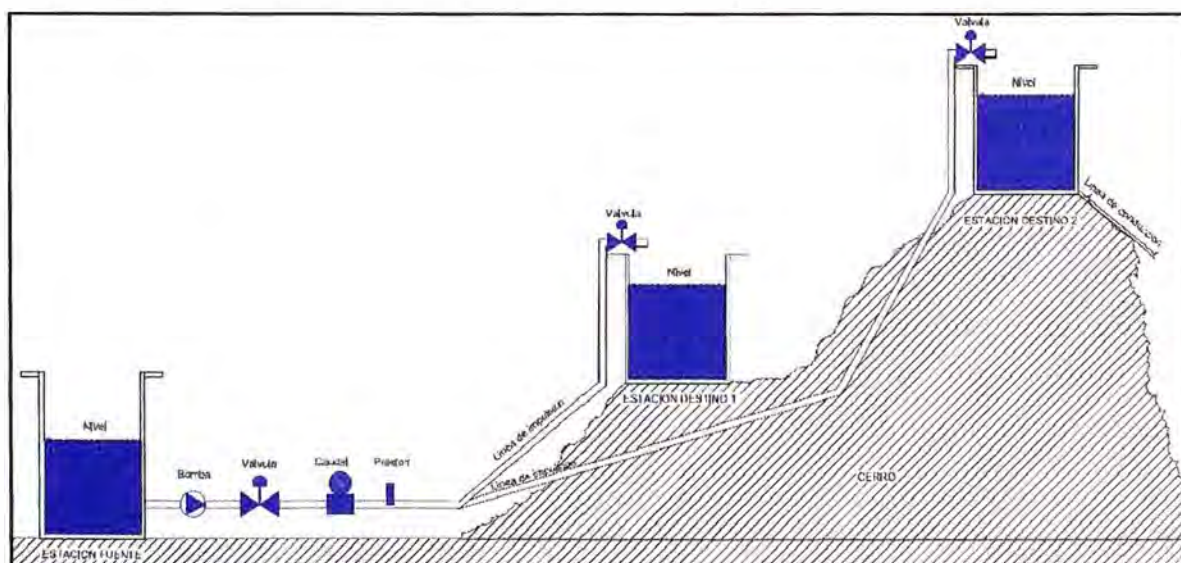


FIGURA 1.6 Grupo hidráulico tipo 2

1.5 Condiciones generales de funcionamiento del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa

El funcionamiento de cada grupo hidráulico depende del cumplimiento de ciertas condiciones de operación las cuales son:

- **Condición de nivel de agua:** el proceso de envío de agua se inicia a petición de la estación destino o destinos, quienes solicitan agua hasta llegar al nivel máximo configurado y no volverán a solicitar agua hasta llegar al nivel mínimo configurado; el proceso se realiza siempre y cuando la estación fuente tenga agua sobre su nivel mínimo configurado para evitar el encendido de bombas cuando la estación fuente no cuenta con agua suficiente. Figura 1.7.

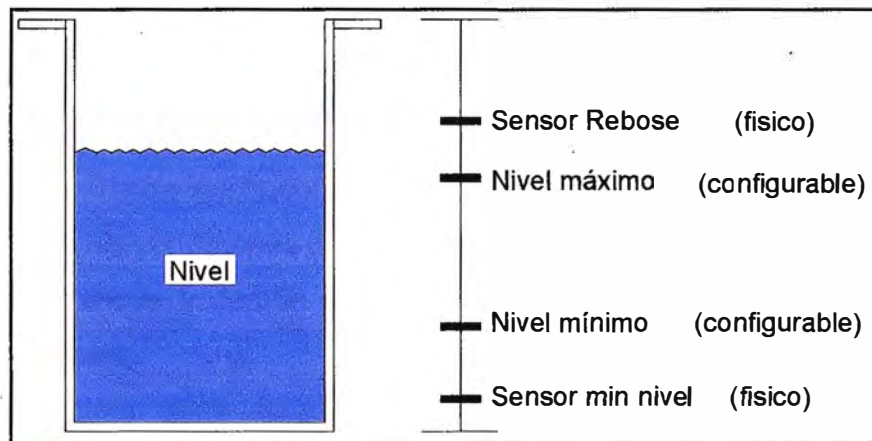


FIGURA 1.7 Niveles de agua

- **Condición de horario de trabajo:** el sistema opera según franjas de horario definidos por el operador, dentro de las cuales el grupo hidráulico está habilitado para poder funcionar
- **Señales de seguridad para nivel:** El rebose es un parámetro de seguridad que es activado por un sensor diferente al que mide el nivel y también permite parar el proceso de bombeo y evitar la pérdida de agua por desborde en la estación destino. El sensor de mínimo nivel también actúa como seguridad evitando el encendido de bombas cuando la estación fuente no cuenta con agua.
- **Condición de presión de línea:** la presión de la tubería por el cual es impulsado el agua (línea de impulsión) debe estar dentro de un rango de presión definido, fuera del cual el proceso de bombeo debe ser interrumpido.

1.6 Evaluación del problema

AL implementarse un nuevo sistema de bombeo, es necesario:

- Eliminar la dependencia de mucho personal en un sistema de implementación geográfica amplia y los errores producidos por factor humano.
- Tener acceso a información del sistema de forma directa y que pueda ser controlado a distancia.

1.6.1 Puntos débiles de Sistemas de Bombeo con control manual

Existen sistemas de bombeo implementados en Lima que funcionan operados manualmente por personal técnico conocidos como operadores, pero por las características propias de un sistema de distribución de agua que ocupa extensiones grandes de territorio, se necesita personal en cada estación, lo cual incrementa los costos operativos del sistema. Cada operador tiene que realizar las siguientes acciones:

- Emitir su reporte escrito diario de la lectura y estado de los sensores de nivel, caudal, presión.
- Comunicarse vía radio, nextel o celular con los demás operadores para coordinar el arranque y parada de electrobombas.
- Debe Verificar las condiciones de operación (nivel y horario).
- Realiza el arranque y parada de las bombas y control de las válvulas desde los tableros eléctricos.
- Detectar e informar sobre alertas que puedan presentarse.
- El problema de la operación manual radica en:
- Depende enteramente de la presencia de los operadores para funcionar, y es necesario operadores en varios turnos para controlar el funcionamiento del sistema las 24 horas del día.
- No se puede realizar una verificación precisa de los parámetros como presión, caudal, niveles, produciéndose errores por factor humano o de coordinación entre operadores.
- Ante cualquier falla del sistema no se tiene, en muchas ocasiones, un reporte exacto de la causa, siendo necesario la visita de personal técnico calificado y de ingeniería a las estaciones que tienen ubicación física dificultosa lo cual demora la detección de la falla y alarga el periodo de parada del proceso de bombeo.
- No se puede asegurar el monitoreo constantemente de la presión de la línea, el cual debe estar dentro de un rango de valores, para así evitar la rotura de tuberías por causa de una sobre-presión, y detectar la sub-presión que sugiere una posible rotura de tubería.

- No se puede monitorear los parámetros de calidad de energía del sistema de bombeo.
- No se puede restringir el acceso a las estaciones a personas ajenas, ni ser alertados a tiempo.

1.6.2 ¿Por qué automatizar?

El desarrollo de la tecnología pone a disposición equipos con mayores prestaciones para beneficio de los procesos industriales, especialmente para el control, monitoreo y protección de motores eléctricos, a través de la interconexión de sensores, generación de alarmas y ejecución de acciones por parte de los controladores PLC.

Las ventajas de implementar un sistema automatizado para controlar el sistema de distribución de agua potable son:

- Permite reducir los problemas causados por factor humano.
- Permite controlar el sistema de distribución de agua las 24 horas del día y 7 días de la semana.
- Permite el funcionamiento automático del sistema mediante lógicas de control en base a las condiciones de operación de niveles y horarios configurados.
- Permite el monitoreo y control de todo el sistema a distancia.
- Permite un monitoreo continuo de los parámetros de interés, e identificar cuando alguno de ellos está fuera de sus límites permitidos lo cual ayuda a generar alarmas que pueden ser almacenadas en la base de datos del SCADA.
- Permite el intercambio de datos entre estaciones de bombeo de forma automática para asegurar el funcionamiento del sistema de bombeo de manera eficiente.
- Permite monitorear los parámetros eléctricos y la calidad de la energía utilizada para hacer funcionar el sistema de bombeo.
- Ayuda al reconocimiento y detección de ciertas fallas en el sistema, y los almacena en un historial de fallas.
- Otorga capacidad de integración futura de nuevas señales al sistema SCADA, a través de los PLCs implementados.

1.7 Conclusión

En este capítulo se trató sobre las características del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa y las ventajas de implementar un sistema automático para controlar el proceso de distribución de agua, ya que en la actualidad se da cada vez más importancia a la capacidad de disponer de la información de la forma más fiable y

rápida posible, y se busca poder reducir los errores de factor humano en los procesos industriales.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. Introducción

Se describirá los conceptos relacionados a la automatización industrial, y el uso de las redes de automatización como una herramienta importante en la actualidad.

2.2. Automatización industrial

La automatización industrial hoy en día brinda a la industria los más modernos equipos disponibles para mejorar el desarrollo de los procesos mediante la mecanización de las actividades industriales para reducir costos, simplificar el trabajo y reducir los errores por factor humano, dando propiedad a algunas maquinas de realizar las operaciones de manera automática desarrollando un proceso más rápido y eficiente. Los dispositivos de automatización pueden estar confinados en un único lugar (como una fábrica), o bien se pueden hallar dispersos en grandes áreas, como es el caso de las estaciones de bombeo de agua potable.

2.2.1. Funciones básicas

Se define la implementación de un sistema automático integrado, si los equipos que lo conforman cumplen con las cinco funciones básicas mostrados en la figura 2.1.

- **Suministro de la energía eléctrica.-** Asegura la distribución de la energía eléctrica a los dispositivos de potencia y de control. Esta función normalmente es asegurada por un disyuntor o un fusible.
- **Control de potencia.-** Controla y protege la carga que gestiona un dispositivo automático. Los equipos de control de potencia son normalmente llamados arrancadores, ya sea un contactor usado como arranque directo o un controlador

electrónico usado para graduar la potencia de un motor, siguiendo las órdenes de la unidad de proceso de datos.

- **Dialogo.-** Comúnmente denominado “Interface hombre-máquina”, es el enlace entre el operador y la maquina. Su función es de dar órdenes y monitorizar el estado del proceso. El control se realiza a través de pulsadores, teclados y pantallas táctiles y se supervisa a través de dispositivos visuales como pilotos de aviso y pantallas.
- **Procesamiento de datos.-** Constituye el corazón de un equipo de automatismo y lo realiza generalmente un autómatas programable a través de la lógica programable, definido por un programa cargado en la memoria del autómatas. Recoge la información procedente de los captadores, de las interfaces de dialogo y de posibles unidades de tratamiento adicionales y las utiliza para controlar el desarrollo del proceso a través de los pre-actuadores.
- **Adquisición de datos.-** La adquisición de datos es necesaria para enviar información al autómatas programable. Gracias al progreso tecnológico la mayoría de las magnitudes físicas pueden ser detectadas o medidas utilizando sensores.

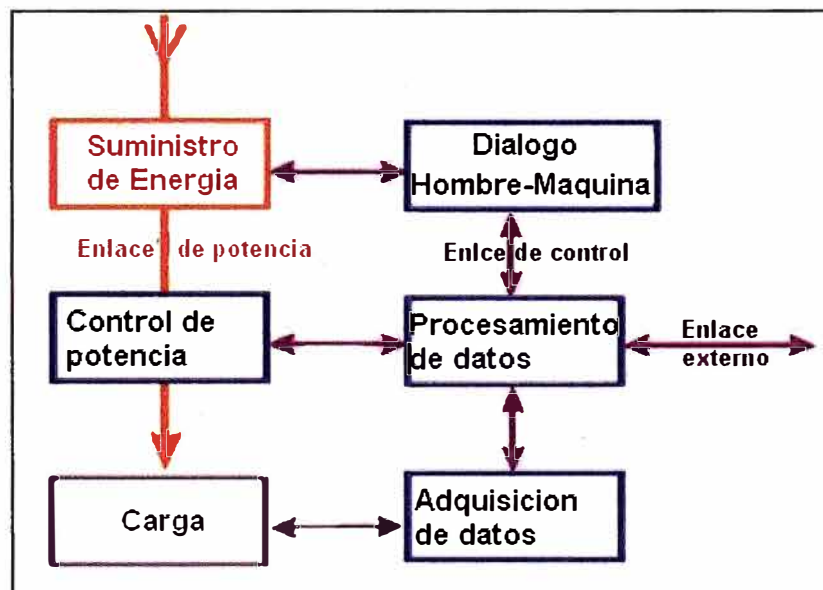


FIGURA 2.1 Funciones básicas de la automatización (1)

2.2.2. Consideraciones de selección de equipamiento

La selección de los equipos además de desarrollar las cinco funciones de automatización, deben seguir los siguientes criterios:

- **Satisfacer las condiciones externas:** para asegurar la seguridad de las personas y de las maquinas, se debe tener en cuenta las características del entorno donde se va utilizar los equipos, como: las temperaturas externas, posibilidad de golpes, atmosfera de polvo, etc.

- **Transmisión de señal y de potencia:** hay que tener en cuenta que los valores de corriente van desde miliamperios hasta miles de amperios; en todo caso, la corriente tiene que estar bien dimensionada para cubrir las sobrecargas electrodinámicas, mecánicas y térmicas.
- **Enlaces de control:** son utilizados para dirigir y controlar los equipos de automatización. Los sistemas de cableado convencional (cables separados), están siendo reemplazados por conexiones pre-cableadas con conectores, y por buses de comunicación.
- **Ciclo de vida del equipamiento de automatización:** un equipamiento es diseñado y luego se usa durante su ciclo de vida, el cual depende de los usuarios, necesidades, requerimientos y de las obligaciones de carácter externo (leyes, estándares, etc.).
- **Coste del equipamiento:** es un detalle que se debe tener en cuenta durante la fase de selección de los equipos, y depende de las necesidades del cliente.
- **Tendencia del mercado y necesidades del cliente:** en los últimos años la automatización ha presentado como prioridades: reducción de costos, reducción del tiempo de desarrollo, reducción de la complejidad, y mayor flexibilidad.

2.2.3. Sistemas industriales de control

Tradicionalmente se distinguen dos tipos de sistemas de control industrial: control centralizado y control distribuido que permiten llevar a cabo las tareas de procesamiento y control. Por la importancia de las tareas a realizar, o la posibilidad de subdividir la tarea de control del proceso en esas funciones autónomas, determinará en muchos casos la elección de un tipo u otro de control, donde su diseño influirá en el desarrollo y complejidad de los programas, y en la operatividad del sistema.

- **Control centralizado:** se caracteriza por realizar las tareas de procesamiento en un solo controlador central de gran capacidad, pero es necesario hacer llegar todas las señales de los sensores y actuadores hasta el controlador, para que este procese la información y envíe las órdenes de control. Tiene la ventaja de facilitar el flujo de información entre los procesos pero depende de la fiabilidad del controlador central, ya que si éste falla, todos los procesos que controla se ven afectados, siendo necesario un sistema redundante para evitar estas situaciones. La programación se hace más complicada al abordar todo el proceso en conjunto. Figura 2.2.
- **Control distribuido:** Se denomina así a la asignación directa de tareas a varios controladores (ej. PLC) dentro del sistema, los cuales estarán interconectados por un medio de comunicación. Es decir se destinará un autómatas (o elemento de control) a diferentes procesos, dimensionado de acuerdo con los requerimientos del proceso

considerado. Presenta las ventajas de programación más sencilla, facilidad de ampliar o modificar el sistema, tiempo de reacción muy cortos y la división del sistema total en sistemas autónomos. Con esta metodología de control es posible que cada unidad funcional consista en un proceso relativamente sencillo comparado con el proceso global, reduciendo la posibilidad de errores en la programación y permitiendo el empleo de unidades de control (autómatas programables principalmente) más sencillas y por lo tanto, más económicas. Figura 2.3.

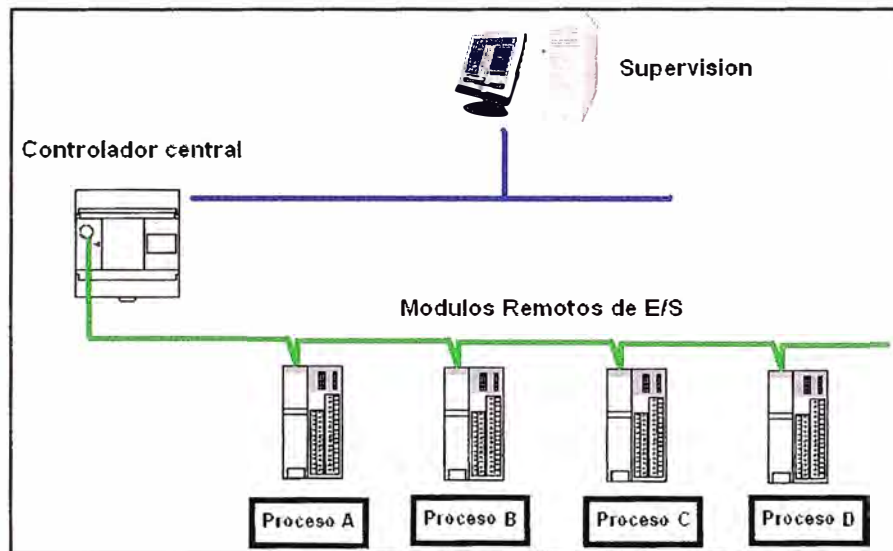


FIGURA 2.2 Sistema de control centralizado

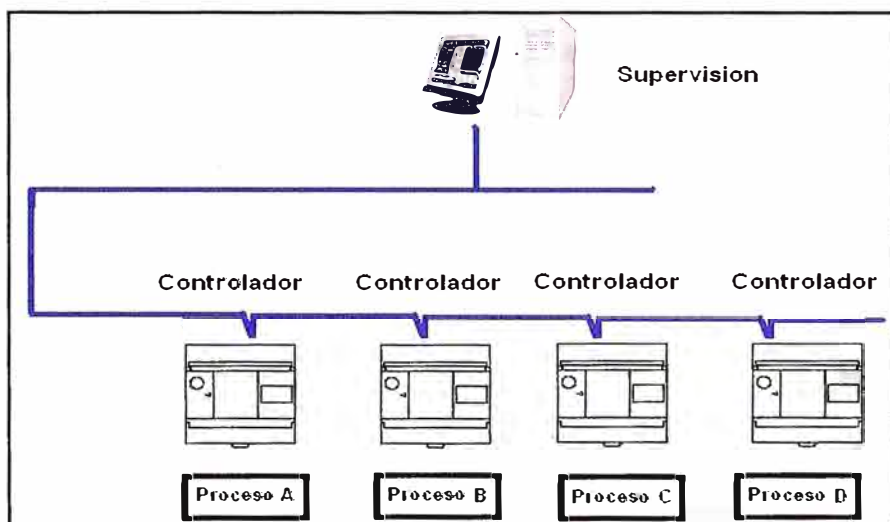


FIGURA 2.3 Sistema de control distribuido

2.2.4. Niveles de automatización

Desde el punto de vista de los sistemas físicos que deben soportar toda la funcionalidad necesaria, el control del proceso puede ser estructurado de modo que se

pueda apreciar la distribución jerárquica existente en un entorno de automatización integrado.

Los niveles de automatización se representan en la conocida “pirámide de automatización”, que se muestra en la figura 2.4.

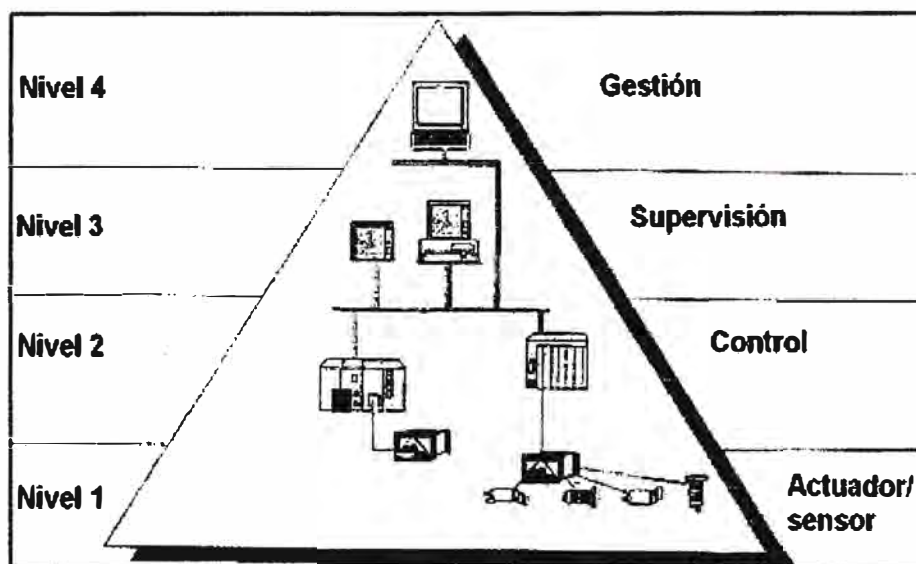


FIGURA 2.4 Sistema de control centralizado

- **Nivel actuador/sensor**

También llamado nivel de instrumentación. Está formado por los elementos de medida (sensores) y mando (actuadores) distribuidos en un proceso. Son los elementos más directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para modificar el proceso productivo y los sensores miden las variables en el proceso.

- **Nivel de control**

En este nivel se sitúan los elementos capaces de gestionar los actuadores y sensores del nivel anterior, tales como autómatas programables o equipos de aplicación específica basados en microprocesadores como robos, controladores de motor. Los dispositivos de este nivel de control junto con los del nivel inferior de actuador/sensor poseen la entidad suficiente como para realizar procesos productivos por sí mismos.

- **Nivel de supervisión**

En este nivel es posible visualizar como se está llevando a cabo los procesos de planta, a través de entornos SCADA o sistemas de visualización tales como pantallas

industriales, y poseer una “imagen virtual de la planta” de modo que ésta se pueda recorrer de forma detallada, o bien mediante pantallas de resumen ser capaces de disponer de un “panel virtual” donde se muestren las posibles alarmas, fallos o alteraciones en cualquiera de los procesos que se llevan a cabo. Para ello, resulta imprescindible la conexión con el nivel de control mediante buses de campo de altas prestaciones, pues a veces resulta necesaria la transmisión de importantes cantidades de datos y la conexión con un gran número de elementos de control.

- **Nivel de gestión**

Dado que el nivel de supervisión ya está constituido principalmente por computadores, el nivel de gestión lo estará también ya que se encuentra más alejado de los procesos productivos. De hecho, en este nivel no es relevante el estado y la supervisión de los procesos de la planta, en cambio, sí adquiere importancia toda la información relativa a la producción y su gestión asociada.

2.2.5. Arquitectura de automatización

El control de un proceso se divide en varios niveles de automatización, los cuales se interconectan mediante una arquitectura.

La arquitectura de un sistema de control nos muestra qué tipos de dispositivos la componen y qué redes de comunicación las interrelacionan, y se diseña para integrar, interconectar y coordinar las funciones de automatización requeridas por una máquina o proceso con el objetivo de preservar la productividad.

2.2.6. Sistema de supervisión SCADA

Un sistema SCADA incluye un hardware de señal de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, sistema de comunicaciones, base de datos y software SCADA, todo ello que se extiende sobre grandes distancias (kilómetros). El SCADA reside en salas de control desde donde se monitorea el proceso generalmente alejado de la planta o zona de máquinas.

También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) permitiendo no solo controlar sino supervisar el funcionamiento de los equipos que intervienen en el proceso, además cuenta con una base de datos y desarrolla pantallas de alarmas, tendencias y con capacidad de almacenar información para generar reportes

históricos y poder ser evaluadas por el personal de supervisión. Ejemplo en la figura 2.5.



FIGURA 2.5 Sistema SCADA

2.3. Redes de comunicación industrial

Las comunicaciones entre los instrumentos de proceso y el sistema de control se basan principalmente en señales analógicas (neumáticas de 3 a 15 psi en las válvulas de control y electrónicas de 4 a 20mA). Pero ya existen instrumentos digitales capaces de manejar gran cantidad de datos y guardarlos históricamente; su precisión es diez veces mayor que la de la señal típica de 4 a 20mA. En vez de transmitir cada variable por un par de hilos, transmiten secuencialmente las variables por medio de un cable de comunicaciones llamado bus.

Las principales razones para el uso de las redes industriales son:

- **Reducción de costo de cableado:** muchos sistemas todavía emplean señales de 4-20mA para la instrumentación analógica, requiriendo mucho cableado punto a punto hasta el controlador. En contraste el cableado tipo cadena de un bus de comunicación significa una reducción de costos de instalación.
- **Necesidad de mayor información:** en la actualidad las empresas requieren tener mayor información sobre sus procesos y sobre la instrumentación conectada a los mismos. La instrumentación tradicional provee sólo un valor (señal analógica), el de la variable de proceso, en cambio en una red digital los instrumentos pueden proveer de mucha información, sea del proceso, de mantenimiento y diagnóstico para conocer mejor el rendimiento de los instrumentos y detectar anomalías en la medición.
- **Dispositivos inteligentes:** los fabricantes de equipos están produciendo cada vez más dispositivos inteligentes, para satisfacer la creciente demanda de funcionalidad a bajo costo.

2.3.1. Tecnologías de red

Se describen algunos conceptos en forma breve.

a. Topología de la red

Una red industrial está compuesta por autómatas, interfaces hombre-máquina, PCs y dispositivos de E/S (entrada/salida) conectados de forma conjunta por enlaces de comunicación como cables eléctricos, fibras ópticas, enlaces de radio y elementos de interface física como tarjetas de red y pasarelas. La distribución física de una red es la topología de hardware o la arquitectura de la red. Para la circulación de información el término utilizado es la topología de software.

Las topologías normalmente se dividen en: bus, estrella, árbol, anillo y malla.

- **Topología de bus:** esta es una de las distribuciones más simples; todos los elementos están cableados conjuntamente con la misma línea de transmisión. La palabra “bus” se refiere a la línea física. Esta topología se implementa fácilmente y el fallo de uno nodo o elemento no provoca la avería de la red. Figura 2.6.

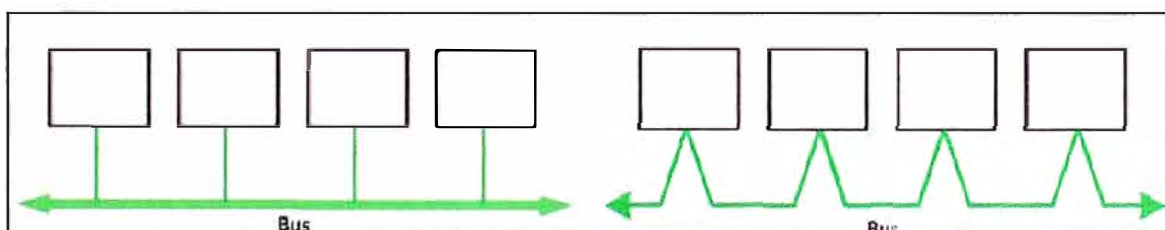


FIGURA 2.6 Topología de red bus

- **Topología de estrella:** esta es la topología de Ethernet, el más común en los niveles de “gestión” y “control”. Tiene la ventaja de ser muy flexible en su funcionamiento y reparación. Las estaciones finales están conectadas todas ellas a través de un dispositivo intermedio (repetidores, conmutador). El fallo de un nodo no provoca la avería de la red, si bien los dispositivos intermedios que conectan todos los nodos representan un punto débil. Figura 2.7.

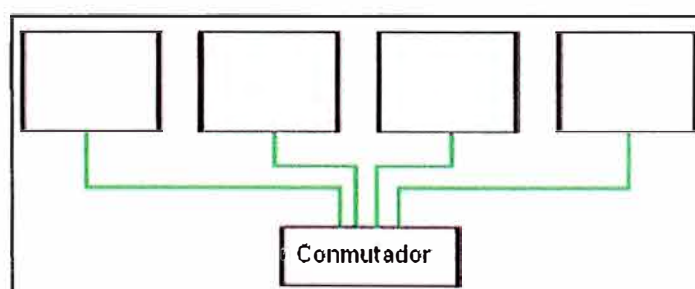


FIGURA 2.7 Topología de red estrella

- **Otras Topologías:** a) Topología de anillo, utiliza la misma distribución de hardware que la topología de estrella pero asegura una mayor disponibilidad de la red, b) Topología de malla, no se utiliza mucho en la industria y presenta el inconveniente de tener un gran número de enlaces. Figura 2.8.

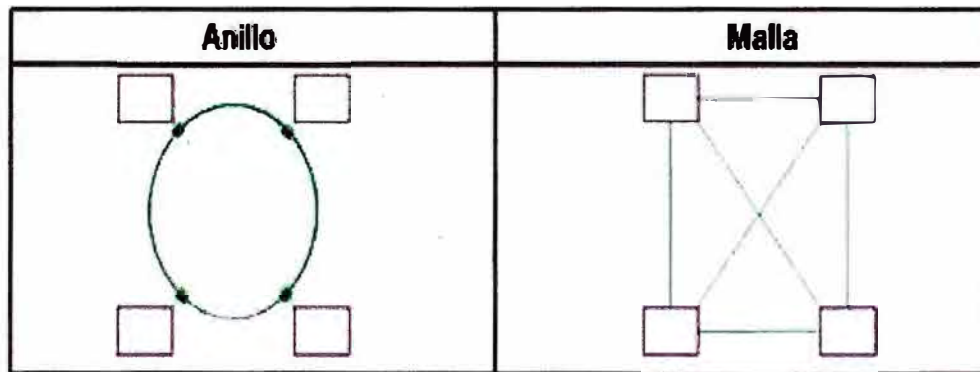


FIGURA 2.8 Otras topologías de red

b. Protocolo

Un protocolo de comunicación establece un conjunto de reglas para un tipo de comunicación particular. El protocolo es el lenguaje con el que se comunican los dispositivos de la red.

La conexión de equipos de diversos fabricantes mediante un protocolo común es posible gracias a la definición de los 7 niveles del modelo OSI.

TABLA 2.1 Modelo OSI (3)

N°	Capa OSI	Función de la capa
7	Aplicación	Es la interface con el usuario; hace llegar las peticiones a la capa de presentación
6	Presentación	Define como se representará la información, de tal manera que cualquier sistema la interprete.
5	Sesión	Garantiza las correctas comunicaciones y conexiones entre los sistemas. Define la apertura de las sesiones sobre los equipamientos de la red.
4	Transporte	Permite establecer una comunicación de un extremo a otro, segmentar y montar datos, controlar el flujo, detectar errores y repararlos.
3	Red	Se ocupa del transporte de paquetes (datagramas) a través de la red.
2	Conexión	Permite establecer, a través de un soporte físico, una conexión libre de errores.
1	Física	Define los protocolos para el intercambio de bits y los aspectos eléctricos, mecánicos y funcionales del acceso a la red.

c. Modelo OSI

El modelo OSI fue diseñado en los años 70 por la Organización Internacional de Estandarización (ISO). El modelo describe las funciones de comunicación entre aplicaciones por medio de siete capas de funciones estructuradas jerárquicamente. El principio está basado en separar el proceso de comunicación en siete tareas definidas por niveles.

d. Interface física

La interfaz física tiene la tarea de colocar la señal digital generada por el dispositivo en red en el medio de transmisión. Las interfaces seriales son las más utilizadas porque requieren menos cables y pocos conectores que la transmisión en paralelo, reduciendo los costos. A continuación se describen las interfaces seriales más usadas:

- **Interfaz RS-232C:** es usada para interconectar dos dispositivos vía un cable multifilar, usualmente una computadora con un dispositivo periférico o un modem. Define las señales de reconocimiento para el control de equipo estándar para líneas telefónicas y módems. Características:
 - La distancia entre dispositivos debe ser menor a 15 metros.
 - Usando modem permite la comunicación mediante línea telefónica.
 - Solo permite un transmisor y un receptor (punto a punto).
 - El modo de comunicación permitida es "dúplex".
- **Interfaz RS-485:** especifica los requerimientos eléctricos y físicos para la transmisión simétrica de datos entre varios dispositivos. Se define como interfaz de tipo balanceada (cada transmisión se realiza a través de un circuito exclusivo de dos hilos) y diferencial (la información está representada por la diferencia de potencial entre los dos hilos del circuito). Características:
 - La longitud máxima de transmisión varía hasta 1200 metros.
 - Permite enlaces multipunto, hasta 32 equipos se pueden conectar en configuración tipo bus.
 - Utiliza el modo de comunicación half-dúplex (los datos pueden viajar en cualquier dirección, pero no en forma simultánea).

2.3.2. Buses de campo

Físicamente se puede considerar a un bus como un conjunto de conductores que conectan conjuntamente varios circuitos para permitir el intercambio de datos, contrario a

una conexión punto a punto (donde sólo dos dispositivos intercambian información), un bus consta normalmente de un número de usuarios superior, además que generalmente un bus transmite datos en modo serial. Para una transmisión serial es suficiente un número de cables muy limitado, generalmente dos o tres conductores y la debida protección contra las perturbaciones externas para permitir su tendido en ambientes de ruido industrial.

Se describe algunos criterios que se debe tener en cuenta o conocer para seleccionar un bus de campo.

a. Criterios de selección de buses de campo

Los criterios para implementar un bus de campo se basa en seleccionar las redes adecuadas de acuerdo a las necesidades específicas del sistema a automatizar, estos criterios de selección son:

- Utilizar sistemas abiertos: al utilizar redes con protocolos estándar o abiertos, los dispositivos de diversa procedencia (distintos fabricantes) pueden coexistir en la misma red y comunicarse entre sí (capacidad de integración).
- Conocer que medios de transmisión están disponibles con el bus seleccionado: cable de cobre, fibra óptica, radio frecuencia, etc.
- Conocer las características de la interfaz física:
 - Velocidad de transmisión.
 - Distancia máxima de enlace.
 - Número de dispositivos que permite la red.
 - Topología de la red.
 - Características especiales: inmunidad al ruido, modo de comunicación half-dúplex ó full-dúplex (comunicación en ambos sentidos en forma simultánea), etc.

2.3.3. Ethernet en la industria

El estándar Ethernet a 10 Mbps es publicado por el IEEE (802.3) en 1985 y rápidamente conquistó el terreno de las comunicaciones de área local en el entorno Ofimático. Una vez asentada esa prevalencia en el sector no industrial, el estándar Ethernet empezó a ser visto como una posible solución en automatización, impulsado por el desarrollo de aplicaciones web basados en Ethernet y el protocolo TCP/IP, permitiendo disponer de conexiones transparentes entre los sistemas de control y el sistema de gestión de la empresa.

Esta tecnología cuenta entre otros beneficios con alta seguridad, robustez y “poca inversión”, lo que ha permitido colocarse rápida y satisfactoriamente en la industria. Uno de los principales beneficios de esta tecnología, es el ancho de banda que permite transportar mayor cantidad de datos a una velocidad superior a la de cualquier otra tecnología de comunicación (4).

A pesar de las ventajas del uso de Ethernet en el campo industrial, históricamente el Ethernet tradicional, el usado en oficina, no fue considerado un bus de campo viable para control industrial y redes de adquisición de datos, por dos importantes deficiencias: el no-determinismo inherente y la poca durabilidad, las cuales se tuvieron que resolver (5).

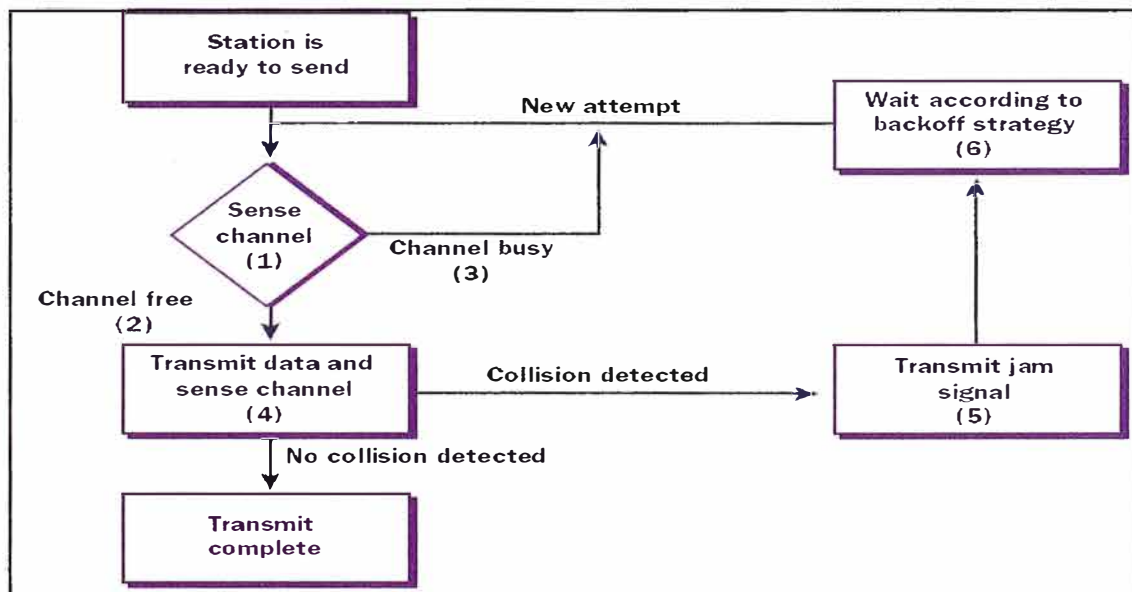


FIGURA 2.9 Algoritmo CSM/CD

Originalmente los equipos de Ethernet fueron diseñados para el ambiente de oficina, y no para duros entornos industriales. Hoy en día los equipos de Ethernet industrial disponen de un diseño físicamente robusto, preparado para soportar las exigencias más duras del entorno, todo ello disponible para resolver los problemas de durabilidad.

El determinismo es un término que describe la habilidad de un protocolo de comunicación de garantizar que un mensaje es enviado o recibido en un tiempo predecible y finito. Sobre el no-determinismo como comportamiento de Ethernet, es resultado del método de acceso al medio usado (CSMA/CD). Este método trabaja censando el medio de transmisión para poder transmitir, donde puede ocurrir que dos dispositivos puedan transmitir al mismo tiempo, causando una colisión de datos lo cual

origina la activación del tiempo de back-off (tiempo aleatorio para volver a transmitir la trama), esto ocurre generalmente al usar un concentrador (Hub), el cual conecta físicamente a todos los dispositivos y de manera transparente pasa los paquetes Ethernet a todos los dispositivos conectados a él.

Uno de los avances en redes Ethernet es el uso de Ethernet conmutado, gracias al conmutador (o Switch), el cual incrementa el ancho de banda y permite dividir la red en redes más pequeñas y separar los “dominios de colisiones”. Por lo tanto mediante el uso de los switches Ethernet se hace más determinístico a Ethernet, mejorando con el uso de switches full-duplex, fast Ethernet y minimizando el tráfico de broadcast.

2.4. Grados de protección IP para equipamiento industrial

El IP es un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionada por la envolvente contra el acceso de cuerpos sólidos, contra la penetración de agua y para suministrar información adicional unida a la referida protección.

TABLA 2.2 Dos primeros dígitos del código IP

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

Este código IP está formado por dos números de una cifra cada uno situados inmediatamente después de las letras “IP” y proporciona un medio de clasificar el grado de protección de sólidos (como polvo) y líquidos (como agua) que el equipo eléctrico y gabinetes deben reunir, ver tabla 2.2. Existe un El tercer dígito, referente a la protección contra impactos mecánicos el cual es generalmente omitido, ver tabla 2.3.

TABLA 2.3 Tercer dígito del código IP

	Tercer Número - Protección contra impactos mecánicos
0	Sin Protección
1	Protegido contra impactos de 0.225 joules
2	Protegido contra impactos de 0.375 joules
3	Protegido contra impactos de 0.5 joules
4	Protegido contra impactos de 2.0 joules
5	Protegido contra impactos de 6.0 joules
6	Protegido contra impactos de 20.0 joules

2.5. Redes de automatización de Schneider Electric

Las redes de comunicación centrales sugeridas son redes abiertas y diseñadas según normas internacionales. Se describirá las dos redes utilizadas en el desarrollo del proyecto: como bus de campo el Modbus y como red de datos Ethernet Modbus/TCP.

2.5.1. Enlace serie Modbus

El Modbus es un protocolo de enlace tipo maestro-esclavo, desarrollado por Modicon para comunicación entre PLCs, constituyendo un bus de campo. Posee las siguientes características:

- Un nodo, el maestro, envía comandos explícitos a los otros nodos “esclavos” quienes procesan las respuestas. Los nodos esclavos no transmitirán datos sin petición del nodo maestro, y no se comunicará con los otros esclavos. Modbus es un sistema de un solo maestro, lo que significa que solo un maestro puede ser conectado en un enlace a la vez.
- Los modos de comunicación posibles son Unicast y Broadcast. Modo Unicast es cuando el maestro envía solicitudes a un dispositivo esclavo y espera un determinado tiempo por la respuesta. En modo Broadcast el maestro envía un mensaje a la dirección “0”, lo cual significa que el mensaje va dirigido a todas las estaciones esclavas del bus. Éstas últimas ejecutan la orden sin emitir respuesta.
- Medio físico: La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-485, utilizando la topología de bus. La máxima distancia entre estaciones depende de la capa física. El medio físico usado es cable de par trenzado blindado, de dos hilos generalmente.

- Método de acceso al medio es del tipo maestro esclavo, permitiendo tener en una misma red hasta 32 dispositivos.
- Protocolo Modbus, donde la codificación de la trama puede hacerse en modo ASCII o puramente binario, según el estándar RTU.

TABLA 2.4 Características del puerto Modbus en PLC M340

Características			
Protocolo	Modbus		
Estructura	Tipo	Enlace serie no aislado (1)	
	Modo de acceso	Tipo maestro / esclavo	
	Interface físico	RS 232, 2 hilos	RS 485, 2 hilos
Transmisión	Modo	Asíncrona en banda base	
	Trama	RTU / ASCII, Half dúplex	
	Caudal binario	0,3... 19,2 Kbits/s (por defecto 19,2 Kbit/s)	
	Medio	Par trenzado blindado	
Configuración	Número de equipos	2 (punto a punto)	32 máx. por segmento
	Número de direcciones de enlace máx.	248	
	Longitud máx. del bus	15 m	10 m en no aislado 1.000 m en aislado
	Longitud máxima de una derivación	--	15 m en no aislada 40 m en aislada
Servicios	Trama	252 bytes de datos por petición RTU 504 caracteres por petición ASCII	
	Seguridad, parámetro de control	Un CRC en cada trama (RTU) Un LRC en cada trama (ASCII)	
	Supervisión	Contadores de diagnóstico, contadores de sucesos	

Para el procesador M340 se tiene las características mostradas en la tabla 2.4 para configurar el enlace serie Modbus y para el procesador Twido en la tabla 2.5.

TABLA 2.5 Características del puerto Modbus en PLC Twido

Características de Modbus y modo de caracteres			
Protocolo	Modbus		
Estructura	Tipo	Enlace serie no aislado (1)	
	Modo de acceso	Tipo maestro/esclavo	
	Interface físico	RS 232, 3 hilos	RS 485, 3 hilos
Transmisión	Modo	Asíncrona en banda base	
	Trama	RTU/ASCII, Half duplex	
	Caudal binario	0,3... 38,4 Kbit/s (por defecto 19,2 Kbit/s)	
	Formato	7 o 8 bits de datos, 1 o 2 bits de stop	
	Paridad	Sin, par o impar	
	Medio	Par trenzado blindado	
Configuración	Número de equipos	2 (punto a punto)	32 máx. por segmento
	Número de direcciones de enlace máx.	244	
	Longitud máx. del bus (1)	15 m	10 m en no aislado 1.000 m en aislado (2)
	Longitud máxima de una derivación	--	10 m en no aislado 30 m en aislado (2)
Servicios	Trama	250 bytes de datos por petición	
	Seguridad, parámetro de control	Un CRC en cada trama (RTU) Un LRC en cada trama (ASCII)	
	Supervisión	Contadores de diagnóstico, contadores de sucesos	

(1) En enlace no aislado, distancia entre los equipos más alejados: ≤ 30 m.

(2) Para enlace aislado, utilizar obligatoriamente la caja de aislamiento TWD XCA ISO.

2.5.2. Red Ethernet Modbus/TCP

Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipo industrial tal como Controladores Lógicos Programables (PLCs), computadores, sensores, y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red Ethernet. Modbus/TCP fue introducido por Schneider como una variante de la familia Modbus ampliamente usada, protocolo de comunicación simple y abierto, lo cual le permite la comunicación con gran diversidad de elementos industriales, destinados para la supervisión y el control de equipo de automatización. Específicamente, el protocolo cubre el uso de mensajes Modbus utilizando todos los beneficios de una comunicación Ethernet.

En 1999 se publica la especificación abierta de Modbus/TCP, este protocolo se apoya en TCP a nivel de transporte, IP a nivel de red y Ethernet para las capas inferiores. Schneider Electric promociona la red Ethernet industrial para conectar los niveles de “gestión” y “control” con los autómatas programables, y es cuando se desarrolla el concepto de “Transparent Ready”. Este concepto se basa en añadir herramientas y protocolos industriales, incluyendo Modbus, a elementos estándar existentes en Ethernet.

2.6. Conclusión

En el desarrollo de las tecnologías de automatización, el uso de las redes industriales basa su importancia gracias a la tendencia creciente a la conectividad entre equipos. Por tanto, es preciso analizar las diferentes posibilidades a la hora de implementar nuevos sistemas de control, pues si se desea tener una gestión integral, es necesario que todos y cada uno de los componentes, pasando por los elementos de automatización (autómatas, sensores, actuadores, paneles de visualización, etc.), los elementos de supervisión y gestión, deben ser capaces de intercomunicarse a través de redes industriales destinadas a tal efecto.

El avance de la tecnología Ethernet en el sector industrial es fuerte gracias a su adaptación a los retos que su nuevo ambiente le plantea. La permanencia de Ethernet como solución en el tiempo está garantizada por el tremendo apoyo que recibe por parte de fabricantes de equipos de control, integradores y clientes de sistemas industriales.

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATICO SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA

Para diseñar el sistema automatizado de bombeo para Sargento Lorentz Segunda Etapa, se aplicarán los conceptos vistos en el capítulo 2, los cuales describen todos los conceptos involucrados en el diseño de este sistema de automatización con el objetivo de cumplir los objetivos planteados.

Para el diseño y la selección de los componentes del sistema automatizado se realizó un análisis para encontrar un consenso entre las necesidades, la tecnología y los costos con el fin de entregar un sistema que cumpla con los requisitos operativos planteados por el cliente.

3.1. Características del sistema automático

Como el objetivo es diseñar un sistema de control automático para el sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa. Entonces, el diseño debe cumplir con las necesidades de este sistema de bombeo en particular, las cuales son las siguientes:

- Una estructura que cumpla las cinco funciones de automatización.
- Sistema con implementación geográfica amplia con equipamiento distribuido en grandes extensiones geográficas (22 estaciones).
- Permita realizar funciones de control y adquisición de datos en diferentes ubicaciones (22 estaciones).
- Contemple la interconexión entre estaciones, necesario para el intercambio de datos.
- Una estructura que permita la conexión con el sistema de supervisión SCADA y así, poder enviar datos de todas las estaciones de bombeo.
- Permita la implementación de la lógica de control de bombeo con capacidad de comando local y remoto.

3.2. Arquitectura del sistema de control

De acuerdo a los sistemas de control descritos en el capítulo 2, se utilizará para este proyecto la arquitectura de un **sistema de control distribuido** por las siguientes razones:

- División del sistema global es **sistemas autónomos** con la asignación directa de las tareas a varios controladores.
- Uso de autómatas dimensionados de acuerdo al requerimiento del proceso.
- Programación más sencilla (cada fase en lugar del proceso global) y facilidad de ampliar o modificar el sistema.
- Ante la falla de un controlador no se ve perjudicado el sistema total.

En la “Guía de Soluciones de automatización, Capítulo 1, pag.9, Schneider Electric”, se presenta la estructura de un sistema de control distribuido, denominado “control colaborativo”, el cual se puede adecuar al sistema de control para Sargento Lorentz Segunda Etapa y se puede ver en la figura 3.1:

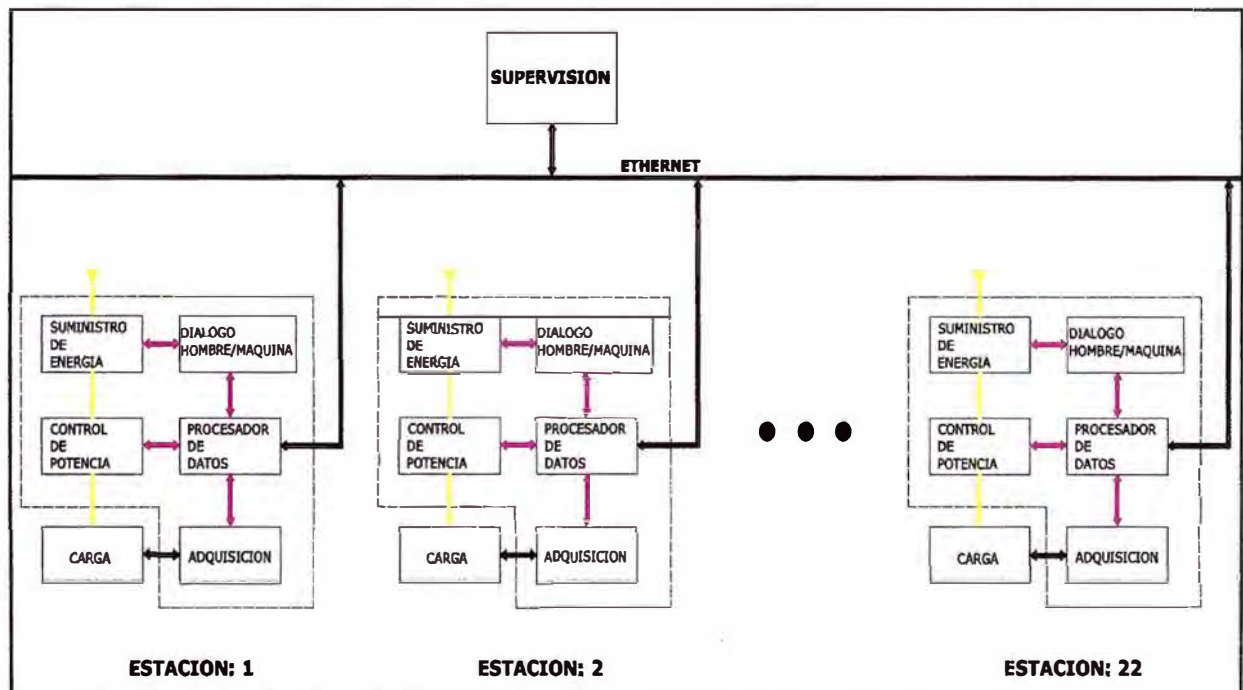


FIGURA 3.1 Arquitectura sistema de control distribuido

Este sistema de control es el más adecuado de acuerdo a las características de nuestro sistema, por los siguientes motivos:

- Tiene una estructura para implementaciones en grandes extensiones de territorio con necesidad de control y adquisición de datos en diferentes ubicaciones.

- Esta arquitectura contempla implementar subsistemas automáticos (que cumplan las cinco funciones de automatización) en cada uno de las estaciones de bombeo, permitiendo integrar las señales disponibles para monitoreo al sistema, y controlar localmente las cargas como bombas y válvulas en las estaciones.
- La arquitectura contempla una red de comunicación principal, mediante el cual se interconectará las estaciones de bombeo, para poder intercambiar información, la cual también permitirá integrar el sistema de supervisión SCADA para control y monitoreo de forma remota.

Esta arquitectura presenta las ventajas:

- Es una arquitectura robusta, ante falla de algún controlador no detiene todo el proceso, sólo se ve afectada la zona donde interviene dicho controlador. Es decir que todo el sistema de bombeo puede estar conformado por subsistemas automáticos independientes.
- Permite que cada subsistema de control, desarrolle un proceso más sencillo de controlar, que abordar todo el sistema de distribución de agua de forma global.
- Reduce las posibilidades de errores en la programación de los autómatas y permite el empleo de unidades de control más sencillas y por lo tanto más económicas.

Pero presenta las siguientes necesidades:

- Es necesario realizar un estudio para implementar los subsistemas automáticos en cada estación de bombeo.
- Es necesario diseñar el modelo de intercomunicación de los subsistemas automáticos para responder a las necesidades de control del sistema planteado.

3.3. Sistema de comunicación

Como se definió en la arquitectura del sistema, se contempla la necesidad de contar con una red de comunicación principal, para interconectar las 22 estaciones de bombeo, el cual deberá estar diseñado de acuerdo a las necesidades propias del sistema a implementarse.

La red de comunicación principal será sostenida por la infraestructura de un sistema de comunicación local (SCL).

3.3.1. Red de comunicación principal

La red de comunicación principal necesaria, tendrá las siguientes características:

- La red deberá ser de tipo industrial con protocolo de comunicación abierta, con implementación en los PLCs a utilizar, para permitir el intercambio de información entre PLCs.
- La red deberá permitir el intercambio de gran cantidad y de información con el sistema SCADA ya que este recibirá datos de las 22 estaciones de bombeo.
- Deberá poseer buenas características de velocidad para la transmisión de datos.
- Deberá tener capacidad de transmitir también voz y video.
- La red deberá permitir la programación remota de los PLCs, sin que ello sobrecargue la capacidad de la red y no interferirá en el tráfico de datos de control.



FIGURA 3.2 Red de comunicaciones

Por lo tanto la solución más adecuada es usar Ethernet industrial con protocolo Modbus/TCP:

- Ethernet es la tecnología más usada para las redes de comunicación de datos con grandes prestaciones, en la actualidad.
- Ethernet industrial dispone de conexiones 10/100Mbps, con capacidad de poder transmitir voz, data y video.
- El protocolo Modbus/TCP, está diseñado para implementación en Ethernet, es un protocolo abierto y un estándar internacional, el cual está disponible en controladores PLC. También esta red es aceptada por SEDAPAL como protocolo de integración al SCADA.
- Ethernet es la mejor opción para interconexión de los sistemas de control al sistema de supervisión, porque facilita el envío de mucha data, con las ventajas en velocidad y capacidad frente a otras tecnologías de comunicación industrial.

3.3.2. Sistema de comunicación Local (SCL)

El SCL es la infraestructura que permitirá implementar la red de comunicación principal con tecnología Ethernet, el cual presenta las siguientes características:

- El Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa involucra una gran extensión de territorio dentro de la ciudad, con una geografía de terreno lleno de muchos obstáculos como casas, calles y tránsito.
- Implementar una red Ethernet, e interconectar las 22 estaciones de bombeo y cubrir distancias entre las estaciones de 0.17 a 3.1 km. aproximadamente.

Podemos citar las alternativas de comunicaciones:

- Sistema cableado con cable de par trenzado Ethernet: no es posible interconectar las estaciones mediante cable de par trenzado debido a las distancias entre ellas, las cuales superan lo máximo permitido que es de 100m.
- Sistema cableado con fibra óptica: permite cubrir las distancias entre estaciones de bombeo, pero tiene el inconveniente de no ser factible el tendido del cable por el medio de la ciudad y de ser posible sería muy costoso.
- Sistema inalámbrico con radioenlace: permite cubrir las distancias entre estaciones de bombeo y el costo de implementación es aceptable.
- Sistema inalámbrico con usando conexión GSM/GPRS a través de un proveedor de servicios móviles (Claro, Movistar, etc.), tiene las Ventajas de reducir la inversión en torres, antenas e ingeniería de los radioenlaces y permite enviar la información a cualquier destino donde esté ubicado el sistema SCADA. Pero posee las desventajas de requerir módulos GSM/GPRS, dependencia del servicio de la red móvil, baja velocidad de transmisión, costo permanente por el servicio.



FIGURA 3.3 Radio WinLink 1000

Por tales razones la mejor opción es la comunicación mediante radioenlaces.

El diseño de este sistema se describe en el proyecto “Sistema de Comunicaciones Wireless 5.8GHz OFDM para control de Reservorios y Cámaras de Rebombío Sector Sargento Lorentz – San Juan de Lurigancho” realizado por la empresa RFJ Comunicaciones SAC, en el cual describe la implementación del sistema de comunicaciones utilizando antenas tipo panel de la marca RadWin con su modelo WinLink 1000 en la banda de frecuencia no licenciada de 5.8GHz.

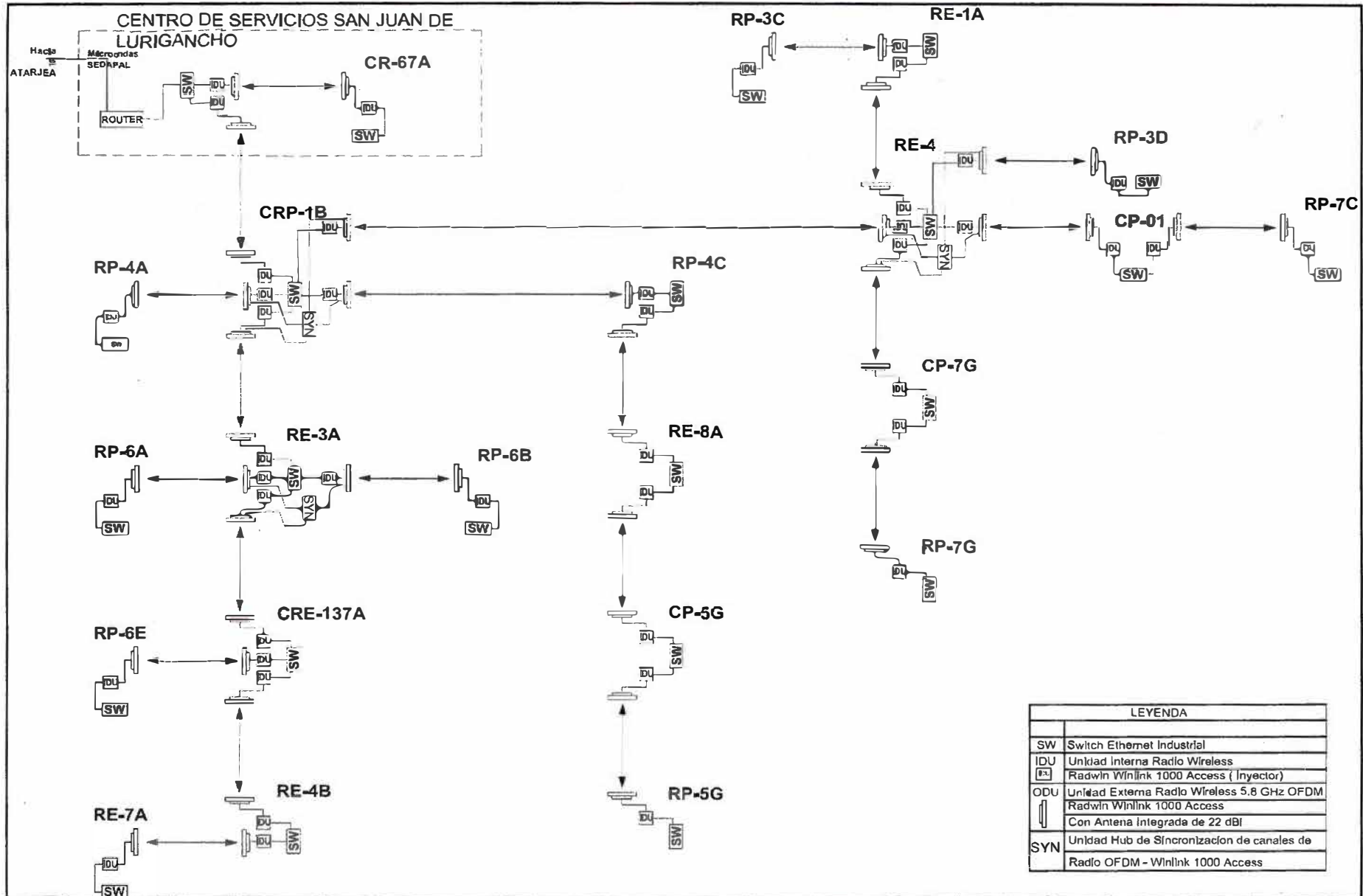
El sistema de radioenlaces implementado con equipos WinLink 1000 tiene las siguientes características:

- Permite operar una red Ethernet, al cual tendrán acceso los PLCs de cada estación y el centro de control SCADA, asegurando una transmisión de datos a 2Mbps.
- La plataforma Ethernet también permite la programación remota de los PLCs desde el centro de control SCADA, permitiendo el monitoreo en tiempo real de los programas que se ejecutan en los PLCs y pudiendo realizar cambios en los mismos.
- Al implementarse un sistema de comunicación propio adicionalmente al tráfico de datos (control y monitoreo), la red Ethernet tiene la capacidad de poder transmitir voz y video para implementación futura.
- Permite reducir costo en materiales o de servicio frente a otras alternativas, cuenta con reducidos tiempos de instalación y es de fácil diagnóstico y mantenimiento.
- El sistema de radioenlaces es de tipo punto a punto, interconectando las 22 estaciones del proyecto, donde cada estación ingresará a la red a través de un switch Ethernet.



FIGURA 3.5 Esquema geográfico de radioenlaces

FIGURA 3.4 Topología del SCL



De acuerdo al documento “Ingeniería de detalle del montaje”, revisión B, RFJ Comunicaciones SAC, Junio 2008, se tiene la topología del sistema inalámbrico diseñado para el proyecto Sargento Lorentz Segunda Etapa en la figura 3.4.

En la figura 3.5 se presenta el esquema geográfico de los radioenlaces de acuerdo a la condición de existencia de línea de vista entre antenas.

En la tabla 3.1 se puede ver las distancias de los radioenlaces.

TABLA 3.1 Distancias de los radioenlaces

Enlace	Origen	Destino	km	Enlace	Origen	Destino	km
1	CR-67A	CSSJL	0.09	12	RP-4C	RE-8A	0.97
2	CR-67A	CRP-1B	3.1	13	RE-8A	CP-5G	0.45
3	CRP-1B	RE-4	1.29	14	CP-5G	RP-5G	0.17
4	RE-4	RP-3D	0.29	15	CRP-1B	RP-4A	1.29
5	RE-4	RE-1A	1.26	16	CRP-1B	RE-3A	1.27
6	RE-1A	RP-3C	0.27	17	RE-3A	RP-6A	0.31
7	RE-4	CP-1	2.3	18	RE-3A	RP-6B	0.74
8	CP-1	RP-7C	0.45	19	RE-3A	CRE-137	0.54
9	RE-4	CP-7G	1.9	20	CRE-137	RP-6E	0.5
10	CP-7G	RP-7G	0.21	21	CRE-137	RE-4B	0.18
11	CRP-1B	RP-4C	1.05	22	RE-4B	RE-7A	0.36

3.3.3. Punto de interconexión con el Centro de Supervisión SCADA

Uno de los objetivos del proyecto de automatización es interconectar el Centro de Supervisión SCADA de SEDAPAL ubicado en la Atarjea con el Sistema de Comunicaciones Local (SCL) implementado para poder acceder a toda la data proveniente del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa.

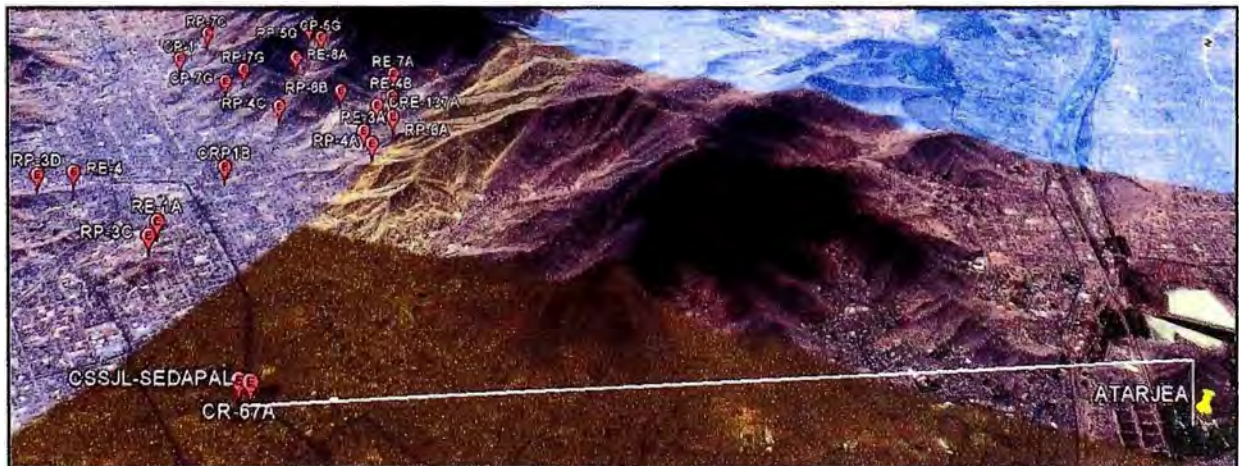


FIGURA 3.6 Mapa geográfico del esquema de interconexión

El desarrollo de la interconexión con el SCADA no es materia de este informe, pero se describirá brevemente como fue realizado.

Se utiliza la red de comunicaciones existente de enlace vía microondas desde la Atarjea hasta el Centro de Servicios de San Juan de Lurigancho, permitiendo reducir el costo de implementar un enlace nuevo de 6.5 km desde la estación CR-67A del sistema de bombeo hasta la Atarjea, como se ve en la figura 3.6.

Por lo tanto el Centro de Servicios de San Juan de Lurigancho servirá como punto de interconexión, entre el Sistema de Comunicaciones Local (SCL) de Sargento Lorentz Segunda Etapa y el Centro de Supervisión SCADA, con un esquema explicativo mostrado en la figura 3.7.

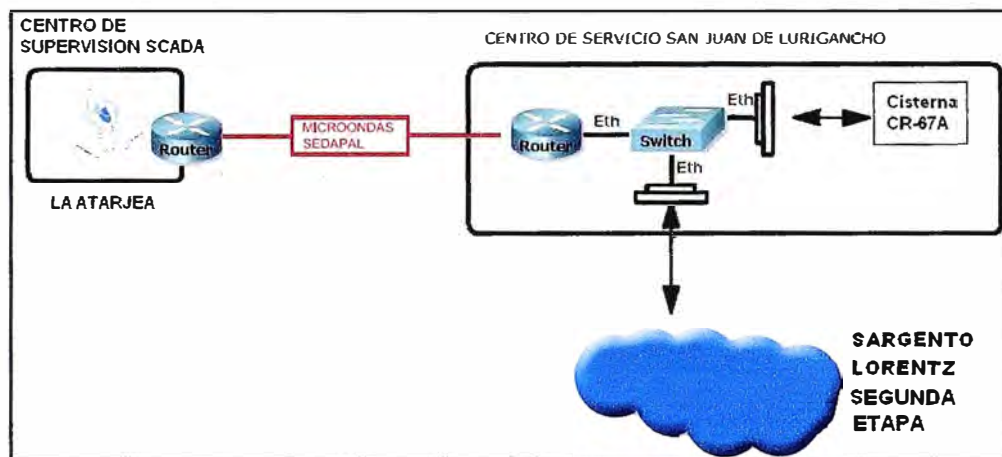


FIGURA 3.7 Esquema de interconexión

3.4. Subsistemas automáticos

De acuerdo al grafico 3.1, el sistema de control para el proyecto Sargento Lorentz Segunda Etapa se concibe como un sistema de control distribuido, que está constituido por un conjunto de 22 subsistemas, donde cada uno de los cuales tienen la estructura de un sistema automático descrito en la figura 3.8.

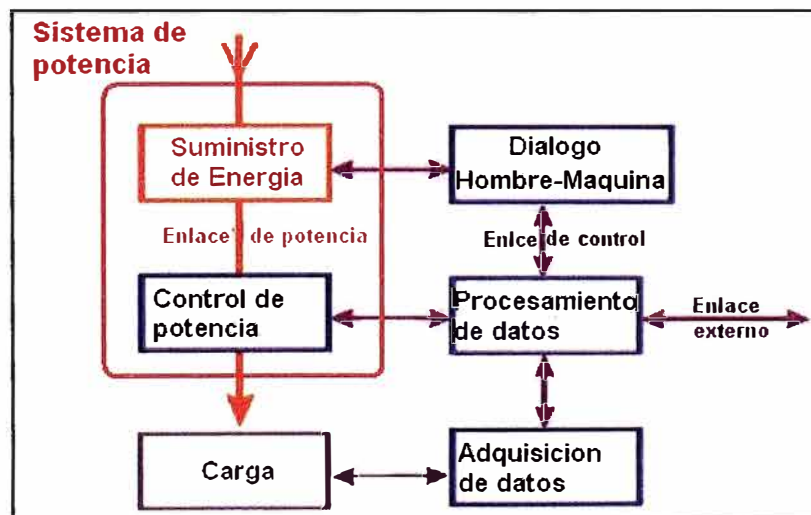


FIGURA 3.8 Subsistema automático

Para seguir diseñando el sistema se debe definir los equipos que conforman cada subsistema, los cuales serán descritos brevemente. En esta sección se presentará los criterios para la selección de los equipos más que en los detalles de los mismos (para mayor detalle ver el anexo A). Dichos criterios se basan en cumplir las funciones de un automatismo, para finalmente ver el sistema de control completo en las figuras 3.21 y 3.22.

3.4.1. Función de control de suministro de energía

Esta función brinda principalmente dos beneficios la protección y el seccionamiento.

a. Protección

Todos los receptores pueden sufrir accidentes:

- De origen eléctrico: sobretensión, caída de tensión, desequilibrio o ausencia de fases que provocan un aumento de la corriente absorbida y cortocircuitos.
- De origen mecánico: atasco del rotor, sobrecarga momentánea o prolongada que provocan un aumento de la corriente que absorbe el motor, haciendo que los bobinados se calienten peligrosamente.

Con el fin de que dichos accidentes no dañen los componentes ni perturben la red de alimentación, todos los sistemas de potencia deben incluir obligatoriamente:

- Protección contra los cortocircuitos, para detectar y cortar lo antes posible las corrientes anómalas superiores a $10 I_n$ (corriente nominal).
- Protección contra las sobrecargas, para detectar los aumentos de corriente hasta $10 I_n$ y cortar el arranque antes de que el recalentamiento del motor y de los conductores dañe los aislantes.

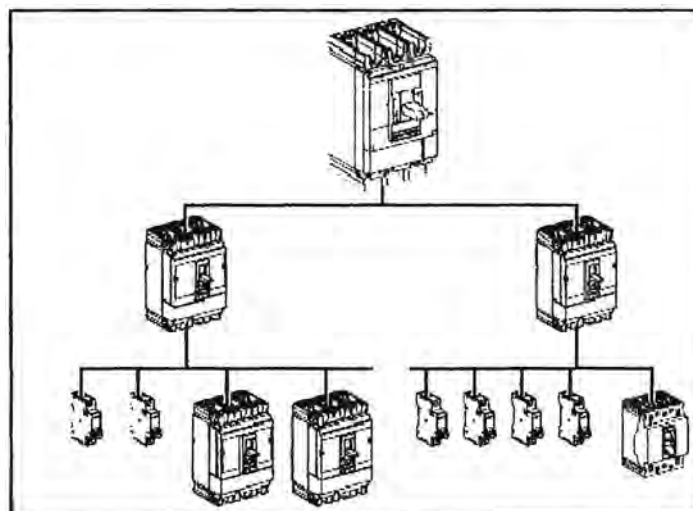


FIGURA 3.9 Interruptor automático Compact NS

b. Seccionamiento

Permite aislar eléctricamente los circuitos de potencia y de control de la red de alimentación general cuando sea requerido, especialmente para mantenimiento del sistema de potencia, como seguridad para el personal.

La función de control de suministro de energía puede ser realizada mediante el uso de interruptores automáticos Compact NS, de Merlin Gerin. Los cuales son seleccionados de acuerdo a la carga a controlar. Figura 3.9.

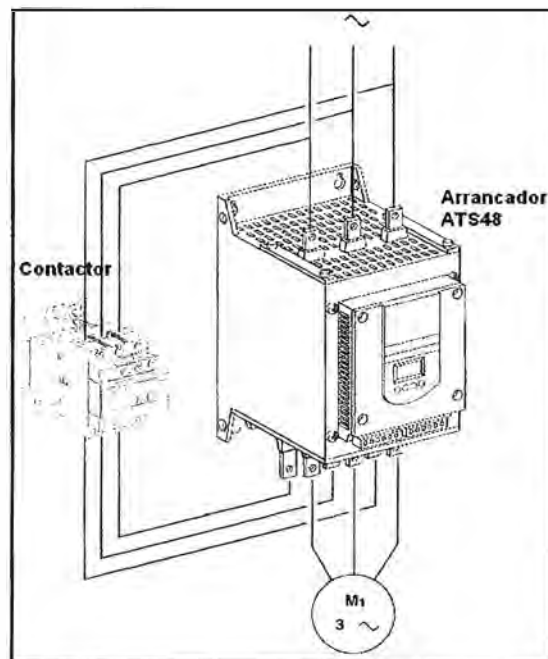


FIGURA 3.10 Arrancador ATS48

3.4.2. Función de control de potencia

En el sistema potencia debe tener las siguientes características:

- Como cargas principales a controlar tiene a los motores eléctricos que accionan las bombas para distribución del agua.
- Es necesario minimizar el pico de corriente en el arranque porque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red, especialmente a los dispositivos electrónicos como: controlador (PLC), sensores y sistema de comunicación, que formara parte del equipamiento para el sistema de bombeo.
- Es necesario brindar opciones de protección para los motores eléctricos, los cuales junto a las bombas son los elementos principales en el sistema de distribución de agua.
- El dispositivo de control de potencia debe contar con una interface de comunicación para poder integrar al controlador (PLC).

- Debe permitir arranque/parada controlados para poder minimizar el efecto de golpes de presión en el sistema hidráulico.

Por las características mencionadas existen dos alternativas de solución disponibles actualmente.

- Variador de velocidad: estos equipos garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten reducir los golpes de ariete gracias al control constante de la velocidad del motor, pero tienen un costo muy elevado respecto a los arrancadores electrónicos, siendo descartada esta opción por factores económicos.
- Arrancador electrónico: estos equipos garantizan la aceleración y deceleración progresivas durante el arranque y parada, lo cual ayuda a disminuir el efecto de golpes de ariete. Contempla funciones de protección, control y comunicación.

El arrancador electrónico que cumple con los requisitos necesarios es el Altistar 48 (conocido comúnmente como ATS48), figura 3.10, el cual es un arrancador recomendado para control de Bombas y ventiladores (según el catalogo 2003, "Altistar 48", Schneider Electric). El cual cuenta con:

- Funciones de protección del motor y de la máquina con:
 - Integración de una protección térmica del motor.
 - Supervisión del tiempo de arranque.
 - Protección contra las sub-cargas y las sobre-intensidades en régimen permanente.
- Funciones de facilidad de integración en los automatismos con:
 - 4 entradas lógicas, 2 salidas lógicas, 3 salidas de relé y 1 salida analógica.
 - Visualización de las magnitudes eléctricas, del estado de carga y del tiempo de funcionamiento.
 - Enlace serie RS 485 Modbus.

3.4.3. Función de procesamiento de datos

Esta función será desarrollada por un autómata programable (PLC), para lo cual necesitamos que cumpla las siguientes condiciones básicas para nuestro sistema:

- Se pueda implementar la lógica de funcionamiento de bombeo de manera fácil.
- Posea interface que permita integrar señales de los dispositivos de adquisición de datos, mediante señales digitales o analógicas de magnitudes estándar (24Vdc para digitales, 4-20mA para analógicas).
- Permita programación remota a través de la red Ethernet principal.

- Disponga de comunicación Modbus RS-485 para integrar dispositivos de campo que lo requieran.
- Que permita integrar al dispositivo de dialogo hombre-máquina.

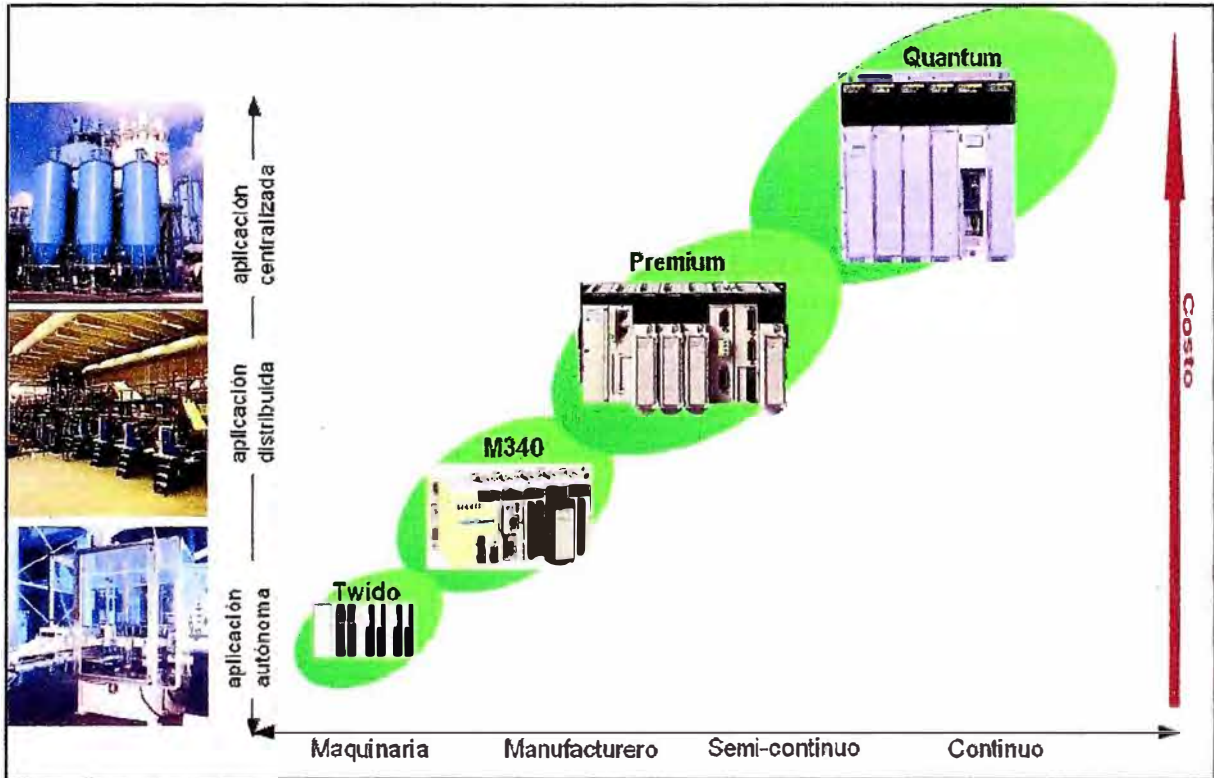


FIGURA 3.11 Controladores PLC

Dentro de las alternativas disponibles de PLCs, de la marca utilizada, se tiene a los autómatas de las familias: Twido, M340, Premium y Quantum, los cuales han sido diseñados para poder ser utilizados en diferentes aplicaciones industriales, según lo mostrado en la figura 3.11, extraído del “Manual Twido Suite”, Instituto de Formación; Schneider Electric España, 2008.

La selección de uno u otro autómata vienen dado por la complejidad de la aplicación que se desea automatizar, lo cual también influirá en el aspecto económico.

El sistema de bombeo no es una aplicación muy compleja, y por lo tanto se puede utilizar los PLCs de las familias Twido y M340 en las 22 estaciones del proyecto, siendo seleccionados de acuerdo al siguiente criterio:

- Familia de controladores M340: serán utilizados en estaciones de bombeo del ramal principal las cuales cuentan con más de dos bombas a controlar, válvulas de control y poseen un gran número de señales.
- Familia de controladores Twido: serán utilizados en estaciones de bombeo con 2 bombas a controlar y en estaciones terminales las cuales no cuentan con bombas.

La distribución de los PLCs en las estaciones de bombeo se puede ver en la figura 3.12.

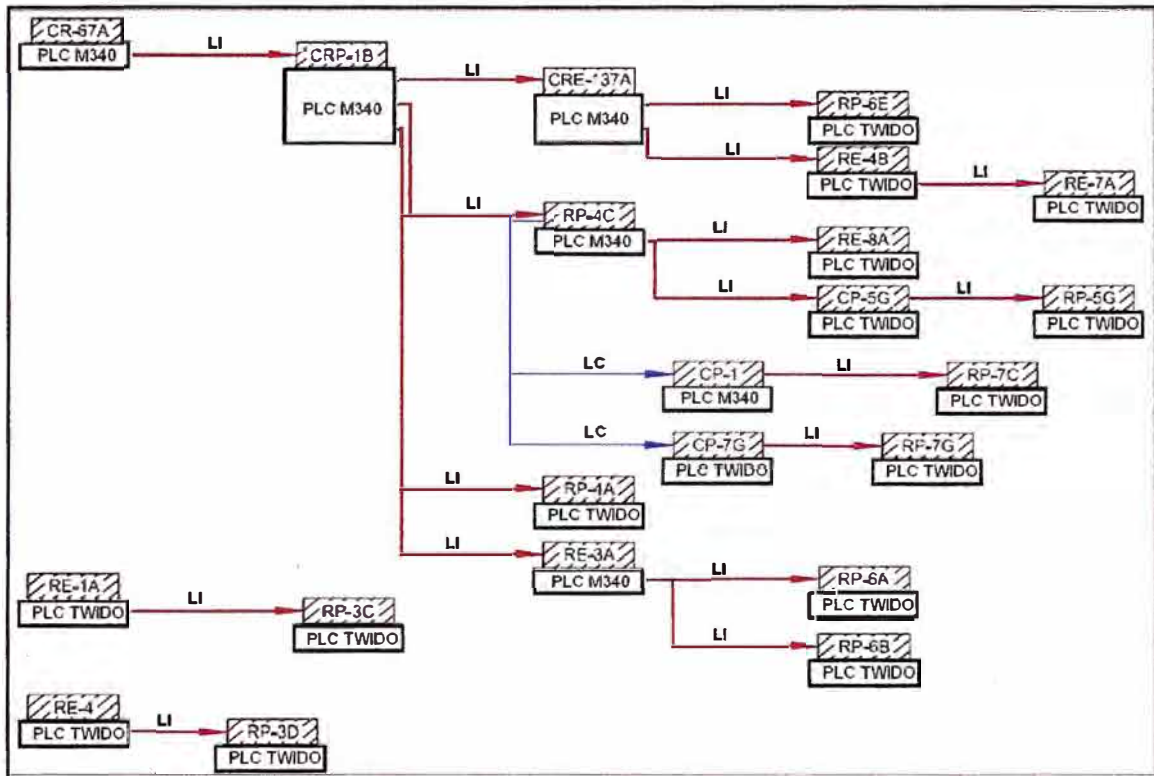


FIGURA 3.12 Distribución de los PLCs

3.4.4. Función dialogo hombre-maquina

La función de dialogo hombre-máquina se realizará utilizando el panel operador (HMI). El cual deberá cumplir con las siguientes características:

- La conexión del PLC con el panel operador debe realizarse mediante un bus de campo, compatible con los buses de los PLCs Twido y M340.
- Deberá poseer una interfaz grafica donde puede presentarse datos de las estaciones de bombeo, de forma clara.
- Deberá tener características industriales.
- Deber tomarse en cuenta el factor económico, costo del panel HMI, dado que éste será utilizado en las 22 estaciones del proyecto.



FIGURA 3.13 Panel HMI XBT RT500

Dentro de las alternativas tenemos al panel XBT RT500 de la familia Magelis, mostrado en la figura 3.13, que cumple con las características necesarias, tanto técnicas como económicas.

3.4.5. Función adquisición de datos

La adquisición de datos se logra mediante el uso de sensores, los cuales medirán las magnitudes físicas que nos interesan del proceso de bombeo y enviarán la data a los PLCs. Los sensores a utilizar de acuerdo al diseño del Sistema de Bombeo Sargento Lorentz se dividen en tres grupos y son:

a. Medición de parámetros hidráulicos

Los sensores se muestran en la figura 1.3 y se detallarán a continuación:

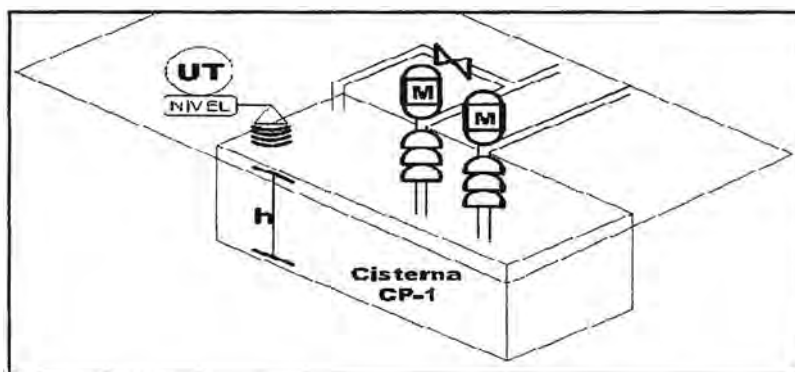


FIGURA 3.14 Cisterna

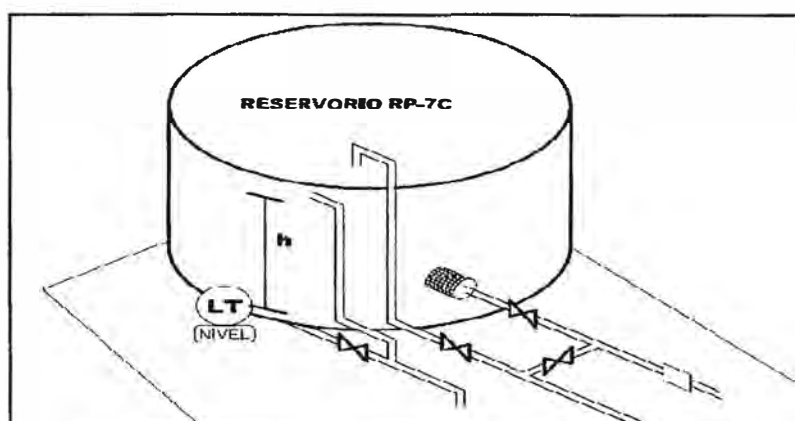


FIGURA 3.15 Reservorio

- Sensor de nivel, se utilizará para medir el nivel de agua contenida en cada depósito de agua en las 22 estaciones. Se tiene dos tipos de depósitos:
 - Tipo cisterna: donde el depósito se encuentra debajo del nivel del suelo, por lo tanto para medir el nivel se utilizará un sensor de nivel por ultrasonido, como el Shuttle de mjkll, que dispone de una salida analógica de 4-20mA. Figura 3.14.

- Tipo reservorio: donde el depósito de agua se encuentra sobre el nivel del suelo, por lo tanto para medir el nivel de agua, se utilizará un sensor por presión, como el MBS33 de Danfoss que dispone de una salida analógica de 4-20mA. Figura 3.15.
- Sensor de caudal: se utilizará un sensor electromagnético que pueda medir tanto caudal instantáneo, como volumen total acumulado de agua en las tuberías de impulsión, conducción (distribución de agua por acción de la gravedad a otras estaciones) y aducción (distribución de agua por acción de la gravedad a la población). Como es necesario enviar dos variables, es necesario un bus de campo para enviar los datos al PLC. Se utilizará el caudalímetro MagX1 de Arkon, figura 3.16, el cual dispone de comunicación Modbus RS485.



FIGURA 3.16 Caudalímetro MagX1

- Sensor de presión: se medirá la presión de la línea de impulsión para monitorear que este dentro de los rangos definidos por SEDAPAL para evitar rotura de las tuberías y poder visualizar el efecto de golpe de ariete. Se utilizará el sensor MBS33 de Danfoss, dispone de una salida analógica de 4-20mA.
- Sensor de nivel mínimo: la activación de este sensor evitara el bombeo cuando no haya agua suficiente, protegiendo las bombas. Para ello se utilizará un sensor por electrodos como el RM4LG01M de Telemecanique, con una salida tipo contacto.

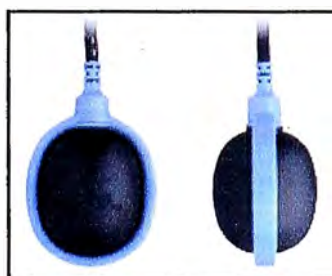


FIGURA 3.17 Sensor tipo boya

- Sensor de Rebose: este sensor esta en las estaciones destino, cuya activación ordena la parada de las bombas de la estación fuente. Se puede usar un sensor tipo flotador, con salida tipo contacto. Figura 3.17.

- Sensor de inundación: también es un sensor como medida de seguridad, este sensor se instalará en las estaciones de construcción subterráneas como el CP01, CRP1B, CP5G y CP7G. Se utilizará el modulo de control de inundación WI-WB200 y el sensor WI-1040 de Winland. El modulo WI-WB200 posee una salida tipo contacto.

b. Medición de parámetros eléctricos

Los parámetros eléctricos más importantes son los relacionados al los motores eléctricos que controlan las bombas. Por las siguientes razones:

- Ayuda el uso eficiente de la energía eléctrica, permitiendo tener acceso a la información sobre el sistema eléctrico.
- Permite evaluar el comportamiento de la red eléctrica.
- Permite monitoreo continuo de la calidad de energía evitando las penalizaciones.
- Ayuda al mantenimiento de los motores eléctricos.
- Ayuda a determinar los gastos de energía que el sistema de distribución de agua requiere para funcionar.
- Ayuda a la gestión de la energía (costos, funciones de optimización).
- Control de la demanda de la energía.



FIGURA 3.18 Analizador de redes eléctricas PM710

Como el dispositivo de medición de la energía brindará mucha información, la comunicación se realizará a través de un bus de campo, compatible con los PLCs. Se utilizará el analizador de redes eléctricas PM710 mostrado en la figura 3.18, el cual dispone de bus de comunicación Modbus RS485.

Adicionalmente se utilizará un relé RM4TR32 de medición de máximo, mínimo y pérdida de fase de la tensión de alimentación de los motores, el cual posee salida tipo contacto.

3.5. Tipos de subsistemas

Los 22 subsistemas automáticos que conforman al sistema de bombeo se pueden dividir en dos grupos:

- a. **Estación de bombeo**, tenemos 11 estaciones, que poseen controlador, sensores, panel HMI y sistema de potencia para control de las bombas. Mostrado en la figura 3.19, la descripción de las nomenclaturas está en la tabla 3.2.

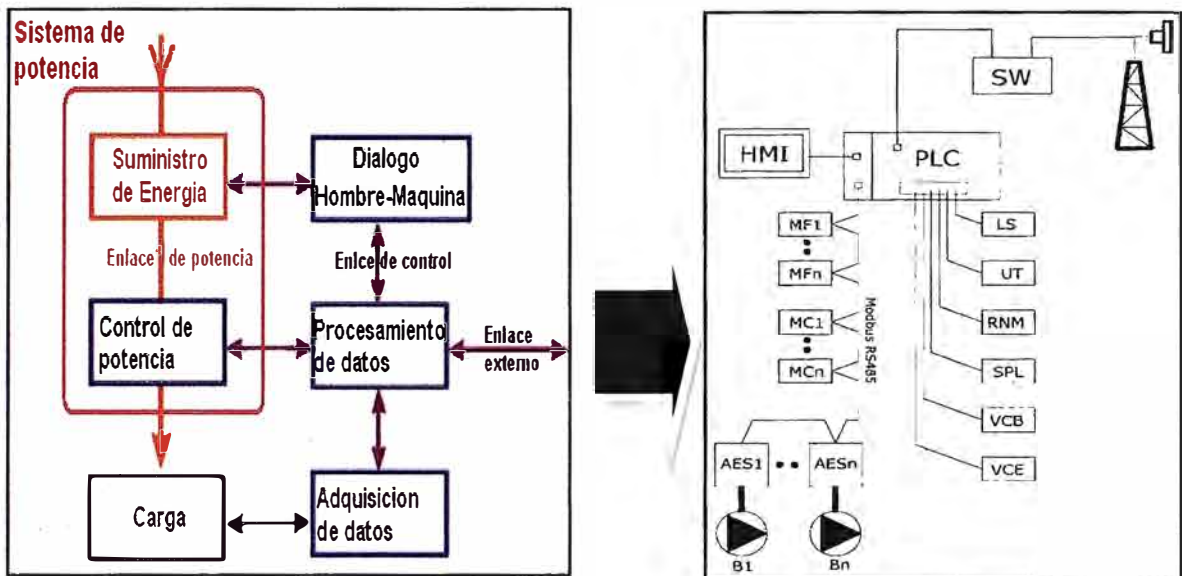


FIGURA 3.19 Estación de bombeo

- b. **Estación terminal**, tenemos 11 estaciones que no poseen bombas, pero si sensores, controlador y panel HMI. Son las estaciones que se encuentran al final de las líneas de impulsión, desde las cuales se envía agua a la población principalmente. Mostrado en la figura 3.20, la descripción de las nomenclaturas está en la tabla 3.2.

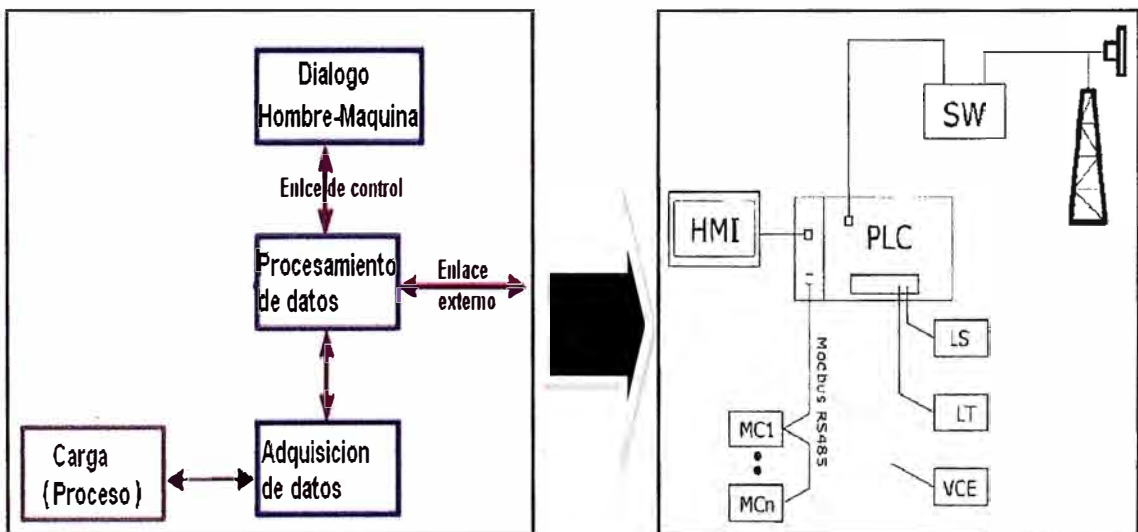


FIGURA 3.20 Estación terminal

Una vez definido los equipos que conforman cada subsistema se puede representar al Sistema de Control Sargento Lorentz Segunda Etapa de manera completa

según la figura 3.21 y 3.22, donde cada estación se equipa con un subsistema automático (de bombeo o terminal) de acuerdo a sus propias características mostradas en la figura 1.3 (donde se especifican los sensores, válvulas y cantidad de bombas a controlar).

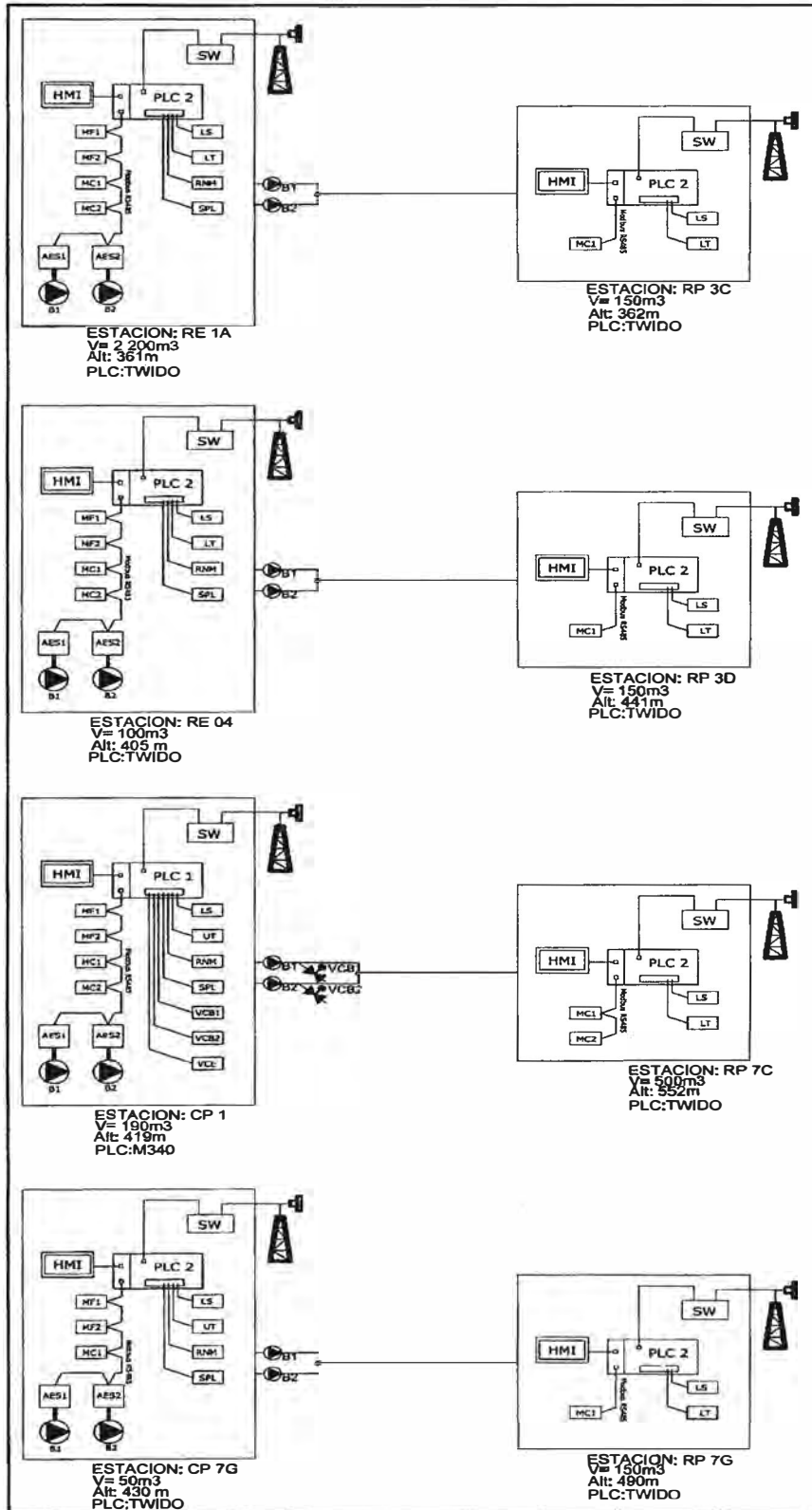
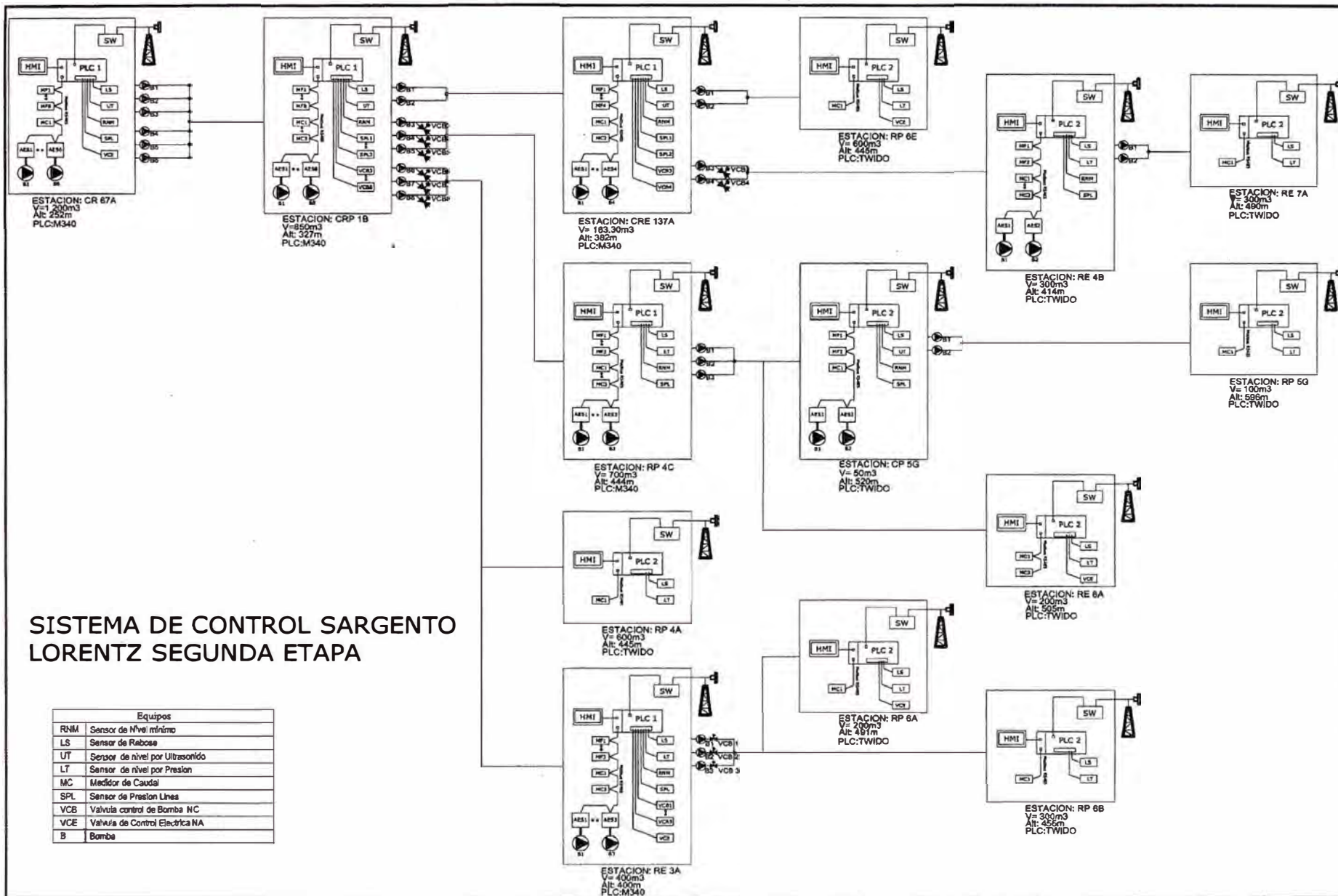


FIGURA 3.21 Sistema de Control Sargento Lorentz Segunda Etapa (parte 1)

FIGURA 3.22 Sistema de Control Sargento Lorentz Segunda Etapa (parte 2)



3.6. Selección del bus de campo

Se definirá un bus de campo a utilizar en cada subsistema automático implementado en las 22 estaciones, de acuerdo a las necesidades del proyecto:

- Se necesita un bus de campo para interconectar el HMI y el PLC.
- Se necesita un bus de campo para interconectar sensores que transfieren más de un parámetro al PLC:
 - El caudalímetro MagX1
 - El analizador de redes PM710
 - El arrancador electrónico ATS48, por medio de la comunicación se puede enviar al PLC datos de monitoreo y de fallas.

TABLA 3.2 Leyenda de equipos del sistema de control

Equipos	
RNM	Sensor de Nivel mínimo
LS	Sensor de Rebose
UT	Sensor de nivel por Ultrasonido
LT	Sensor de nivel por Presion
MC	Medidor de Caudal
SPL	Sensor de Presion Linea
VCB	Valvula control de Bomba NC
VCE	Valvula de Control Electrica NA
B	Bomba

Y que debe cumplir ciertas características:

- Sea un bus de campo con protocolo estándar, lo cual permite reducir los costos de su implementación y existen más equipos compatibles en el mercado.
- Debe ser un bus de campo disponible en los controladores Twido y M340 ya definidos.
- Debe permitir distancias considerables de comunicación, de acuerdo a las máximas necesarias en nuestra aplicación. Siendo la distancia entre el caudalímetro y el PLC, la mayor en este caso, por estar fuera de los tableros eléctricos.

De acuerdo a nuestros requerimientos planteados tenemos las siguientes redes disponibles en los PLCs, de acuerdo a los manuales del fabricante:

- PLC Twido: bus de campo CANopen, Modbus serial, AS-Interface y Ethernet.
- PLC M340: bus de campo CANopen, Modbus serial y Ethernet.

Ethernet, queda descartada para usar como bus de campo, porque a nivel de sensores es muy costoso disponer de equipos con comunicación Ethernet y no justifica el gasto para la cantidad de información que los sensores como el caudalímetro, analizador de redes y el arrancador electrónico enviarán al PLC.

AS-Interface, queda descartada por qué no se puede implementar con el PLC M340, además no es una red disponible para analizadores de redes, caudalímetros y arrancadores electrónicos, al ser fundamentalmente una red de sensores digitales (tipo on-off).

CANopen, es una red disponible para arrancadores y variadores de velocidad, pero no se encontró disponible en analizadores de redes y caudalímetros.

Modbus serial, es una red estándar, que está disponible como medio de comunicación en caudalímetros de muchas marcas, analizadores de redes y en los arrancadores electrónicos ATS48 viene por defecto.

Por lo tanto Modbus serial es una alternativa clara para usar como bus de campo, además de las siguientes razones:

- Está disponible en interface RS485, lo cual permite conexiones hasta 1000metros.
- Es una red confiable de aplicaciones industriales.
- Permite interconectar hasta 32 dispositivos en una red Modbus.
- Tiene una topología de bus, cuyo medio físico no es costoso de implementar: cable de 2 hilos de par trenzado con apantallamiento para conectar a tierra.
- Generalmente no necesita conectores, siendo usual las conexiones tipo bornero.
- Permite configurar la red inicialmente con pocos dispositivos y luego poder incrementar el número de ellos sin costo adicional, ni configuraciones especiales (escalabilidad).

Por lo tanto se utiliza Modbus RS485 como bus de campo para conectar el PLC a los caudalímetros, analizadores de redes y arrancadores electrónicos, a pesar de estar disponible los arrancadores con comunicación CANopen ya que no es recomendable usar diferentes redes porque incrementan el costo de la implementación. De forma similar se usará Modbus RS485 para comunicar el PLC con el HMI ya que el HMI XBTRT500 tiene disponible como estándar dicho bus de campo.

3.7. Sistema de potencia

El control de potencia es una de las funciones que conforma un automatismo.

La función básica del sistema de potencia consiste en establecer o interrumpir la alimentación (energía) de los motores eléctricos siguiendo las órdenes del PLC.

El sistema de potencia utilizado en Sargento Lorentz Segunda Etapa, está conformado por equipamiento destinado al control y protección de los motores que accionan las bombas centrífugas que impulsan el agua, representado principalmente por el arrancador electrónico y los equipos que complementan su funcionamiento.

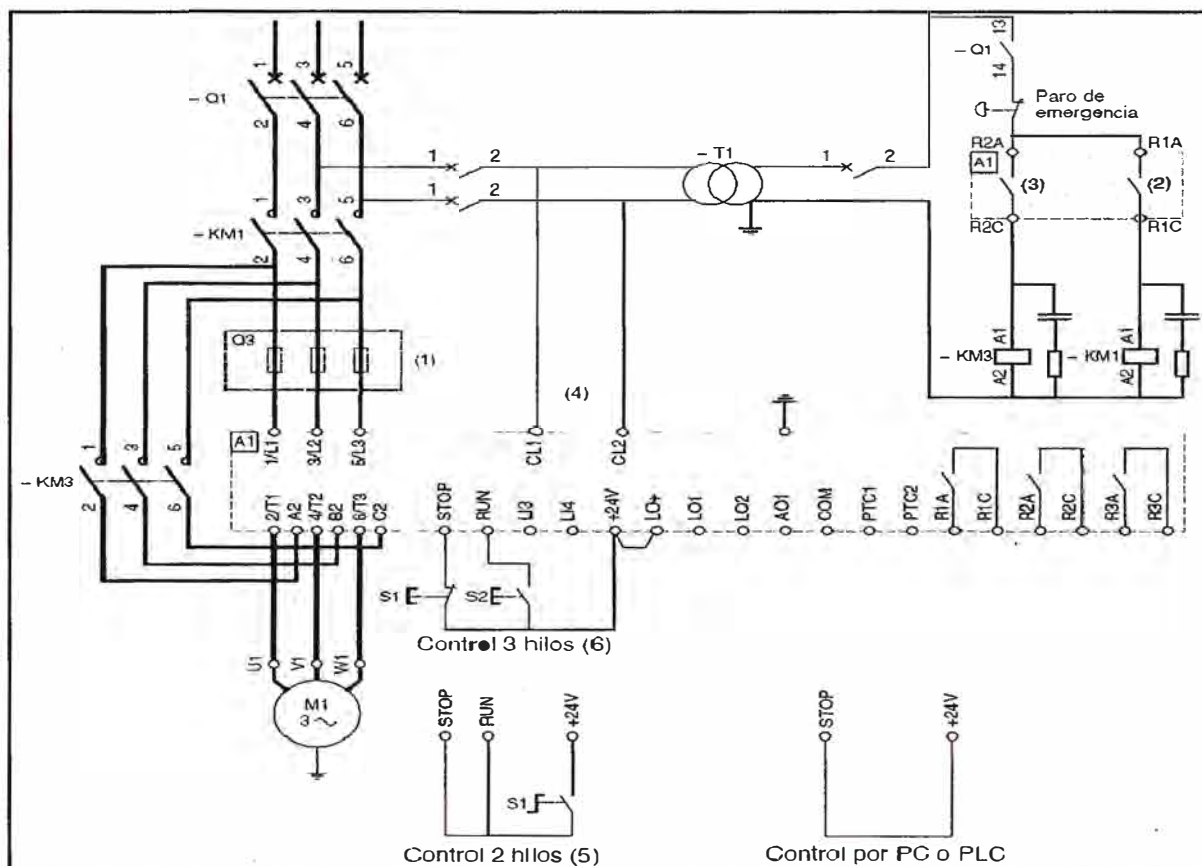


FIGURA 3.23 Esquema de aplicación ATS48

Para el diseño del sistema de potencia utilizado en cada estación, se usará el esquema de aplicación sugerido por el fabricante para arrancadores electrónicos ATS48, definido en: "ATS48: 1 sentido de marcha con contactor de línea, by-pass, parada libre o controlada, coordinación de tipo 1", pag31, catalogo Altistar48 Telemecanique, el cual se muestra en la figura 3.23.

En la figura 3.22, Q1 es un interruptor termo magnético, KM1 y KM2 son contactores tripolares, A1 es el arrancador electrónico ATS48, Q3 un conjunto de fusibles opcionales, T1 es un transformador para alimentar el circuito de control.

La figura 3.23 muestra los detalles de conexión de la etapa de potencia y el diagrama de control sugerido por el fabricante, entonces utilizando este diagrama y

adicionando el sistema de banco de condensadores, el sistema de potencia queda definido según la figura 3.24.

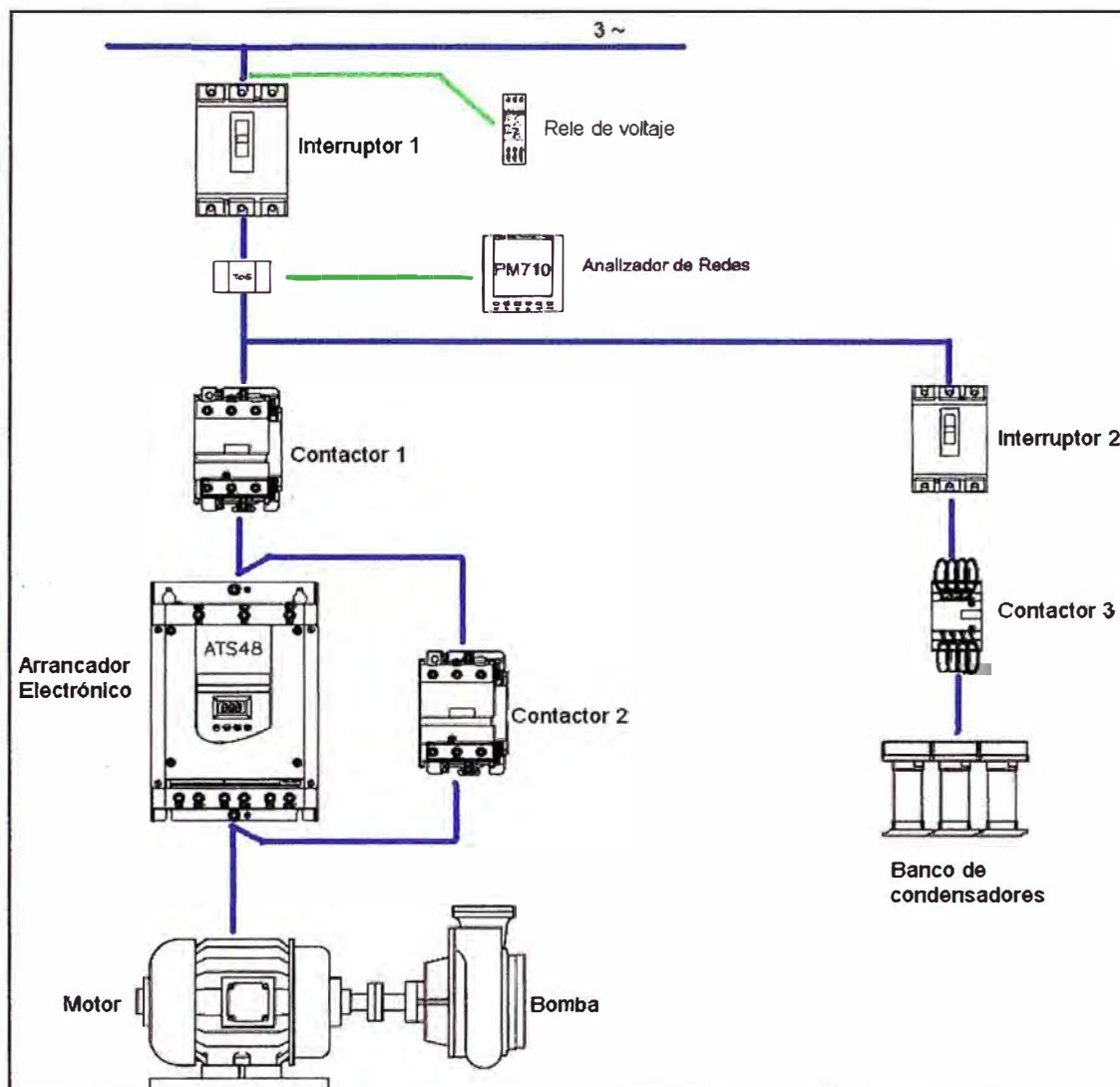


FIGURA 3.24 Circuito de potencia típico

Los equipos que complementan la función del ATS48 son:

- **Interruptor termo-magnético:** se utiliza equipos de la familia Compact NS, que se encargan del seccionamiento y de la protección contra corto circuito.
- **Relé de voltaje:** se utiliza el relé RM4TR32 para monitoreo de sobre, sub voltaje, y pérdida de fase, enviando la señal de anomalía a través de una salida tipo contacto al PLC.
- **Analizador de redes:** se utiliza el equipo PM710.
- **Contactor tripolar:** se utiliza el contactor de la familia Tesys.
- **Contactor para banco de condensadores:** se utilizan los LC1-DK, son contactores especiales para mando de condensadores de acuerdo a los KVAR requeridos.

- **Banco de condensadores:** se utilizan los condensadores modulares VARPLUS para mejorar el factor de potencia del motor cuando está en funcionamiento.

Todos los equipos de potencia son seleccionados para cada estación de bombeo de acuerdo al calibre más apropiado, que depende directamente de las tensiones y corrientes diseñadas según los planos eléctricos que no son materia de este informe.

En la figura 3.24 se muestra el circuito de potencia utilizado y se describe a continuación:

- Interruptor 1: interruptor termo-magnético
- Relé de voltaje RM4TR32.
- Analizador de redes PM710.
- Contactor1: es el contactor de aislamiento, cuando la bomba no esté operando este contactor aísla la alimentación de potencia.
- Contactor2: es el contactor de bypass, se acciona cuando el ATS48 culmina la etapa de arranque del motor y se abre cuando el motor va comenzar su etapa de parada. De este contactor se envía la señal de funcionamiento de la bomba al PLC.
- Arrancador Electrónico ATS48: controla el arranque, parada del motor y lo protege durante su funcionamiento. Comanda el funcionamiento de los contactores 1 y 2. Envía al PLC estado de falla y el valor de corriente consumida por el motor.
- Interruptor 2: interruptor termo-magnético para seccionar el banco de condensadores de la alimentación eléctrica.
- Contactor3: es el contactor especial para banco de condensadores, el cual es accionado por un temporizador después de ser accionado el contactor de bypass. Este contactor envía una señal al PLC indicando la activación del banco de condensadores.
- Banco de condensadores: corrige el factor de potencia del motor.

3.7.1. Circuito de control

El circuito de control típico utilizado para control de dos bombas se presenta en las figuras 3.25 y 3.26, el cual se describe a continuación:

- Se cuenta con dos selectores que determinarán los modos de operación del sistema que será descrito en el capítulo 4. Un selector Local-Remoto S3 por estación y un selector Manual-Automático por bomba S1 y S2.
- Se puede operar bomba manualmente a través de las botoneras P1, P2, P3 y P4.

- El circuito de control es habilitado por sensor de nivel mínimo RML, que evita bombeo en vacío o con muy bajo nivel de agua, y por el relé de voltaje RMT, que verifica la tensión de fuerza.
- Se tiene señalización de funcionamiento y falla de las bombas a través de pilotos H1, H2, H3 y H4.
- Se controlan los arrancadores A1 y A2 a través de los contactores auxiliares KA1 y KA2.
- Se implementa un enclavamiento de los contactores auxiliares KA1 y KA2 para que las estaciones de dos bombas solo deba funcionar una a la vez.
- El circuito de control utiliza tensión 220Vac, y dicho circuito se protege con el interruptor Q4. Del circuito de control se alimenta la tensión de control del arrancador electrónico (A1 y A2) y el analizador de redes (MF1 y MF2).

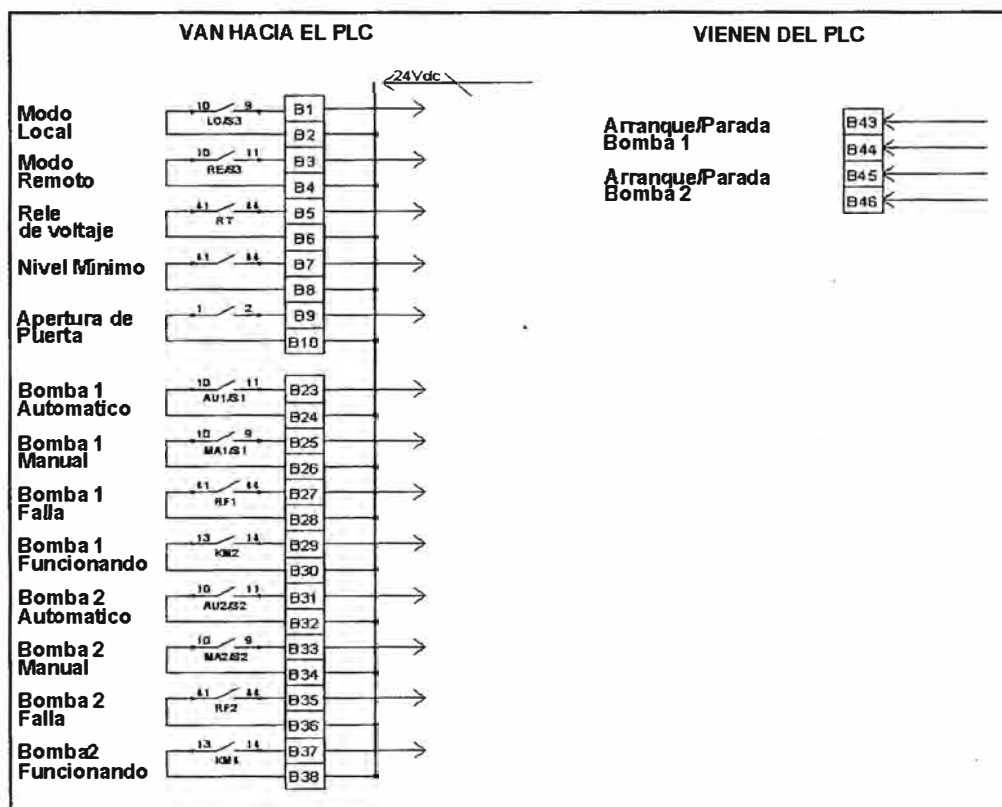


FIGURA 3.27 Señales de conexión con el PLC

Del circuito de control se envían las siguientes señales al PLC de acuerdo a la figura 3.27:

- Posición del selector Local-Remoto: 2 contactos secos NA.
- Estado del Relé de voltaje: 1 contacto seco NA.
- Estado del relé de nivel mínimo: 1 contacto seco NA.

- Estado de la puerta del tablero general: 1 contacto seco NA.
- Posición del selector Manual-Automático de cada bomba: 2 contactos secos NA por bomba.
- Estado de funcionamiento de cada bomba: 1 contacto seco NA por bomba.
- Estado de falla de cada Bomba: 1 contacto seco NA por bomba.

El circuito de control recibe las siguientes señales provenientes del PLC de acuerdo a la figura 3.27:

- Orden de arranque/parada para cada bomba: 1 contacto seco NA por bomba.

3.8. Sistema de seguridad

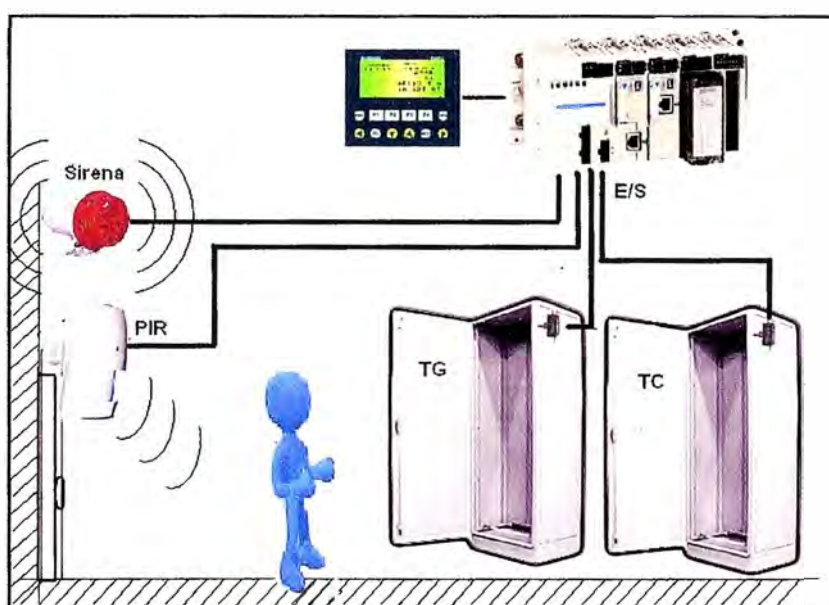


FIGURA 3.28 Sistema de seguridad

Adicionalmente al control del proceso de bombeo, cada estación implementa funciones de seguridad con el objetivo de proteger y limitar el acceso a personal no autorizado a las estaciones, ver figura 3.28.

- Se utiliza un sensor de movimiento (PIR) para detectar la presencia de cualquier persona dentro de la sala de control.
- Como el equipamiento suministrado en cada estación, ira dentro de gabinetes metálicos denominados tableros eléctricos, se dispone de interruptores en cada puerta de cada tablero para poder detectar cuando un tablero es abierto.
- Se utiliza una sirena para emitir alerta sonora, activada por el PLC.

- Se utiliza también una pantalla configurada en el HMI para complementar la lógica de seguridad.

Las señales del detector de movimiento y de los tableros serán enviados al PLC para poder implementar la lógica de control de seguridad.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DEL SISTEMA AUTOMATICO SARGENTO LORENTZ SEGUNDA ETAPA

En el capítulo 3 se describieron los equipos principales que conformarán las estaciones, en este capítulo se verán los detalles de la integración de los equipos así como las lógicas de operación que gobiernan el funcionamiento del sistema.

4.1. Niveles de automatización

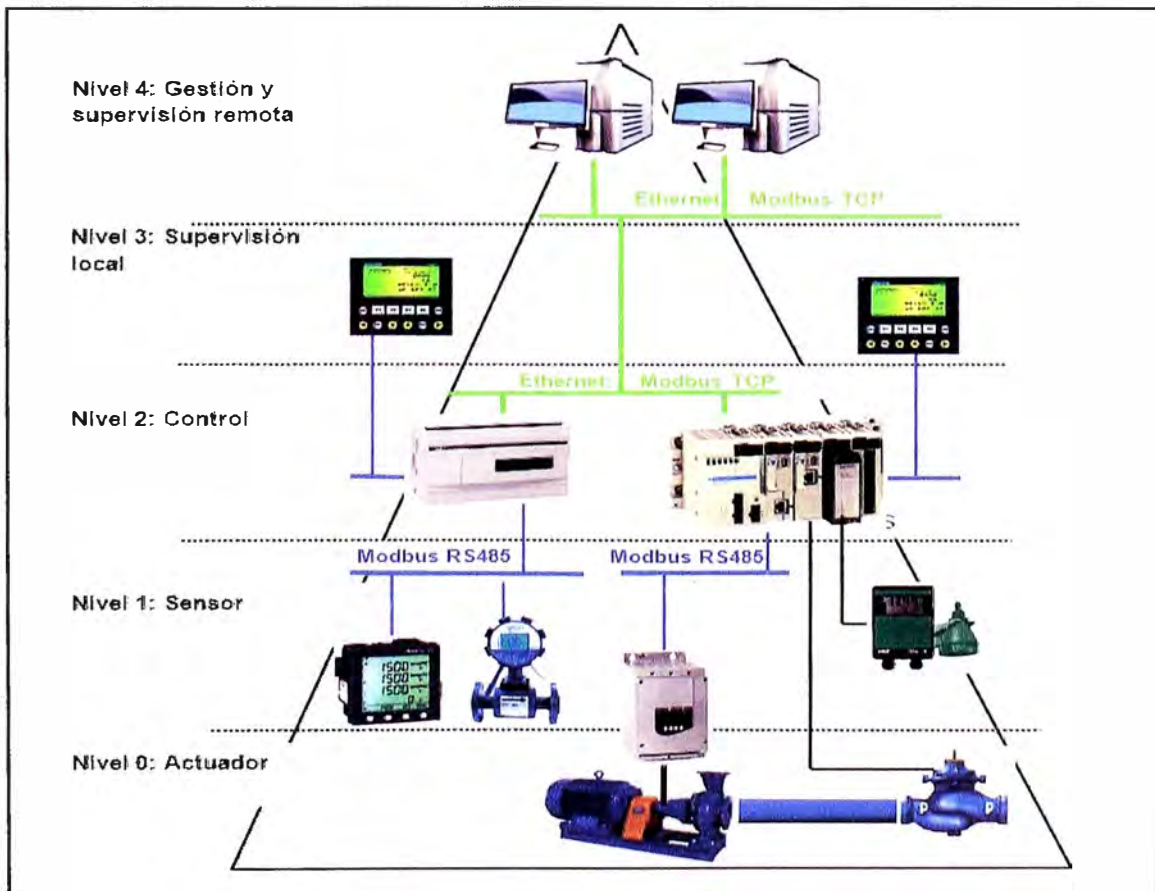


FIGURA 4.1 Niveles de automatización Sargento Lorentz Segunda Etapa

El sistema de automatización Sargento Lorentz Segunda Etapa está concebido como una estructura jerarquizada de cinco niveles, que se presentan en la figura 4.1.

NIVEL 4 – Gestión y supervisión remota

Está conformado por el Sistema de Supervisión SCADA. El protocolo de comunicaciones utilizado en este nivel es Modbus/TCP sobre plataforma de comunicación Ethernet, mediante el cual los servidores SCADA podrán acceder a la información contenida en los PLCs.

NIVEL 3 – Supervisión Local

Está conformado por los paneles HMI Magelis XBTRT500, ubicados en cada estación de bombeo, desde los cuales se puede efectuar el control del proceso de bombeo y monitoreo de los parámetros hidráulicos y eléctricos de un grupo hidráulico. Se utilizara el bus de campo Modbus RS485 para interconectar el HMI con los PLCs.

NIVEL 2 - Control

En este nivel se tiene a los PLCs Twido y M340 de las estaciones, los cuales intercambian información para la ejecución de rutinas de control de manera autónoma, supervisando y controlando los datos preparados por los niveles inferiores (nivel 0 y 1).

En este nivel se encuentra el Sistema de Comunicaciones Local (SCL) el cual permite el Intercambio de Información de Telecontrol entre PLCs del sistema de bombeo, utilizando el protocolo de comunicación Modbus TCP sobre Ethernet.

NIVEL 1: Sensor

Está constituido por los instrumentos que recogen información de las variables físicas, para su procesamiento. La adquisición de datos será a través de señales de 4-20mA para equipos que transmitan no más de una sola señal analógica (sensor de presión y de nivel) y mediante buses de campo estándar tales como MODBUS RS485 en donde es necesario transmitir más de una señal analógica, como medidores de caudal MagX1, analizadores de red PM710 y arrancadores electrónicos ATS48.

NIVEL 0: Actuador

Está constituido principalmente por válvulas eléctricas, válvulas hidráulicas, motores y las bombas centrifugas encargadas de impulsar el agua a través del sistema hidráulico implementado.

4.2. Arquitecturas de automatización

Como se utilizará dos controladores diferentes, se describirá dos arquitecturas que se implementarán en las 22 estaciones del proyecto:

- Arquitectura Twido: para estaciones de bombeo y terminales
- Arquitectura M340: para estaciones de bombeo

Las arquitecturas Twido y M340 se implementarán en los subsistemas autónomos del sistema de distribución de agua los cuales deben tener las siguientes características:

- El PLC debe integrarse a sistema de comunicación local a través de la red Ethernet.
- El PLC debe interconectarse al panel HMI a través del bus de campo Modbus RS485.
- El PLC debe interconectarse a los dispositivos de campo: Caudalímetro MagX1, analizador de redes PM710 y arrancador electrónico ATS48 a través del bus de campo Modbus RS-485, donde la cantidad de dispositivos varía en cada estación de acuerdo a la figura 1.3.
- El PLC deber permitir la programación remota a través de la red Ethernet.

Se describe algunas características en común a ambas arquitecturas como la red de dispositivos de campo y la red con el HMI.

4.2.1. Red de dispositivos de campo

Como los dispositivos de campo se integran al PLC mediante comunicación Modbus, se pueden integrar a través de una red Modbus RS485 siguiendo las consideraciones:

- Se integran a la red Modbus a aquellos dispositivos que transmitan más de de una variable de información al PLC, como los medidores de caudal MagX1, los analizadores de redes PM710 y los arrancadores electrónicos ATS48.
- Se utiliza la interface RS485 porque permite extender el bus de comunicaciones hasta 1200m, permitiendo conectar sin problemas los equipos que se encuentran fuera del los tableros eléctricos, como los caudalímetros.
- La red Modbus RS485 permite en un bus interconectar 32 dispositivos, con un solo maestro, quien realiza las funciones de comunicación. Como el PLC es el que realiza la función de adquisición de datos de cada dispositivo de campo, este será configurado como maestro, entonces los demás serán configurados como esclavos asignándoles sus respectivas direcciones Modbus y los mismos parámetros de red (ejemplo velocidad 9600 bps, 8bits de datos, 1 bit de parada, paridad par).
- La interconexión de los dispositivos de campo se realiza mediante cable apantallado

de dos hilos y cables propietarios de Schneider, cuyo recorrido debe estar alejado de los cables de fuerza, y si hay cruce debe ser de forma perpendicular para evitar interferencia en el bus de comunicaciones.

a. Panel HMI

El panel operador (HMI) utilizado es el XBT RT500 de la familia Magelis, el cual se comunica con el PLC utilizando Modbus RS-485, donde la comunicación es el tipo maestro/esclavo. El panel HMI generalmente es configurado como maestro, quien realiza la lectura y escritura de los parámetros configurados en el PLC y los muestra en pantallas. Para asegurar la comunicación entre el PLC y el panel HMI, se configura en ambos equipos los mismos parámetros de red (ejemplo velocidad 9600 bps, 8bits de datos, 1 bit de parada, paridad par).

4.2.2. Arquitectura Twido

De acuerdo a las características planteadas de interconexión, el controlador Twido que cumple con las necesidades es el TWDLCAE40DRF. Por las siguientes razones:

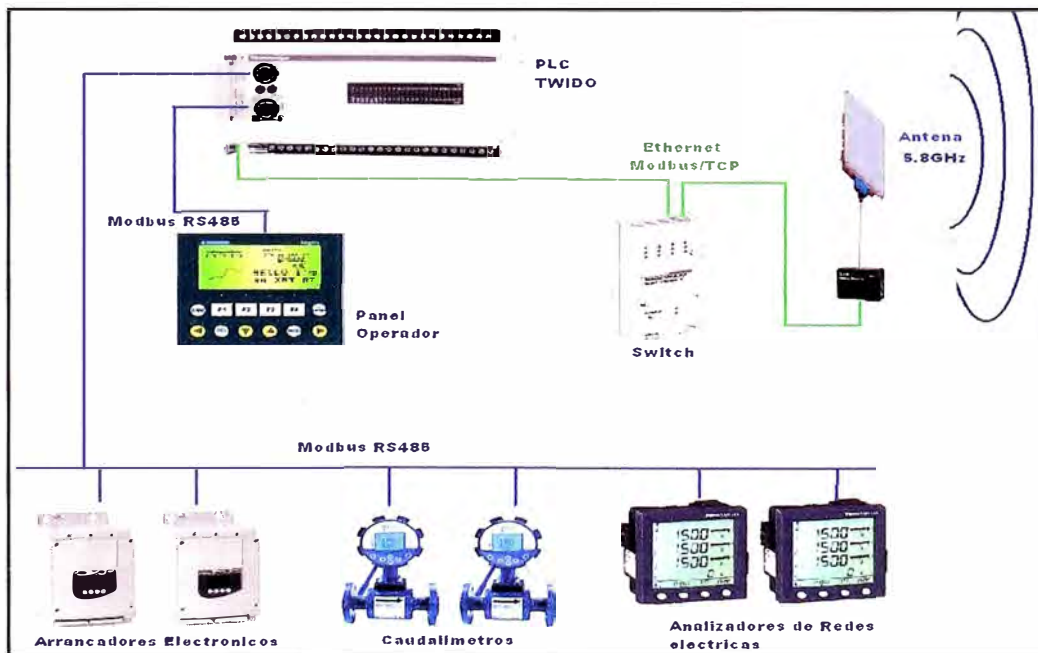


FIGURA 4.2 Arquitectura Twido

- Permite comunicación Modbus Ethernet y serial. Dispone de dos puertos seriales Modbus, uno para integrar a la red de dispositivos de campo y otro para el HMI, y un puerto Ethernet para interconexión con el sistema de comunicación local (SCL).
- Permite programación remota. El controlador Twido es programado normalmente a través del puerto serial integrado (CH1), pero el modelo TWDLCAE40DRF con puerto Ethernet integrado también permite programar a través del puerto Ethernet.

- Dispone de 40 entradas/salidas digitales para integrar señales de control, y permite ampliar hasta 7 módulos adicionales para entradas /salidas digitales o analógicas.

De acuerdo al diseño de comunicación, la arquitectura Twido tiene el esquema el mostrado en la figura 4.2:

Las consideraciones tomadas en cuenta para definir la arquitectura son:

a. Controlador

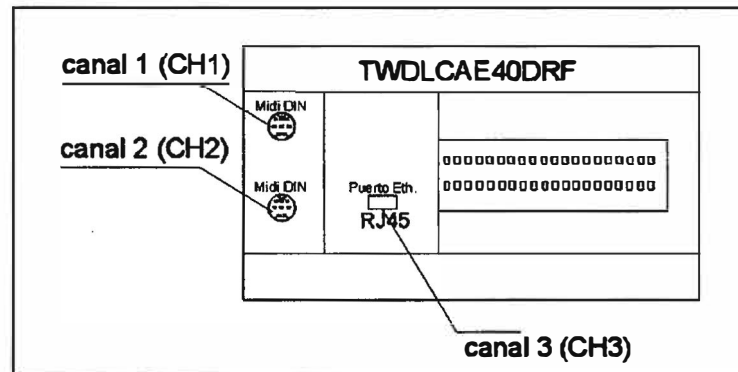


FIGURA 4.3 Canales de comunicación – PLC Twido

Para interconectar el controlador TWDLCAE40DRF es necesario configurar los canales de comunicaciones mostrados en la figura 4.3.

- CH1 (puerto Serial Modbus RS485 integrado), como maestro Modbus para la red de dispositivos de campo.
- CH2 (puerto Serial Modbus RS485 tipo expansión), como esclavo Modbus de la red con el HMI.
- CH3 (Puerto Ethernet integrado), configuramos la IP del PLC para interconexión a la red Ethernet a través del switch con protocolo Modbus TCP.

b. Red de dispositivos de campo

La red de dispositivos de campo se forma mediante una red RS485 con protocolo Modbus RTU, configurado a 9600 bps, 8bits de datos, 1 bit de parada, paridad par. Se muestra en las figuras 4.4 y 4.5.

Consideraciones:

- 1) Se utiliza el canal1 del PLC configurado como maestro, con los mismos parámetros de red configurados en los esclavos.
- 2) Para la interconexión del PLC Twido con la red de dispositivos de campo se utiliza la caja de interconexión TSX PACCO1.

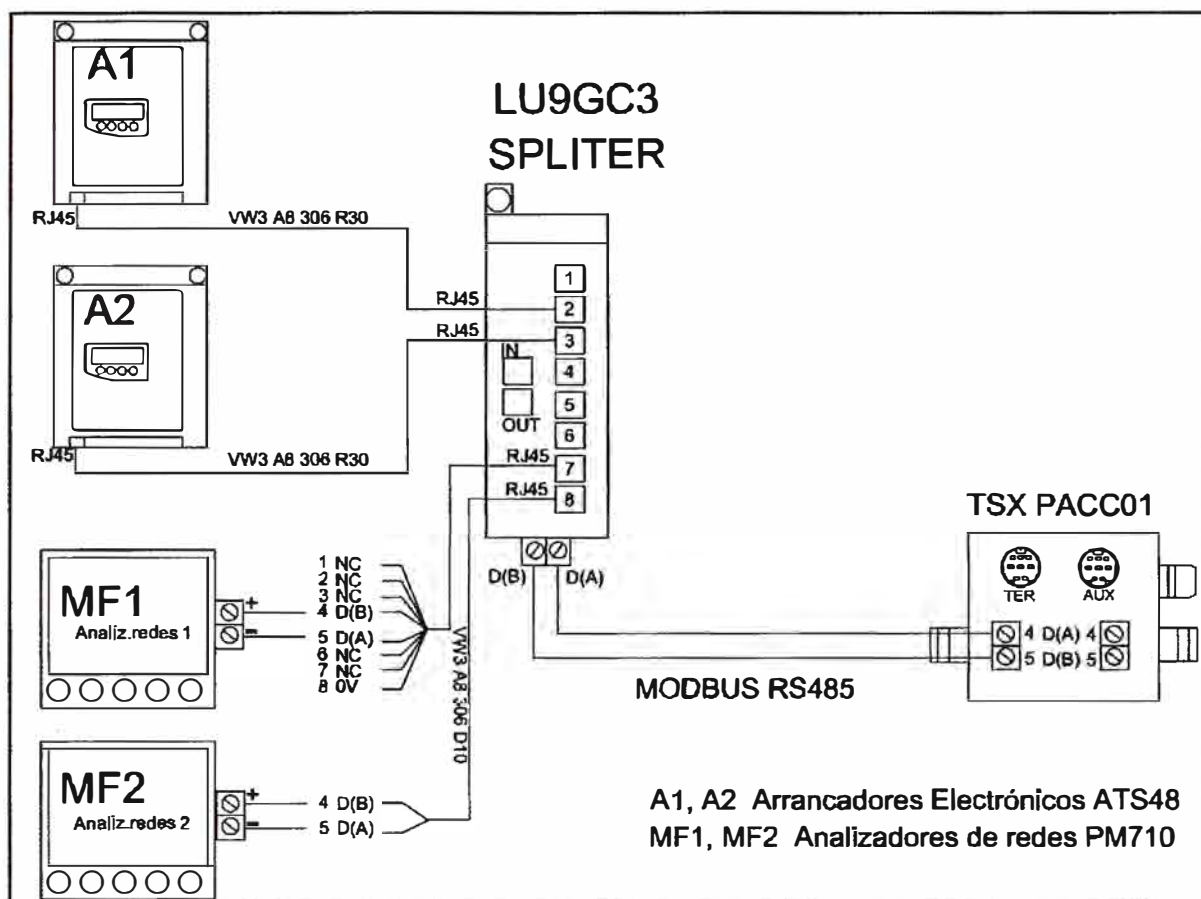


FIGURA 4.4 Twido – bus Modbus RS485 (parte 1)

- 3) Las conexiones de la red Modbus dentro del Tablero General (TG) se realiza utilizando la caja de conexión (Spliter) Modbus LU9GC3, el cual facilita las conexiones Modbus a través de conectores RJ45. Detalles en la figura 4.4.

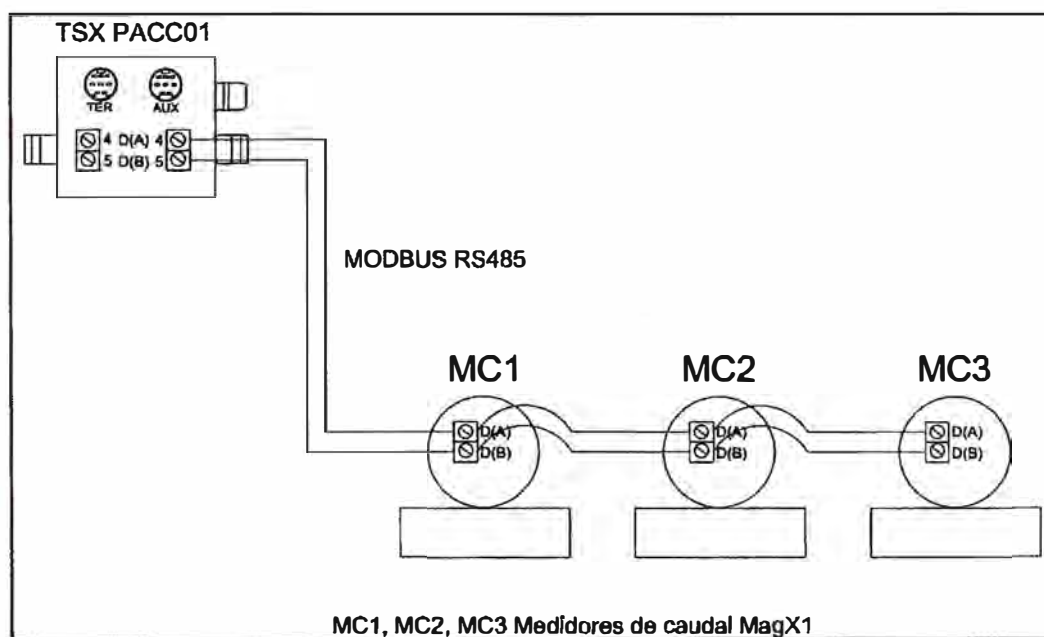


FIGURA 4.5 Twido – bus Modbus RS485 (parte 2)

c. Panel operador

Consideraciones para interconectar el PLC Twido al panel HMI:

- 1) La conexión del PLC Twido con el panel operador se realiza mediante una red RS485 Modbus independiente al de los dispositivos de campo, PLC Twido (CH2), por tener que configurar el panel HMI como maestro.
- 2) El segundo puerto de comunicación serial Modbus (CH2), se obtiene agregando el adaptador TWDNAC485D al PLC Twido, el cual se configura como esclavo Modbus y permite formar una red con el panel operador XBT RT500.
- 3) La conexión entre el PLC Twido y el panel operador se realiza mediante un cable propietario de Schneider código XBTZ9780, que posee conectores RJ45 y minidin.

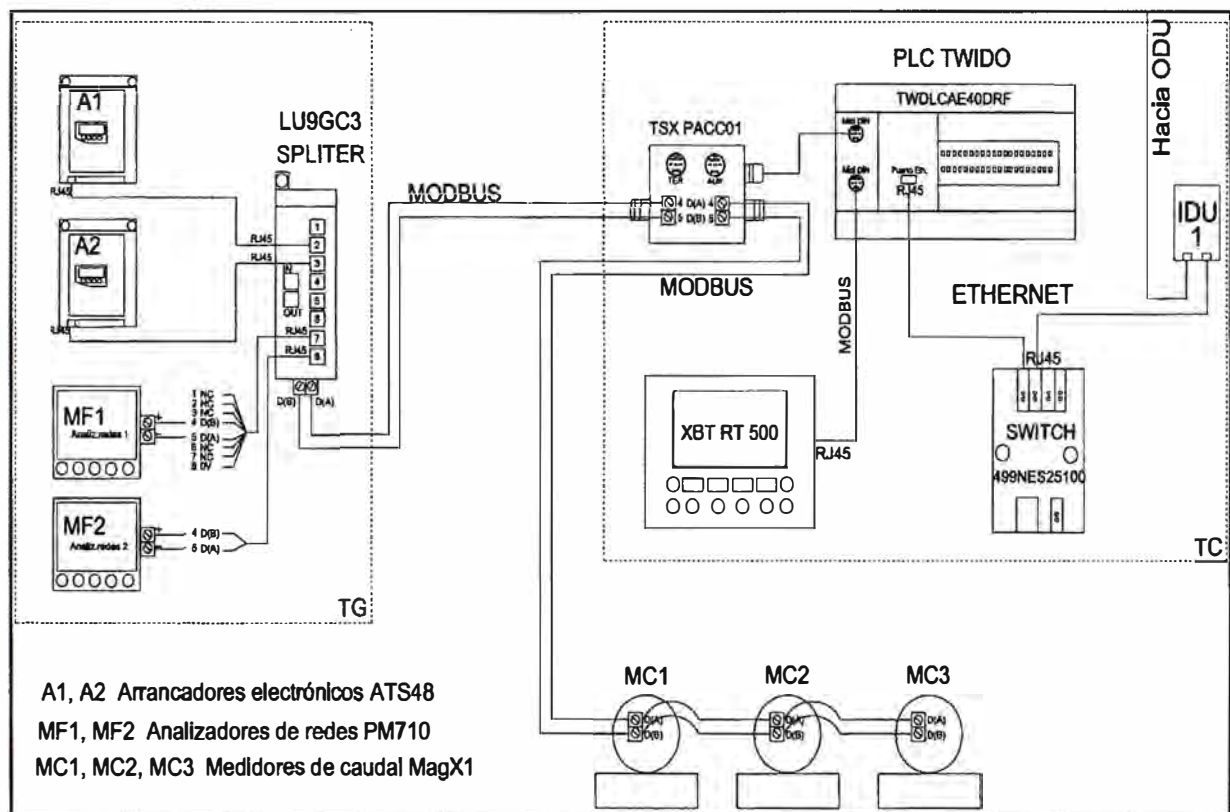


FIGURA 4.6 Arquitectura Twido a detalle

d. Red Ethernet

El PLC Twido se conecta a la red Ethernet implementada por el SCL mediante un puerto Ethernet incorporado, a través del cual el sistema de supervisión accederá a los datos contenidos en el PLC utilizando protocolo Modbus/TCP. Consideraciones:

- 1) La conexión del PLC Twido a la red Ethernet se realiza mediante un switch Ethernet el cual sirve de ingreso al sistema de radioenlaces.

- 2) El PLC Twido opera en Ethernet bajo la lógica cliente-servidor, pudiendo adquirir información de un PLC como cliente y al mismo tiempo brindar información a otro PLC como servidor.

Finalmente podemos presentar la arquitectura Twido a detalle en la figura 4.6.

4.2.3. Arquitectura M340

El PLC M340 es de tipo modular es decir no queda definida solo con el procesador a diferencia del PLC Twido, que en una sola referencia (TWDLCAE40DRF) nos especifica sus características de comunicación. De acuerdo a las características planteadas de interconexión, la configuración del PLC M340 que cumple con las necesidades es la siguiente:

- Procesador estándar: BMX P34 100, con puerto de comunicación Modbus serial.
- Módulo de comunicación Ethernet: BMX NOE 0100, con puerto de comunicación Ethernet.

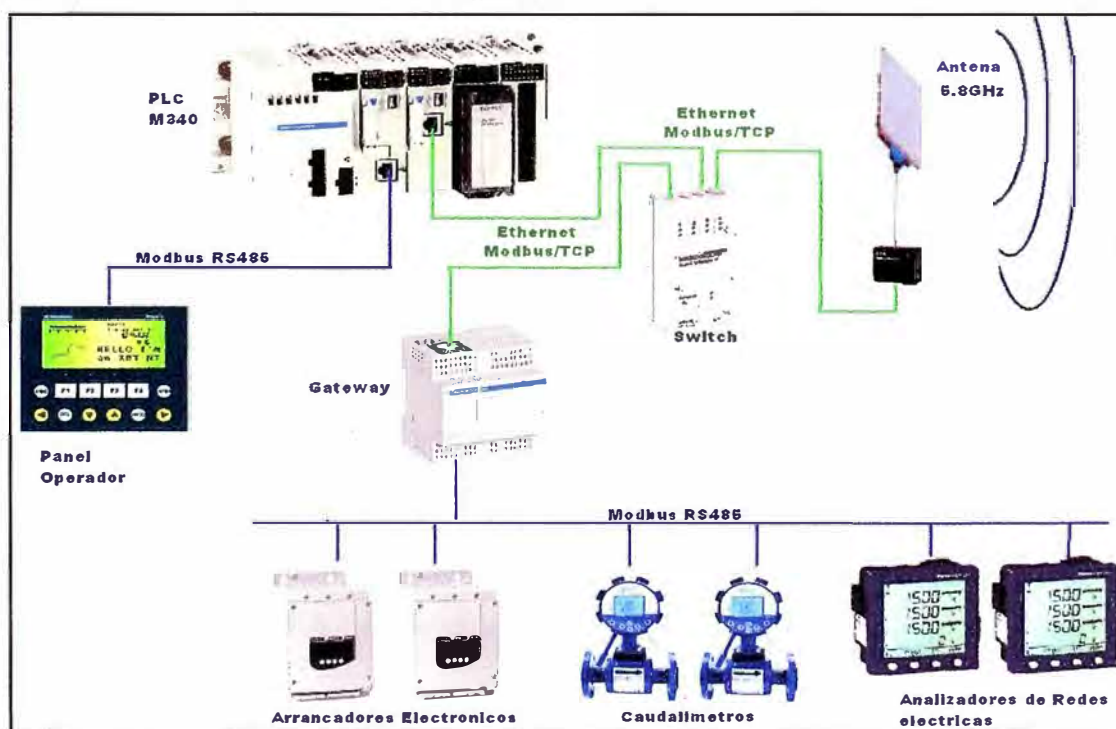


FIGURA 4.7 Arquitectura M340

Por las siguientes razones:

- Permite comunicación Modbus Ethernet y serial.
- Dispone de entradas/salidas digitales y analógicas a través de módulos, para poder integrar las señales de control necesarias en cada estación de bombeo.

- Permite programación remota. El PLC M340 es programado normalmente a través del puerto Modbus serial integrado al procesador BMX P34 100, pero también permite programar a través del puerto Ethernet del modulo BMX NOE 0100.

De acuerdo al diseño de comunicación, la arquitectura M340 tiene el esquema el mostrado en la figura 4.7:

Las consideraciones para definir la arquitectura M340 son:

a. Controlador

Para definir el PLC M340 se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) El Procesador BMX P34 100 que dispone de un puerto de comunicaciones Modbus RS485, será dedicado a la comunicación con el panel operador modelo XBTRT500.
- 2) Se utiliza el modulo de comunicaciones BMX NOE 0100 que cuenta con un puerto para comunicación Ethernet con protocolo Modbus/TCP para poder interconectarse a la red Ethernet. La ventaja de usar este modulo radica en disponer de la función de "I/O Scanning" que permite configurar operaciones de lectura y escritura Modbus en el modulo BMX NOE 0100 ahorrando capacidad de procesamiento y tiempo en programación en el procesador del PLC.

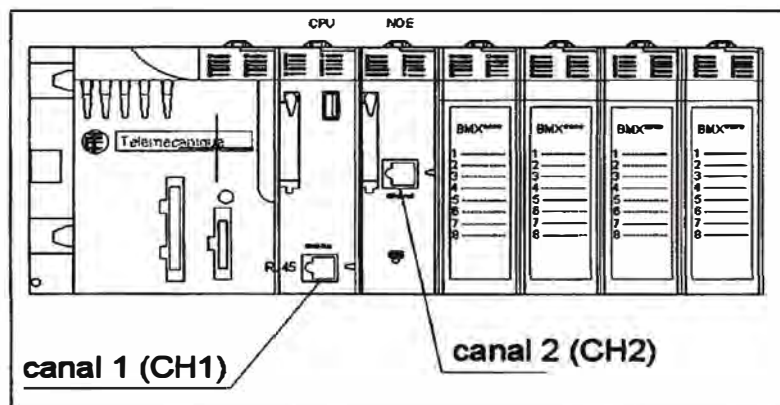


FIGURA 4.8 Canales de comunicación – PLC M340

- 3) Se utiliza el equipo TSXETG100 como pasarela de Ethernet a Modbus RS485, el cual permitirá la interconexión con la red de dispositivos de campo. Se utiliza esta pasarela porque no se dispone de dos puertos Modbus RS485 en el PLC M340.
- 4) Se debe definir cómo van a trabajar los canales de comunicación del PLC M340, mostrado en la figura 4.8: a) CH1 (puerto Modbus RS485 en el procesador), se configura como esclavo Modbus de la red con el HMI, y b) CH2 (Puerto Ethernet en el modulo BMX NOE 0100), se configura la dirección IP del PLC para interconexión a la red Ethernet a través del switch con protocolo Modbus TCP/IP.

b. Red de dispositivos de campo

La red de dispositivos de campo se forma mediante una red RS485 con protocolo Modbus RTU, configurado a 9600 bps, 8bits de datos, 1 bit de parada, paridad par. Se muestran en las figuras 4.9 y 4.10. Consideraciones:

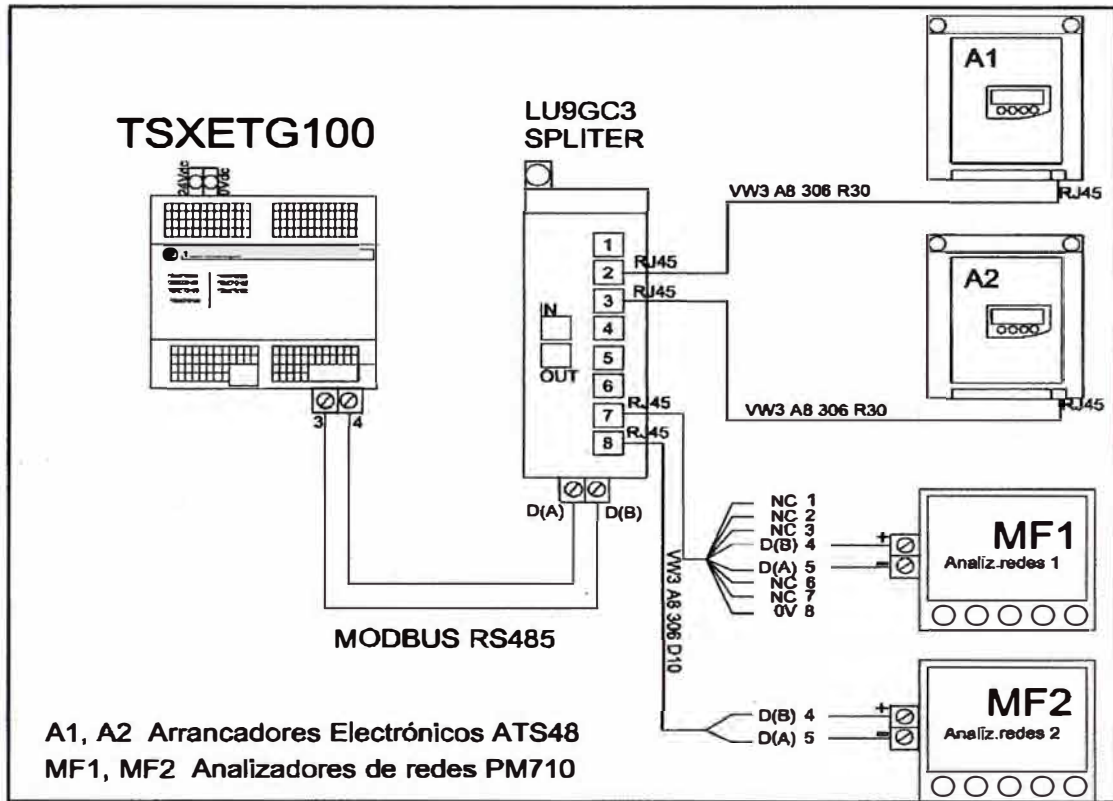


FIGURA 4.9 M340 – bus Modbus RS485 (parte 1)

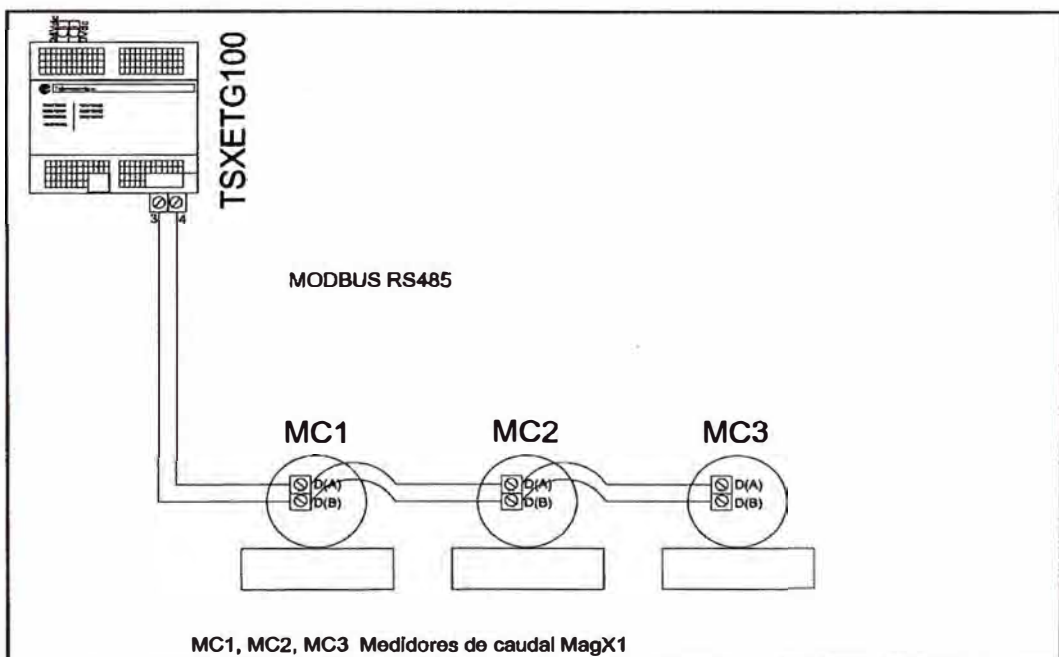


FIGURA 4.10 M340 – bus Modbus RS485 (parte 2)

- 1) Se integran a la red Modbus los medidores de caudal MagX1, los analizadores de redes PM710 y los arrancadores electrónicos ATS48.
- 2) Se utiliza la pasarela TSXETG100 para acceder a la red Modbus RS485 de dispositivos de campo, a través del puerto Ethernet del PLC M340.
- 3) El puerto Modbus RS485 de la pasarela TSXETG100 se configura como maestro para acceder a la información de los dispositivos de campo, los cuales serán configurados como esclavos asignándoles sus respectivas direcciones Modbus y los mismos parámetros de la red (velocidad 9600 bps, 8bits de datos, 1 bit de parada, paridad par).
- 4) Para las conexiones dentro del Tablero General (TG) se utiliza el Splitter Modbus LU9GC3, el cual facilita las conexiones Modbus a través de conectores RJ45.
- 5) La interconexión de los dispositivos de campo se realiza mediante cable trenzado apantallado de dos hilos y la conexión Ethernet se realiza utilizando cable directo Ethernet apantallado con conectores RJ45, de acuerdo a las características industriales, utilizando el producto 490NTW000XX.

c. Panel operador

El panel operador (HMI) utilizado es el XBT RT500 de la familia Magelis, el cual se comunica con el PLC M340 a través del puerto de comunicaciones RS485 Modbus que dispone el Procesador BMX P34 100. Consideraciones:

- 1) La comunicación es el tipo maestro/esclavo, siendo el maestro del enlace el panel HMI, quien realiza la lectura y escritura de los parámetros configurados en el PLC y los mostrará en las pantallas.
- 2) La conexión entre el PLC M340 y el panel operador se realiza mediante un cable propietario de Schneider código XBTZ9980, que posee conectores RJ45.

d. Red Ethernet

El PLC M340 se conectará a la red Ethernet implementada por el SCL mediante su puerto Ethernet incorporado, a través del cual el sistema de supervisión accederá a los datos contenidos en el PLC utilizando protocolo Modbus/TCP. Consideraciones:

- 1) La conexión del PLC M340 a la red Ethernet se realiza mediante un switch Ethernet el cual sirve de ingreso al sistema de radio enlaces.
- 2) El PLC M340 opera en Ethernet bajo la lógica cliente-servidor, pudiendo adquirir información de un PLC como cliente y al mismo tiempo brindar información a otro PLC como servidor.

Finalmente podemos presentar la arquitectura M340 a detalle en la figura 4.11.

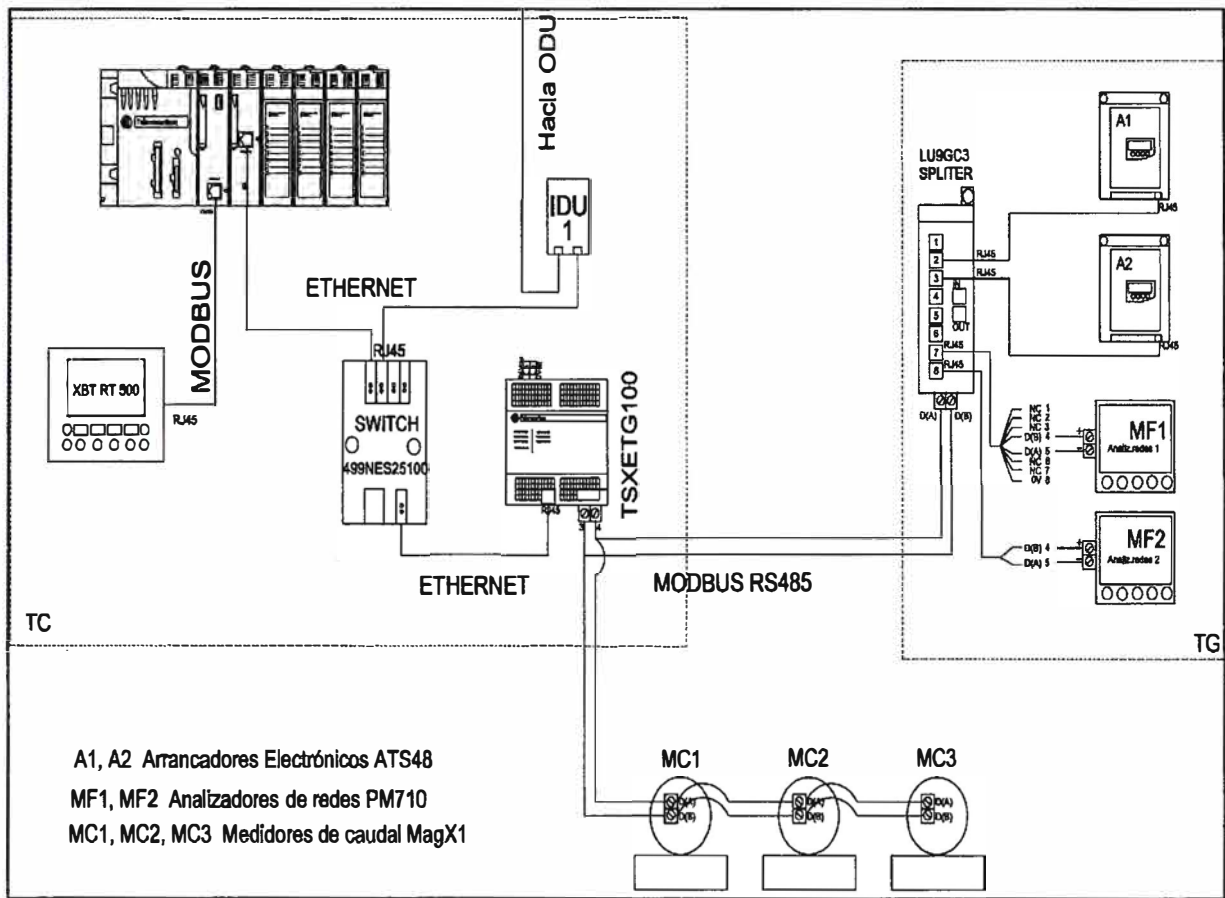


FIGURA 4.11 Arquitectura M340 a detalle

4.3. Estructura de las estaciones

Los subsistemas automáticos que se implementan en cada estación, fueron descritos en la sección 3.5, diferenciándose en estaciones terminales y estaciones de bombeo, cuyas estructuras quedan definidas por las arquitecturas: a) M340: para implementar 6 estaciones de bombeo, figura 4.12, y b) Twido: para implementar 5 estaciones de bombeo y 11 terminales, ver figuras 4.13 y 4.14 respectivamente.

Como se han definido las redes de comunicación, los PLCs y los equipos de potencia, se presenta a continuación los esquemas de control típicos implementados en las estaciones, mostrados en las figuras 4.12, 4.13 y 4.14, con las consideraciones:

- Se representa como "sensor" algunos sensores que faltan como: sensor de presión, de mínimo y máximo nivel, de rebose, de seguridad como el PIR y los interruptores de las puertas de los tableros.
- Los PLCs no solo reciben señales de los sensores mencionados hasta el momento, sino también de muchas señales provenientes de equipos que se encuentran en los

tableros eléctricos como se vio en el diseño el sistema de potencia, los cuales no son representados en las figuras 4.12, 4.13 y 4.14.

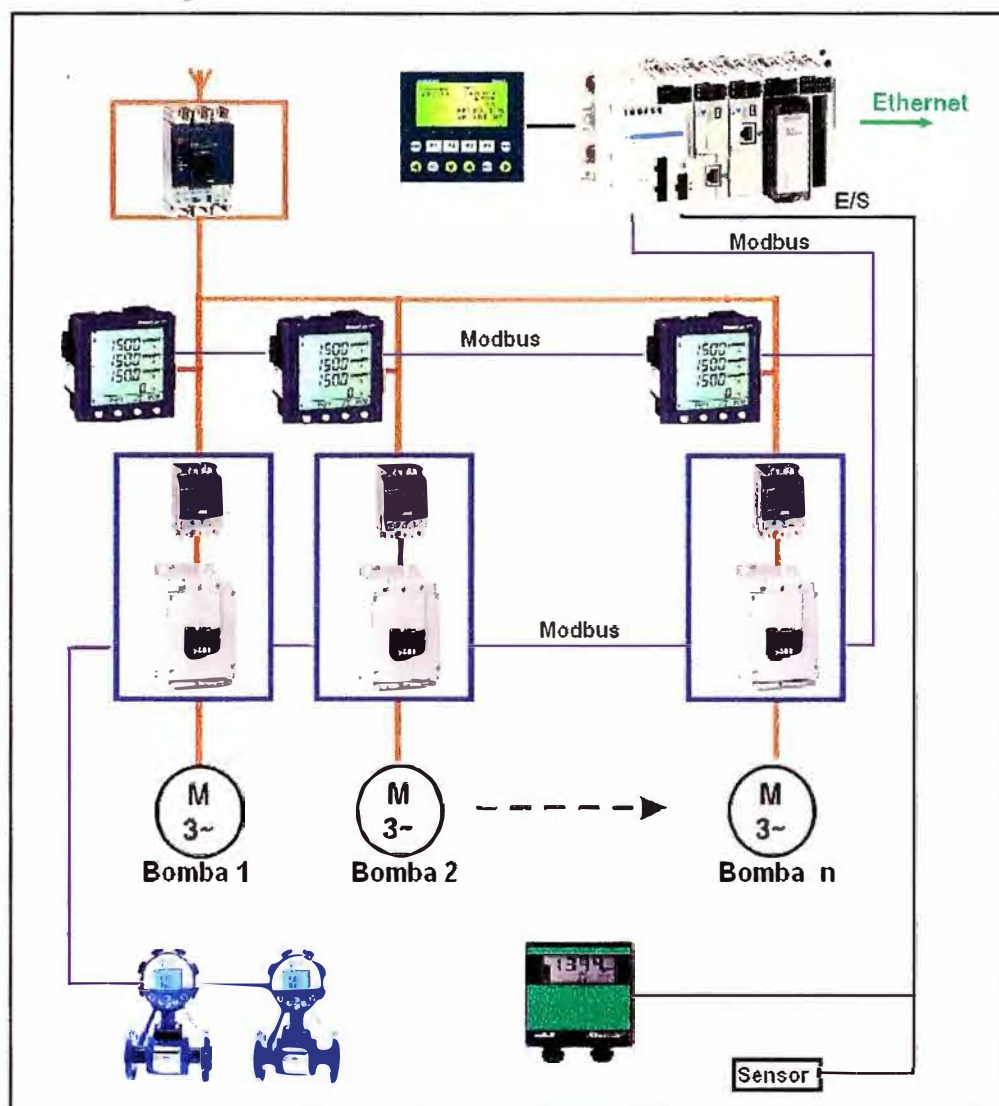


FIGURA 4.12 Estación de bombeo con PLC M340

- En el sistema de potencia no se represento todos los equipos: como contactores, banco de condensadores para no cargar las figuras.

Las estructuras de control de las estaciones se implementan en tableros eléctricos, cuyos diagramas típicos se presentan en el anexo B.

4.3.1. Señales de control

El equipamiento de las 22 estaciones que conforman el sistema de distribución de agua Sargento Lorentz Segunda Etapa, no es el mismo pero son similares al utilizar las arquitecturas descritas con PLC Twido o con M340, donde el número de dispositivos varía de acuerdo a la figura 1.3.

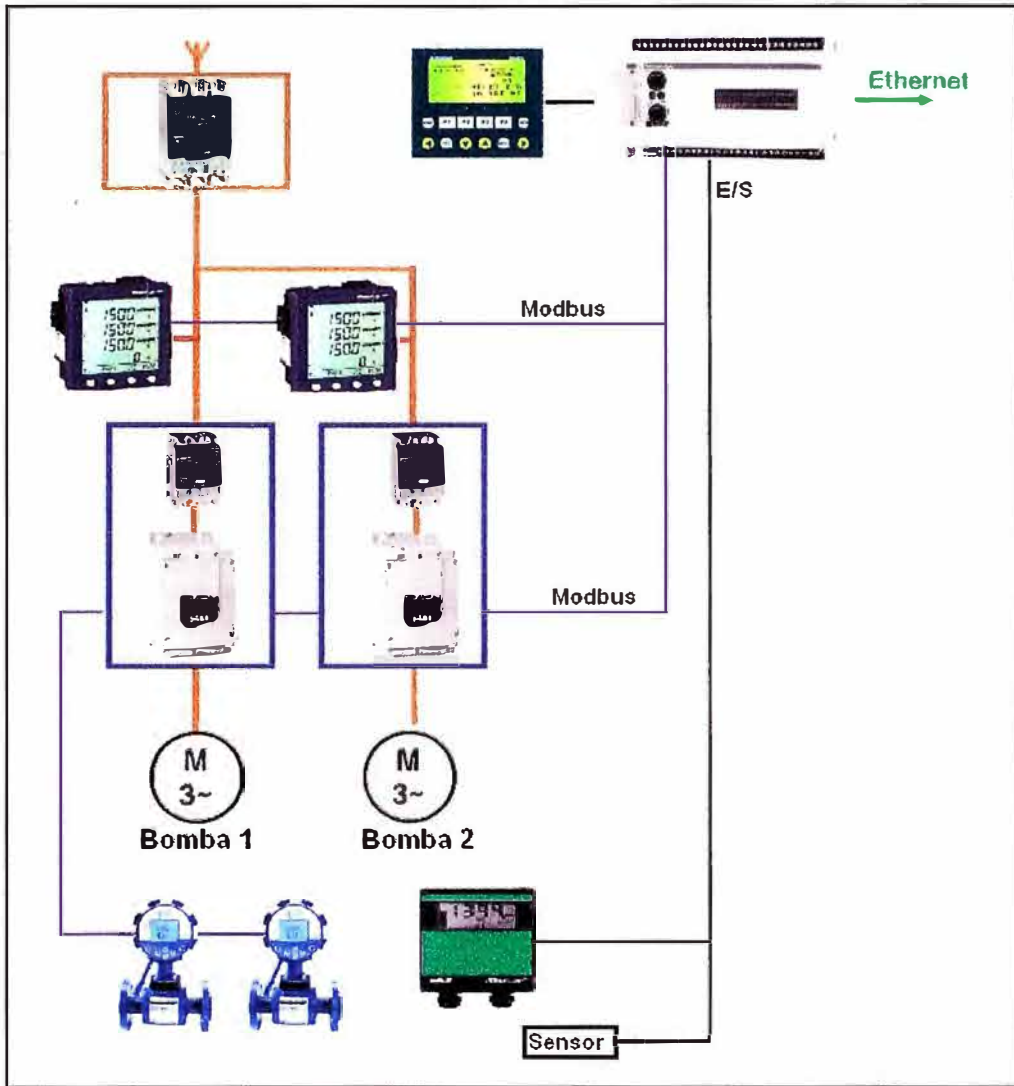


FIGURA 4.13 Estación de bombeo con PLC Twido

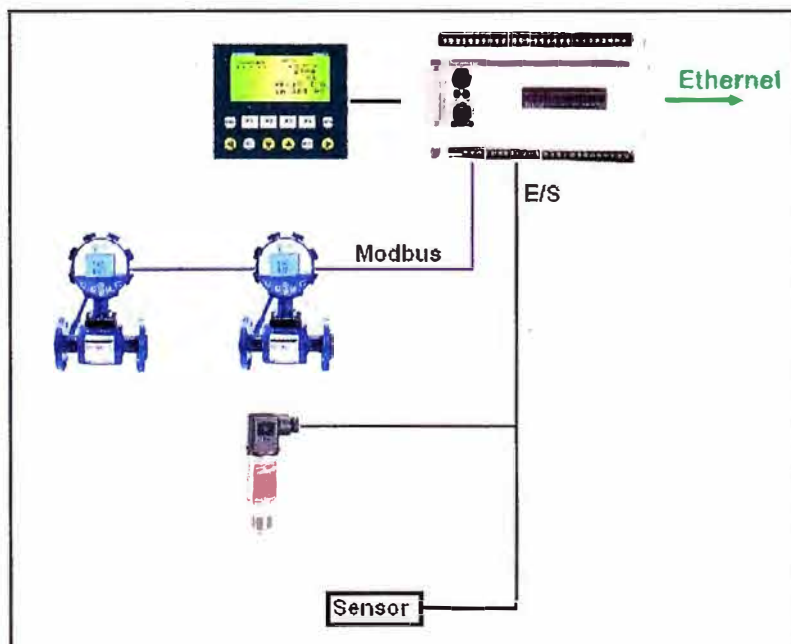


FIGURA 4.14 Estación terminal con PLC Twido

En la tabla 4.1, se puede observar las señales que serán integradas al PLC, mediante los módulos digitales, analógicos y por comunicación. Donde n varía de acuerdo al número de bombas en cada estación.

TABLA 4.1 Señales de control

Nomre de señal	Digital		Analógica		Comunicación Modbus	Tipo
	Ent	Sal	Ent	Sal		
Señales del tablero general (TG)						
Selector en local	*					24 Vdc
Selector en remoto	*					24 Vdc
Rele min/max y per. fase general	*					24 Vdc
Rele nivel mínimo	*					24 Vdc
Apertura de tablero de fuerza	*					24 Vdc
Selector automático bomba n	*					24 Vdc
Selector manual bomba n	*					24 Vdc
Estado falla bomba n	*					24 Vdc
Estado funcionando bomba n	*					24 Vdc
Arranque/parada bomba n		*				220 Vac
Analizador de redes bomba n					*	-
Arrancador electrónico bomba n					*	-
Señales del tablero de Banco de condensadores (TBC)						
Funcionando banco condensadores bomba n	*					24 Vdc
Señales del tablero de control (TC)						
Apertura de tablero de control	*					24 Vdc
Alarma UPS funcionando	*					24 Vdc
Alarma UPS falla	*					24 Vdc
Alarma UPS batería baja	*					24 Vdc
Señales de campo						
Sensor de rebose	*					24 Vdc
Sensor infrarojo	*					24 Vdc
Sirena de alarma		*				220 Vac
Limite de Carrera VCB bomba n - 100% abierta	*					24 Vdc
Solenoide VCB bomba n - abrir/cerrar		*				24 Vdc
Limite de Carrera VCE - 100% abierta	*					24 Vdc
Limite de Carrera VCE - 100% cerrada	*					24 Vdc
Solenoide VCE abrir/cerrar		*				24 Vdc
Sensor de nivel			*			4-20mA
Sensor de Presión de línea			*			4-20mA
Medidor de Caudal					*	-

Como ejemplo, las señales que se integran al PLC en las estaciones RE-3A, RP-6A y RP-6B se muestran en el anexo C.

El resumen de los controladores utilizados, con sus módulos E/S requeridos para controlar todo el sistema de bombeo se muestra en el anexo D.

4.4. Filosofía de operación

La filosofía de operación describe los detalles del funcionamiento y la lógica de operación del sistema de bombeo, lógica que será programada en los PLCs Twido y M340.

Como el sistema de bombeo basa su funcionamiento en sistemas autónomos independientes, denominados Grupos Hidráulicos, figura 1.4, en esta sección se describirá el funcionamiento de los Grupos Hidráulicos.

4.4.1. Modos de operación

Para poder realizar el proceso de bombeo se dispone de varios modos de operación los cuales son dependen de selectores físicos y algunos configurados en la pantalla del HMI y en el SCADA, dichos modos de operación se aplican a las estaciones de bombeo, teniendo en cuenta que solo se puede activar un modo de operación a la vez. Figura 4.15.

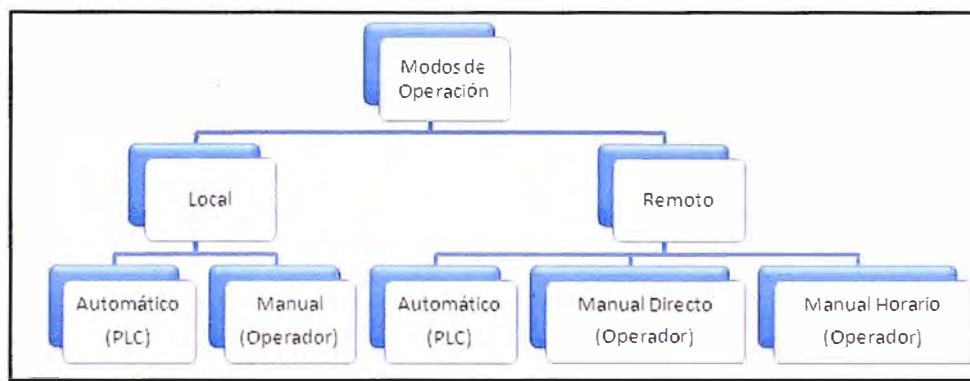


FIGURA 4.15 Modos de operación

Los modos de operación se dividen en dos grupos: Modos de operación Local y Modos de operación Remotos, el cual depende de un selector general de tres posiciones, ubicado en la puerta tablero general (TG) de la estación, desde el cual se puede seleccionar el Modo de Operación de la Estación de Bombeo, figura 4.16.

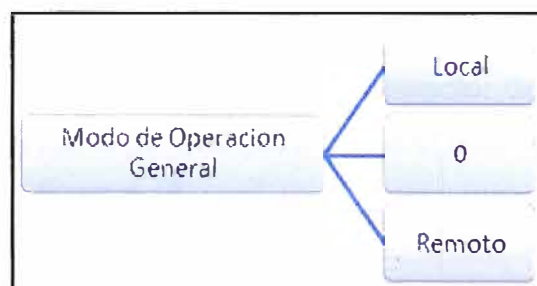


FIGURA 4.16 Selector general

- **Local:** en este modo las órdenes de control serán enviadas desde los controles ubicados en los reservorios: Panel HMI o desde los pulsadores de los tableros eléctricos, brindando la posibilidad de operar el sistema en:
 - **Control automático local,** es activado desde el panel operador (HMI) y el PLC empezara a ejecutar su lógica de control, considerando las bombas cuyo selector

de sub-modo de operación este en automático. Las consignas de operación serán ingresados desde panel HMI.

- **Control manual**, se efectúa cuando el selector general está en local y se podrá encender o apagar las bombas cuyo selector de sub-modo de operación está en manual. Este modo de operación será utilizado para realizar pruebas de mantenimiento o en caso de falla del PLC.
- **0**: en “cero” se deshabilita el control de la estación, posición de mantenimiento.
- **Remoto**: las órdenes de control y consignas de operación son enviados desde el SCADA, donde el supervisor del SCADA tiene el completo control de la estación, brindando la posibilidad de operar el sistema con tres tipos de control desde el SCADA, anulando la posibilidad de control local. En Remoto el selector de sub-modo de operación no tiene implicancia en el control de las bombas.
 - **Control automático remoto**, es activado desde las pantallas del SCADA y el PLC ejecutara su lógica de control con las consignas de operación que son ingresados desde las pantallas del SCADA y no se considerara las consignas del HMI.
 - **Control manual directo**, es activado desde las pantallas del SCADA y el operador del SCADA podrá controlar las Bombas, válvulas eléctricas a criterio suyo.
 - **Control manual horario**, es activado desde las pantallas del SCADA y el operador podrá configurar franjas horarias de trabaja por bomba.

El inicio del proceso de control automático sea Local o Remoto, luego de la activación del mismo, estará precedido por un retardo de 30 segundos evitando así arranque intempestivo de los equipos.

Por cada bomba (carga) se dispone de un selector de sub-modo de operación, figura 4.17 ,ubicado en el tablero general (TG), desde el cual se seleccionará el modo de operación de cada bomba, figura 4.18.

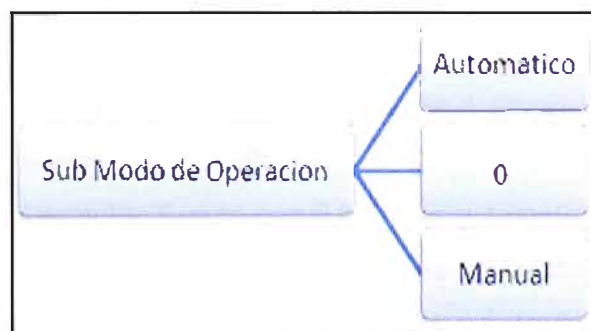


FIGURA 4.17 Selector sub-modo de operación

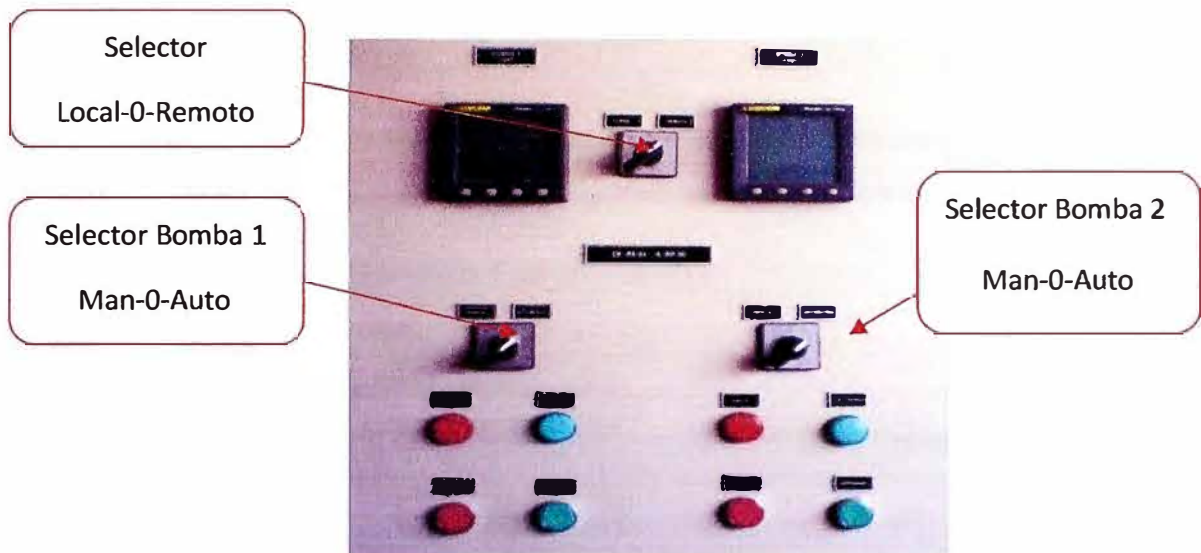


FIGURA 4.18 Selectores en el tablero TG

- **Automático:** la bomba será controlada a través del PLC.
- **0:** posición en la cual se considera la bomba fuera de servicio.
- **Manual:** la bomba será controlada (arranque o parada) a decisión del operador desde las botoneras del tablero TG.

4.4.2. Proceso de bombeo en Grupos Hidráulicos

Los grupos hidráulicos son unidades independientes entre sí y en conjunto forman el Sistema de Bombeo Sargento Lorentz. La lógica de control de los grupos hidráulicos se compone de tres partes, figura 4.19, una lógica base que se aplica a todos los grupos hidráulicos, una lógica de control particular dependiendo de su configuración y la lógica de control de bombas.



FIGURA 4.19 Lógica de control de grupo hidráulico

Los 14 grupos hidráulicos, se pueden dividir en 4 grupos diferentes de acuerdo a su lógica de control particular:

- Grupo hidráulico con estación fuente con 6 bombas y 1 destino
- Grupo hidráulico con estación fuente con 3 bombas y 1 destino
- Grupo hidráulico con estación fuente con 2 bombas y 1 destino
- Grupo hidráulico con estación fuente con 3 bombas y 2 destinos

4.4.3. Lógica de control base

La lógica de control base para todos los grupos hidráulicos está comprendida por rutinas mostradas en la figura 4.20 y los programa se muestran en el anexo E.

- Control de niveles de reservorios Fuente y destino
- Control de Horario de trabajo
- Monitoreo de presión de línea de impulsión
- Verificación del estado de comunicación entre las estaciones fuente y destinos

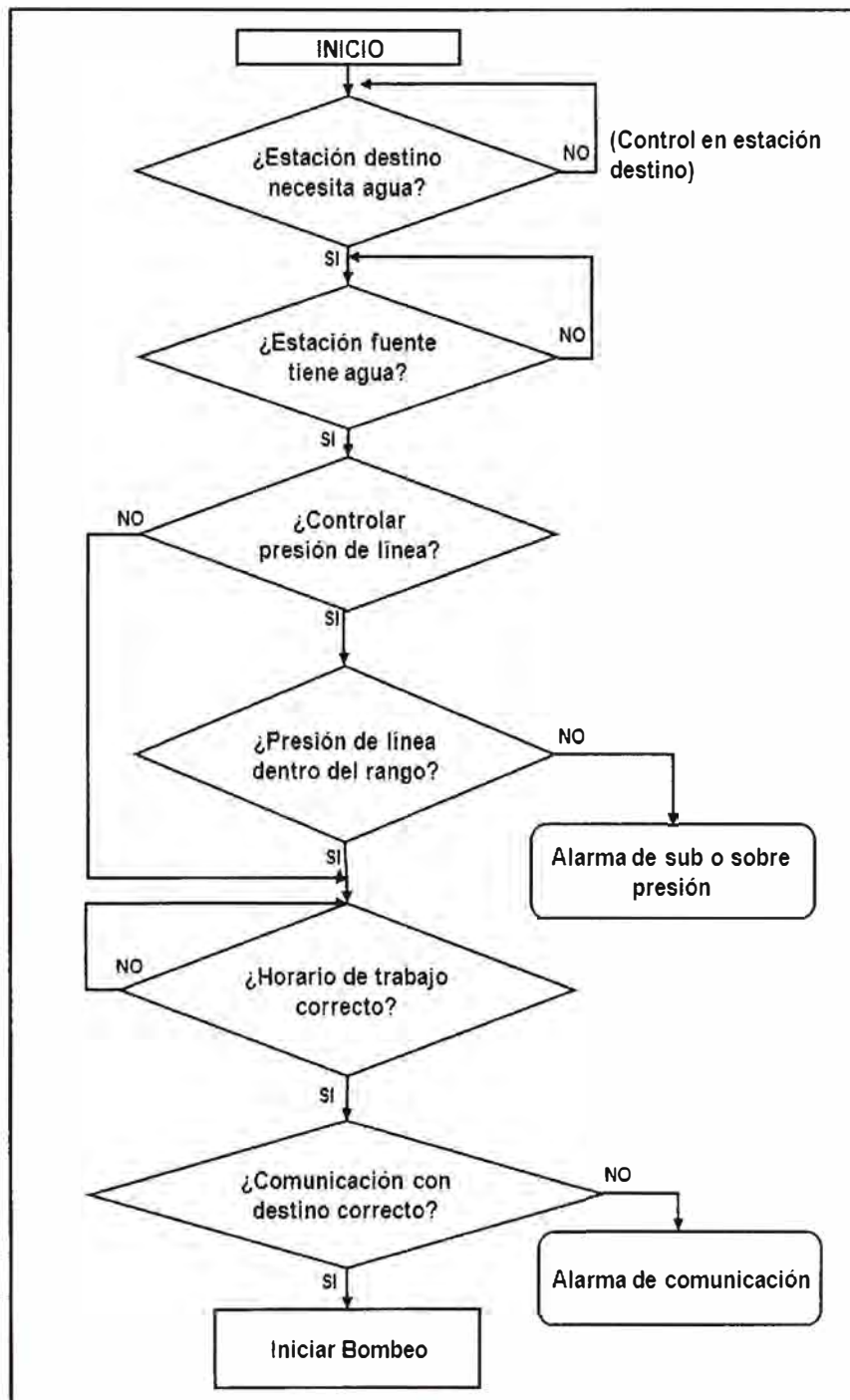


FIGURA 4.20 Lógica de control base

Cuando se cumple las rutinas de control base, se da paso a realizar el proceso de bombeo ejecutando las rutinas de control particular de cada grupo hidráulico y las rutinas de control de las bombas de acuerdo a su secuencia de arranque y parada.

a. Control de niveles de reservorios fuente y destino

Esta lógica de control es desarrollada en el PLC fuente quien verifica si dispone de agua para enviar a los destino, figura 4.22, así como cada estación destino monitorea su nivel y emite la solicitud de agua a la estación fuente, figura 4.21.

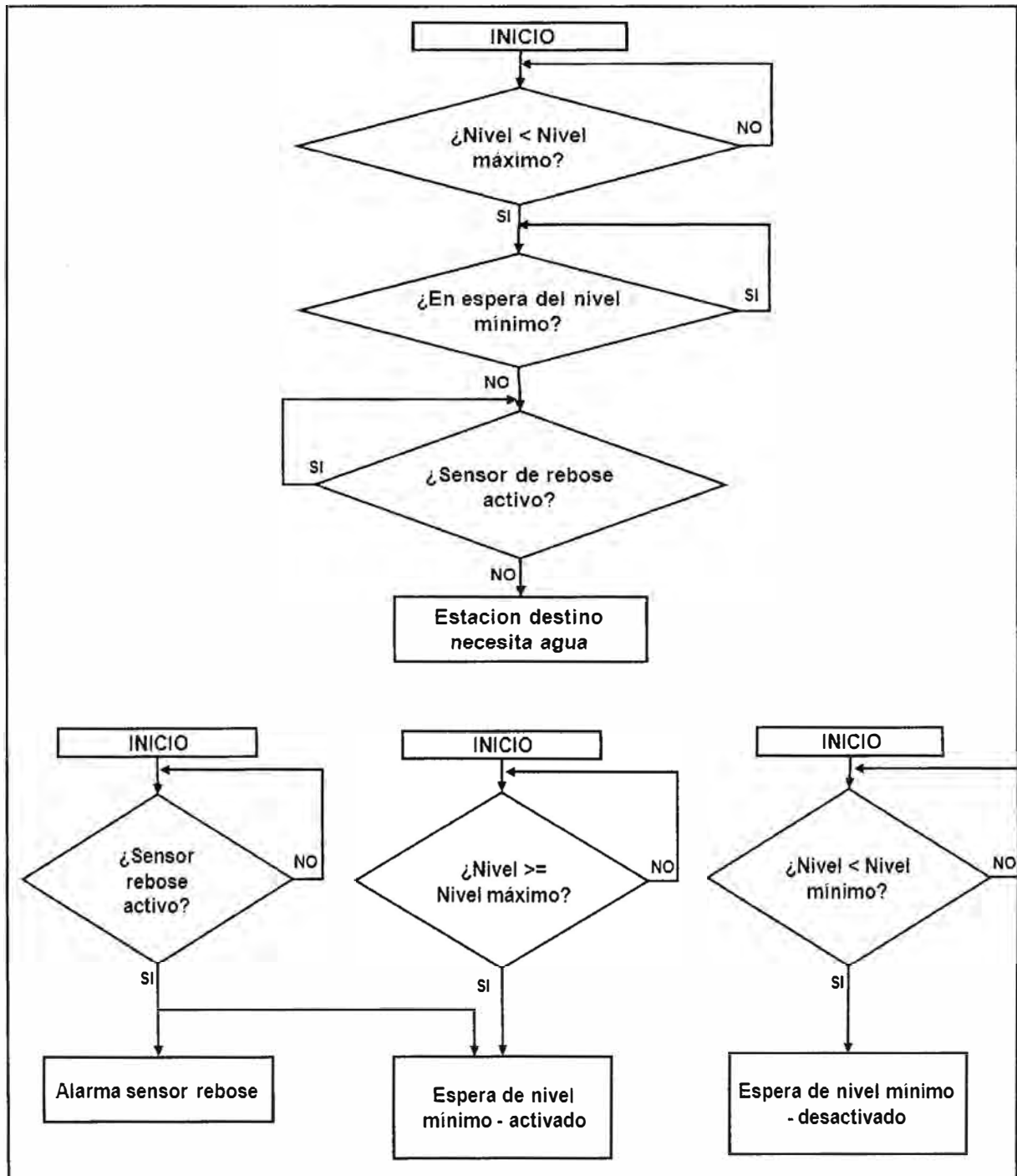


FIGURA 4.21 Lógica de control de nivel en estación destino

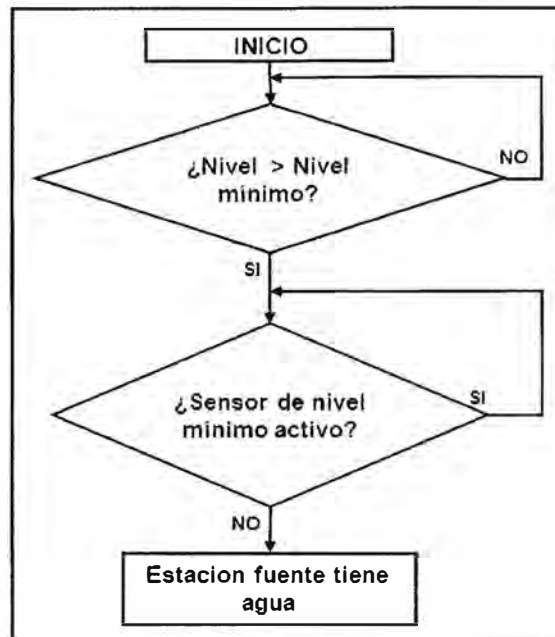


FIGURA 4.22 Lógica de control de nivel en estación fuente

b. Control de horario de trabajo

El control de horario de trabajo se ejecuta al activar el modo de control automático, el cual controla el proceso tomando en cuenta el reloj del PLC y verificando las cuatro consignas horarias (H1...H4) enlazadas a una orden (Estado1...Estado4), las cuales son ingresadas desde el HMI si el control es local o desde el SCADA si es el control es remoto. Donde H es de 0 a 24 horas y Estado es la orden de arranque o parada del proceso. Ver tabla 4.2.

TABLA 4.2 Horarios de trabajo

Configuracion Horaria	
Horario (HH:MM)	Estado
H1	Estado 1
H2	Estado 2
H3	Estado 3
H4	Estado 4

c. Monitoreo de presión de línea de impulsión

El control de la presión de la línea se realiza comparando el valor recibido del sensor de presión ubicado en la tubería de impulsión, con dos consignas (setpoint) ingresadas desde el panel HMI o SCADA que son:

- Sobre-presión: es la consigna que indica la máxima presión permitida en la tubería de impulsión y si es sobrepasada se procede a activar una alarma y a parar el proceso

de bombeo en la estación, como prevención contra rotura de línea por exceso de presión.

- Sub-presión: es la consigna que indica el menor valor de presión que se debe detectar en la línea, por debajo del cual se considera una posible rotura de línea y también se activa una alarma.

La rutina de control de presión tiene la alternativa de ser desactivada mediante el panel HMI, como opción para mantenimiento del sensor de presión y de trabajos en la línea de impulsión.

d. Monitoreo del estado de comunicación entre las estaciones fuente y destinos

Como el sistema de bombeo depende del intercambio de información entre estaciones fuente y sus destinos, el monitoreo del estado de los enlaces de comunicación se vuelve un parámetro importante, para ello los PLCs fuente disponen de rutinas que verifican el estado de comunicación con sus destinos, que son analizados de acuerdo a las características propias de los dos tipos de PLC utilizado.

- PLC Twido: verifica un número de intentos de comunicación, luego del cual emite una alarma y detiene el proceso de bombeo.
- PLC M340: verifica el tiempo de pérdida de comunicación, permitiendo hasta 2 minutos, luego del cual emite una alarma y detiene el proceso de bombeo.

4.4.4. Lógica de control particular

La lógica de control particular para los grupos hidráulicos se ejecuta siempre y cuando la lógica de control base se cumple.

a. Grupo hidráulico con estación fuente con 6 bombas y 1 destino

Este tipo de grupo hidráulico, se puede ver en la figura 4.23 y tiene la siguiente lógica de control:

- Para el proceso de bombeo se puede utilizar máximo 4 bombas de las 6 disponibles, donde el número de bombas a encender dependerá del nivel del reservorio destino, cuanto más vacío se encuentre el reservorio destino mayor será el número de bombas a encender y según se va llenando se irá disminuyendo el número de bombas prendidas hasta alcanzar el nivel máximo configurado en el destino, luego del cual el reservorio fuente no volverá a enviar agua hasta que el destino llegue al nivel mínimo configurado.

- Son configurables las consignas de nivel denotados por h1,h2,h3 y h4 y el número de bombas a utilizar c1,c2,c3 y c4; los cuales pueden configurarse desde el panel HMI o desde el SCADA dependiendo el modo de control utilizado, tabla 4.3 y figura 4.24.
- Esta lógica se aplica al grupo hidráulico:
 - GH01: CR-67A y CRP-1B

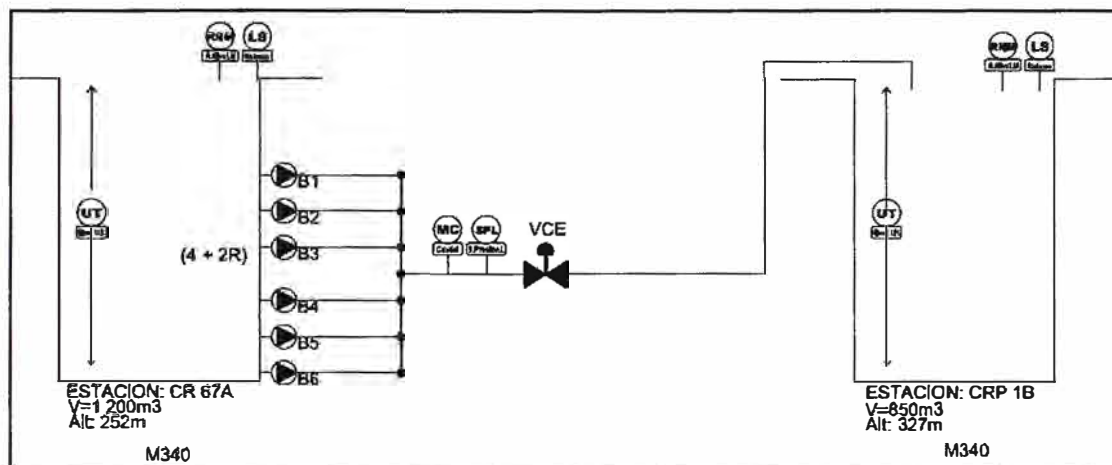


FIGURA 4.23 Grupo hidráulico con seis bombas y un destino

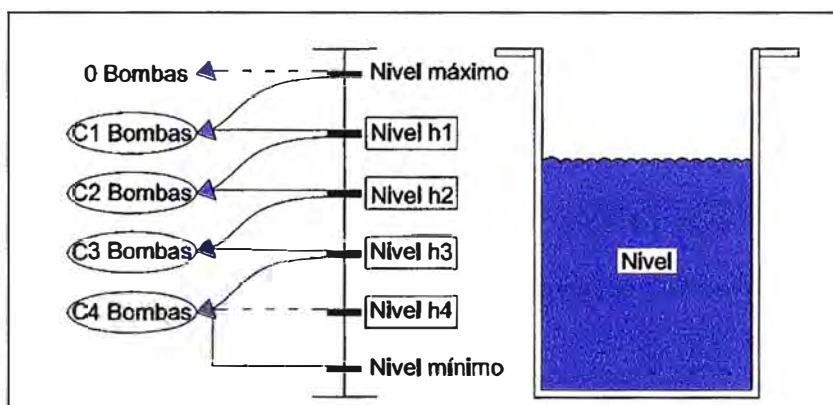


FIGURA 4.24 Niveles vs bombas

TABLA 4.3 Configuración de niveles y bombas

Configuración de Niveles	
Altura - h	Cantidad de Bombas
h1	c1
h2	c2
h3	c3
h4	c4

b. Grupo hidráulico con estación fuente con 3 bombas y 1 destino

Este tipo de grupo hidráulico, se puede ver en la figura 4.25 y tiene características de funcionamiento similares al anterior:

- Para el proceso de bombeo se pueden utilizar máximo 2 bombas de las 3 disponibles, donde el número de bombas a encender dependerá del nivel del reservorio destino, cuanto más vacío se encuentre el reservorio destino mayor será el número de bombas a encender y según se va llenando se irá disminuyendo el número de bombas prendidas hasta alcanzar el nivel máximo configurado en el destino, luego del cual el reservorio fuente no volverá a enviar agua hasta que el destino llegue al nivel mínimo configurado.
- Esta lógica se aplica al grupo hidráulico:
 - GH05: CRP-1B y RP-4C

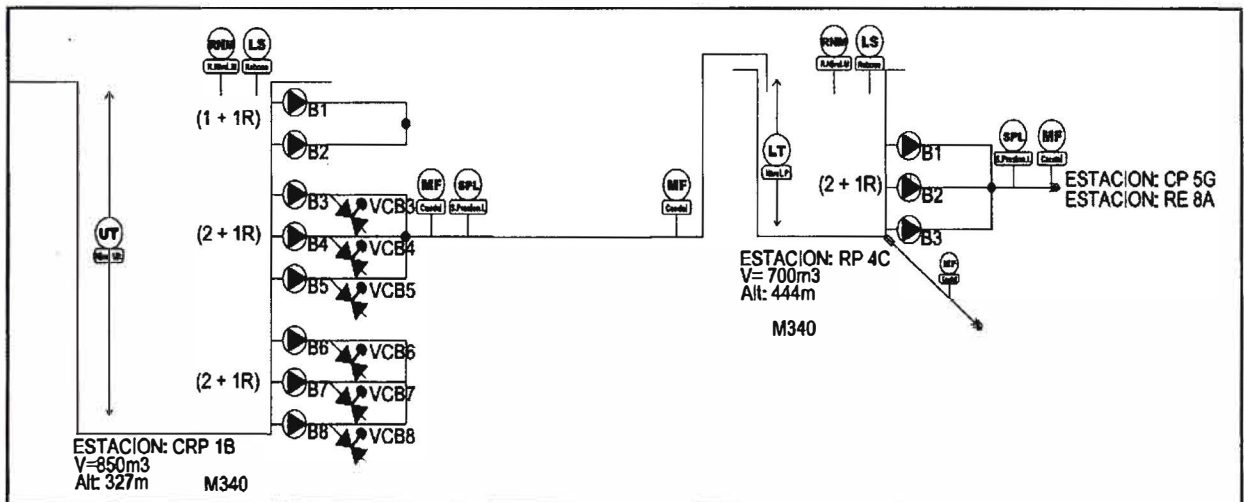


FIGURA 4.25 Grupo hidráulico con tres bombas y un destino

c. Grupo hidráulico con estación fuente con 2 bombas y 1 destino

Este tipo de grupo hidráulico es el más común en el sistema, se puede ver en la figura 4.26 y tiene las siguientes características:

- Para el proceso de bombeo se puede utilizar máximo 1 bomba de las 2 disponibles, el cual enviará agua hasta alcanzar el nivel máximo configurado en el destino, luego del cual el reservorio fuente no volverá a enviar agua hasta que el destino llegue al nivel mínimo configurado.
- En el proceso de bombeo se considera alternancia de bombas por tiempo de trabajo.
- En caso falle la bomba que está en funcionamiento se emitirá la alarma correspondiente y la bomba disponible iniciará el proceso de bombeo.
- Esta lógica se aplica a los grupos hidráulicos:
 - GH02: CRP-1B y CR-137A
 - GH03: CRE-137A y RE-4B.
 - GH04: RE-4B y RE-7A.

- GH07: CP-5G y RP-5G.
- GH10: CP-1 y RP-7C.
- GH11: RE-1A y RP-3C.
- GH12: RE-4 y RP-3D.
- GH13: CP-7G y RP-7G.
- GH14: CRE-137A y RP-6E.

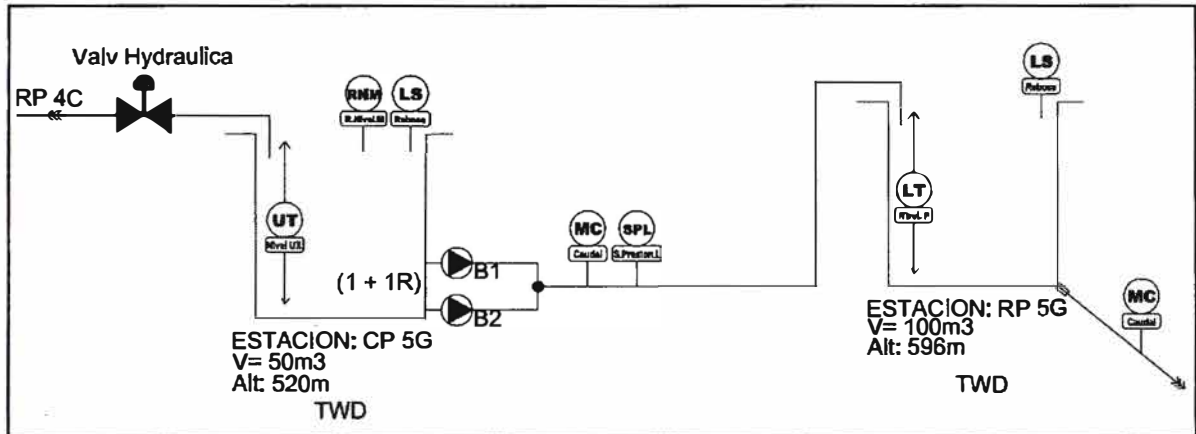


FIGURA 4.26 Grupo hidráulico con dos bombas y un destino

d. Grupo hidráulico con estación fuente con 3 bombas y 2 destinos

Este tipo de grupo hidráulico, se puede ver en la figura 4.27 y tiene las siguientes características:

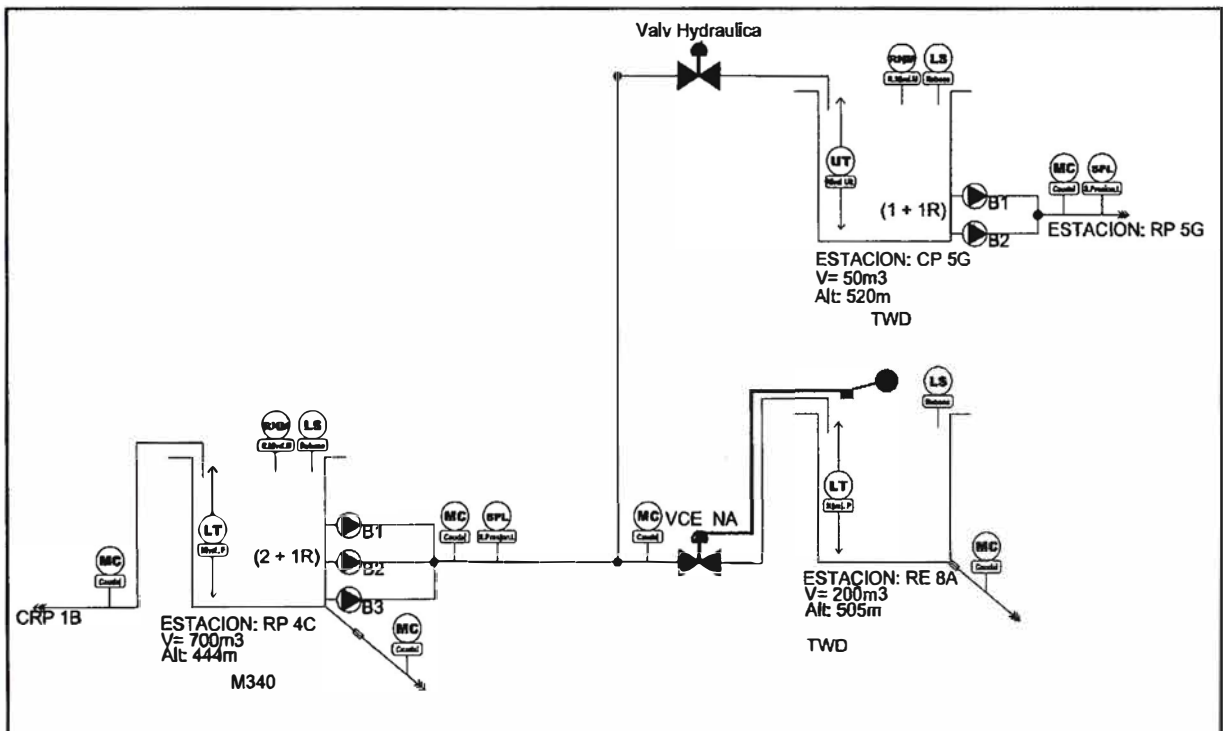


FIGURA 4.27 Grupo hidráulico con tres bombas y dos destinos

- Para el proceso de bombeo se puede utilizar máximo 2 bomba de las 3 disponibles, el proceso de bombeo se realiza de acuerdo al número de destinos que solicitan agua, en caso solicite solo un destino se encenderá 1 bomba y si solicitan agua dos destinos se encenderán 2.
- Los destinos solicitarán agua hasta llegar a su respectivo nivel máximo configurado, luego del cual esperarán a llegar al nivel mínimo configurado para volver a solicitar agua.
- Las estaciones destinos están ubicadas a diferente altitud, la estación que este a la menor altitud está provista por una válvula de control eléctrica a la entrada de la estación, el cual se cerrará una vez alcanzado su nivel máximo, para permitir que el agua siga llenando el otro reservorio destino el cual está equipado con una válvula completamente hidráulica.
- En el proceso de bombeo se considera alternancia de bombas de acuerdo al tiempo de trabajo acumulado.
- En caso que falle una bomba que está en funcionamiento se emitirá la alarma correspondiente y la bomba disponible iniciará el proceso de bombeo.
- Esta lógica se aplica a los grupos hidráulicos:
 - GH06: RP-4C y destinos RE-8A y CP-5G.
 - GH08: CRP-1B y destinos RP-4A y RE-3A.
 - GH09: RE-3A y destinos RP-6A y RP-6B.

4.4.5. Lógica de control de bomba

Las bombas son controladas por el PLC de acuerdo a la lógica de control implementada, donde se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- En todas las estaciones de bombeo, las bombas se encenderán de forma consecutiva respetando un tiempo de retardo entre arranques, evitando incrementar los picos de presión a causa del golpe de ariete en las tuberías, de forma análoga para el apagado de bombas se respetará un retardo entre paradas.
- Se tendrá en cuenta la alternancia de bombas de acuerdo al tiempo de trabajo acumulado de las mismas, con el objetivo de igualar el desgaste; el PLC encenderá primero la bomba con menor tiempo de trabajo y así sucesivamente hasta alcanzar el numero de bombas requerido y para la secuencia de apagado de bombas se apagara primero la bomba que tenga mayor tiempo de trabajo. No está permitido el reemplazo de bombas durante su funcionamiento, la lógica de comparación de los tiempos de trabajo acumulado solo se realizarán al iniciar el proceso y antes que la bomba esté encendida.

- El tiempo de trabajo acumulado de una bomba no será considerado para la lógica de alternancia.
- Si el selector de sub-modo de operación de una bomba no está en automático o la bomba presenta una alarma que indique falla, no será considerada en la lógica de bombeo del PLC.

Se utilizará tres configuraciones para control de bombas de acuerdo al equipamiento que lo acompaña y que interviene en su arranque o parada.

- Control de Bomba sin equipamiento adicional
- Control de Bomba con válvula en derivación
- Control de Bomba con válvula en serie

a. Control de bomba sin VCB

Para iniciar el proceso de bombeo se realiza el arranque de una bomba directamente, mediante el arrancador ATS48 y no intervienen válvulas de control como equipamiento adicional que intervenga en el proceso de arranque o parada de la bomba. Ejemplo la estación RP4C, figura 4.28.

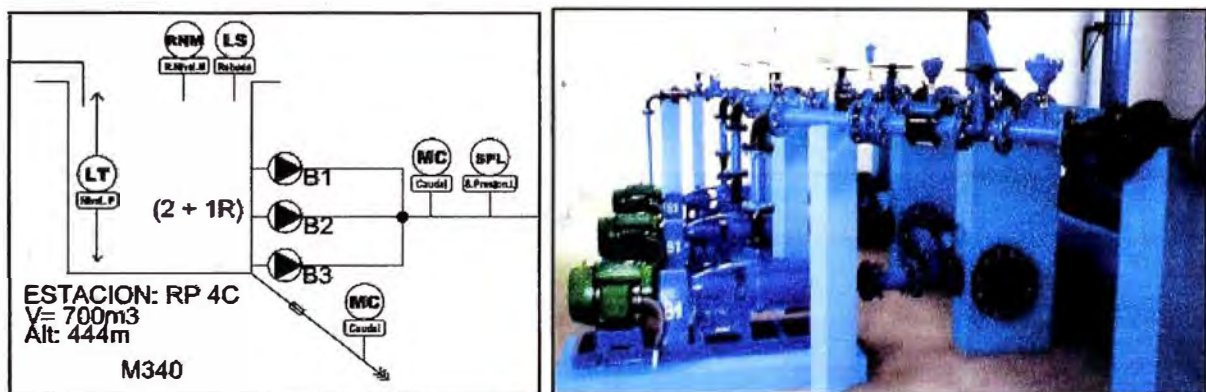


FIGURA 4.28 Estación sin VCB

b. Control de bomba con VCB en derivación

Se realiza utilizando una válvula de control de bomba (VCB) en derivación. La VCB es comandada eléctricamente donde el control de apertura y cierre se realiza energizando y des-energizando el solenoide de la válvula. La VCB en derivación se utiliza para ayudar a la bomba durante el proceso de arranque y parada que realiza el arrancador electrónico ATS48, el cual sigue la siguiente lógica:

- Para la secuencia de arranque, se abre la válvula para desviar el agua a un canal lateral hasta que la bomba llegue a su velocidad nominal luego del cual se cierra la válvula y permite enviar el agua por la tubería de impulsión, venciendo así la presión de la línea.

- Para la secuencia de parada, se abre la válvula para desviar el caudal impulsado y después se realiza la parada de la bomba.

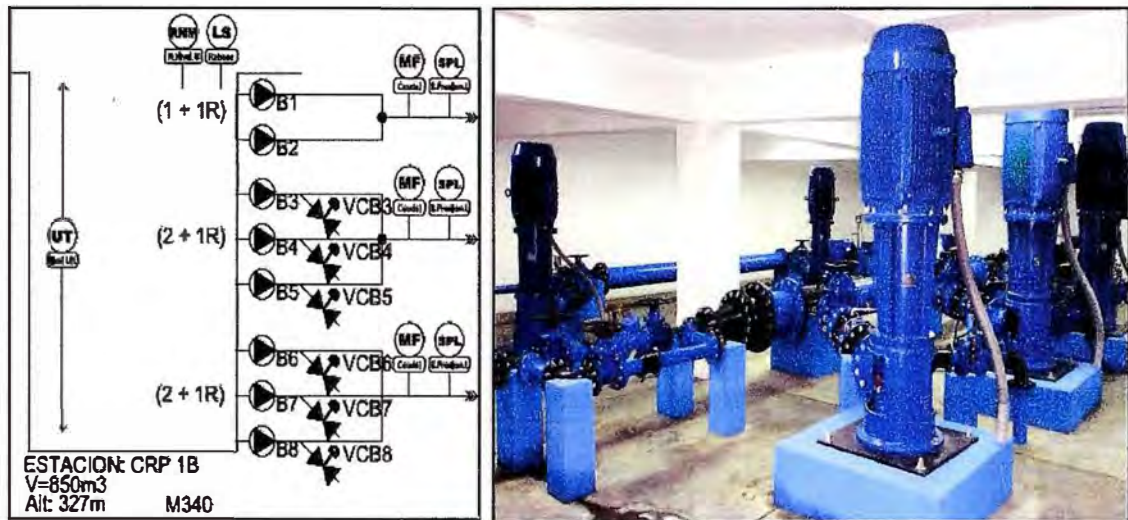


FIGURA 4.29 Estación con VCB en derivación

La lógica de control de la bomba es realizada utilizando las siguientes señales:

- Señal digital de control para arranque/parada de arrancador electrónico ATS48.
- Confirmación del arrancador electrónico de proceso de arranque terminado.
- Señal digital de control para apertura/cierre de válvula.
- Confirmación de apertura completa de válvula.
- Por ejemplo la estación CRP-1B, figura 4.29.

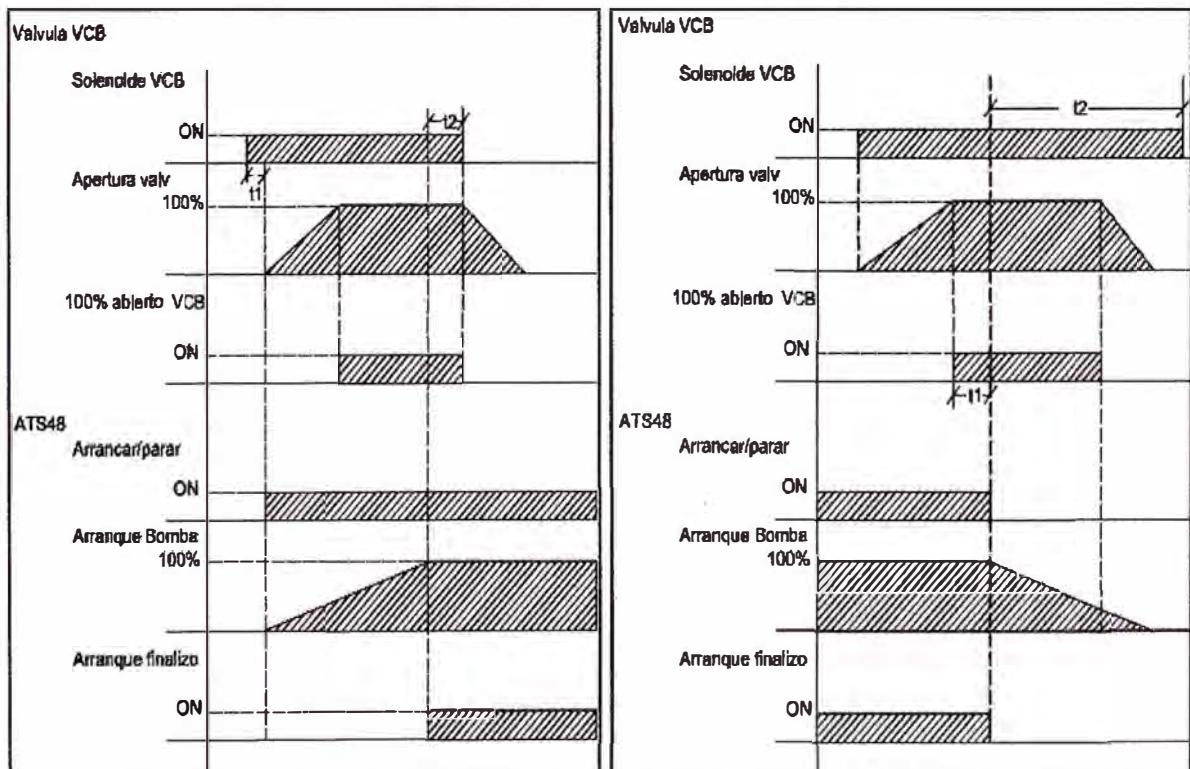


FIGURA 4.30 Secuencias de arranque (izq.) y parada (der.) de bomba con VCB en derivación

La secuencia de arranque y parada respectivamente, quedan expresados en la figura 4.30, con la siguiente lógica:

- La secuencia de arranque comienza con la orden de apertura hacia la VCB, luego de un tiempo t_1 se ordena el arranque de la bomba; una vez que el arrancador ATS48 confirma el arranque finalizado y con la confirmación de la VCB abierta al 100% esperamos un tiempo t_2 , para ordenar el cierre de la VCB y el agua es impulsado por la línea de impulsión.
- La secuencia de parada comienza con la orden de apertura de la VCB, luego de la confirmación de VCB al 100% abierta esperamos un tiempo t_1' y ordenamos la parada de la bomba; esperamos un tiempo t_2' para mandar a des-energizar el solenoide de la VCB.

c. Control de bomba con VCB en serie

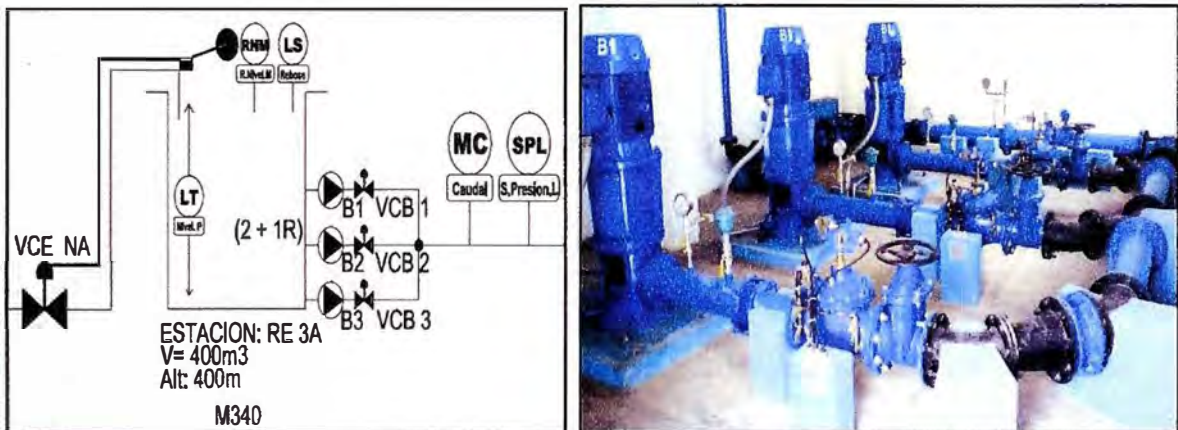


FIGURA 4.31 Estación con VCB en serie

Se realiza utilizando una válvula de control de bomba (VCB) en serie a la bomba, la cual realiza el trabajo de una válvula de soporte de la línea (válvula check) que impide el retorno del agua en contra de la bomba, el cual sigue la siguiente lógica:

- Para la secuencia de arranque se envía la orden de apertura a la válvula y arranque de la bomba al mismo tiempo, a medida que la bomba completa su arranque la válvula se irá abriendo y se quedará abierta durante el proceso de funcionamiento de la bomba.
- Para la secuencia de parada se envía la orden de cierre a la válvula, la cual empezará a cerrarse lentamente en aproximadamente 2 minutos, faltando un 10% para cerrarse aproximadamente, se manda la orden de apagado a la bomba para que coincida el cierre completo de la válvula y la parada de la bomba.
- Por ejemplo la estación RE3A, ver figura 4.31.

La secuencia de arranque y parada respectivamente, quedan expresados en la figura 4.32, con la siguiente lógica:

- La secuencia de arranque comienza con la orden simultánea de apertura de la VCB y arranque de la bomba, una vez que el arrancador ATS48 confirma el arranque finalizado y con la confirmación de la VCB abierta al 100%, se considera finalizado el proceso de arranque de la bomba. Se deja la válvula abierta.
- La secuencia de parada comienza con la orden de cierre de la VCB, luego de la confirmación de VCB al 10% abierta ordenamos la parada de la bomba.

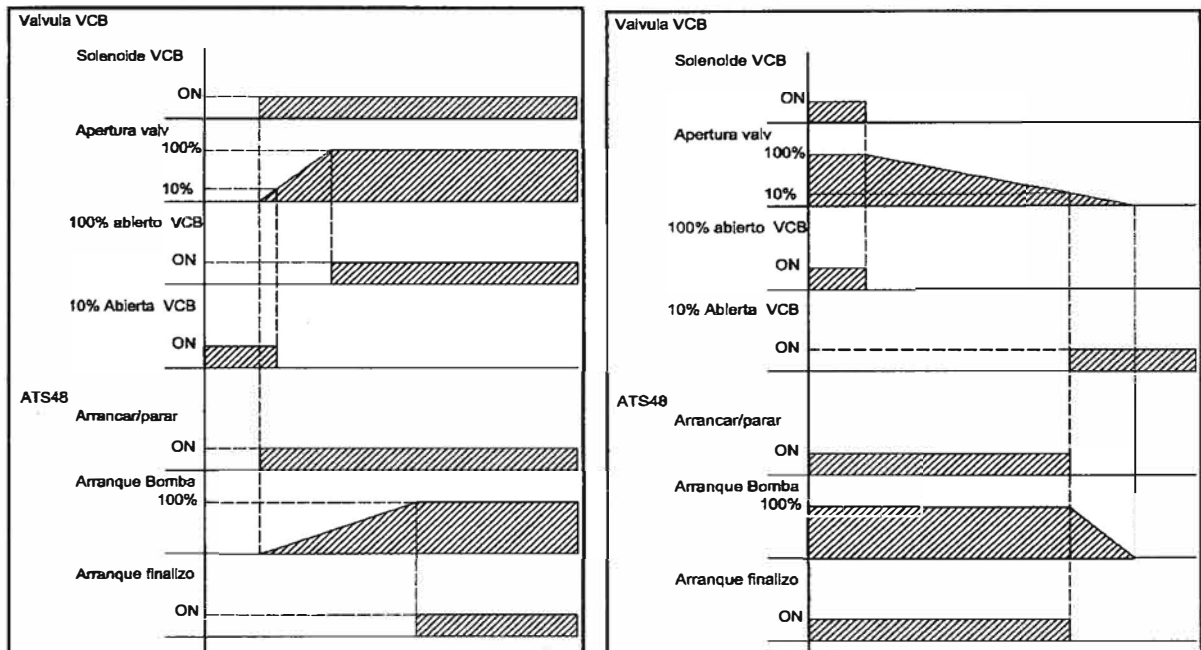


FIGURA 4.32 Secuencia de arranque (izq.) y parada (der.) de bomba con VCB serie

4.4.6. Control de seguridad en las estaciones

Todas las estaciones implementadas cuentan con equipamiento y lógica de control dedicadas a la protección de la estación.

Lógica de control: solo podrá permanecer dentro de la sala de control personal autorizado que cuente con la clave configurada en el PLC, la cual será ingresada mediante el panel HMI dentro de los 2 primeros minutos desde que el detector infrarrojo (PIR) alerte la presencia, de lo contrario se activara la alarma sonora. Los tableros eléctricos solo podrán ser abiertos si desde las pantallas del SCADA se desactiva la alarma respectiva.

4.5. Base de datos en los PLC

El PLC realiza la función de concentrar los datos de los sensores, y a través del acceso a su memoria interna permite extraer esos datos y poderlos visualizar en el HMI y SCADA, figura 4.33.

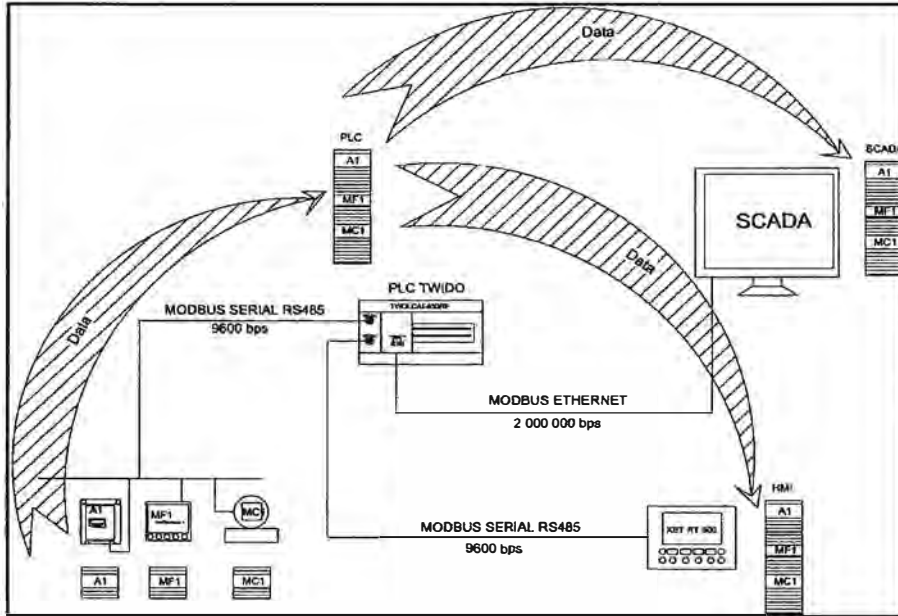


FIGURA 4.33 Flujo de datos de control

Los recursos de memoria de PLC son: palabras (recurso de 16 bits representado por %MW) y bits (%M), los cuales serán asignados a diferentes datos en las estación de bombeo. La estructura de la memoria del PLC se especifica en tablas que son utilizados para configurar los HMI y permitirá al sistema ser integrado al SCADA.

Como ejemplo, en las tablas 4.4 y 4.5 se puede ver las estructuras de la memoria configuradas en los PLCs de las estaciones de bombeo CP-5G, RE-4B, RE-1A y CP-7G.

TABLA 4.4 Lista de datos tipo bits para estación de bombeo

INDEX	TIPO	DESCRIPCION	ACCESO	Modbus	PLC
1	STATUS	Sensor Nivel, Normal/Alarma	R	0	Bit
2	STATUS	Sensor Caudal Aducción, Normal/Alarma	R	1	Bit
3	STATUS	Nivel Mínimo de Reservorio, Normal/Alarma	R	2	Bit
4	STATUS	Nivel Máximo de Reservorio, Normal/Alarma	R	3	Bit
5	STATUS	Electrodo Nivel Mínimo, Normal/Alarma	R	4	Bit
6	STATUS	Nivel Rebose, Normal/Alarma	R	5	Bit
7	STATUS	UPS Funcionando, Si/No	R	6	Bit
8	STATUS	UPS, Normal/Falla	R	7	Bit
9	STATUS	UPS Bateria Baja, Normal/Alarma	R	8	Bit
10	STATUS	Falla Rele Max/Min Tensión General, Normal/Alarma	R	9	Bit
11	STATUS	Intrusión Estación, Normal/Alarma	R	10	Bit
12	STATUS	Tablero Eléctrico, Abierto/Cerrado	R	11	Bit
13	STATUS	Tablero Control, Abierto/Cerrado	R	12	Bit
14	STATUS	Ingreso no Autorizado, Normal/Alarma	R	13	Bit
15	STATUS	Comunicación con Analizador Estación, Normal/Alarma	R	14	Bit
16	STATUS	PLC, Normal/Alarma	R	15	Bit
17	STATUS	Panel Operador - PLC, Normal/Alarma	R	16	Bit
18	STATUS	Comunicación con estación destino, Normal/Alarma	R	17	Bit
19	STATUS	Orden Habilitar/Deshabilitar control delIntrusión, Habilitar/Deshabilitar	R/W	18	Bit
20	STATUS	Selector L/R Tablero Scada, Local	R	19	Bit
21	STATUS	Selector L/R Tablero Scada, Remoto	R	20	Bit
22	STATUS	Sensor Presión Línea Impulsión N°1, Normal/Alarma	R	21	Bit

23	STATUS	Sensor Caudal Línea Impulsión N°1, Normal/Alarma	R	22	Bit
24	STATUS	Subpresión Línea Impulsión N°1, Normal/Alarma	R	23	Bit
25	STATUS	Subpresión Línea Impulsión N°1, Normal/Alarma	R	24	Bit
26	STATUS	Orden 1ra Franja Horaria Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	R/W	25	Bit
27	STATUS	Orden 2da Franja Horaria Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	R/W	26	Bit
28	STATUS	Orden 3ra Franja Horaria Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	R/W	27	Bit
29	STATUS	Orden 4ta Franja Horaria Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	R/W	28	Bit
30	STATUS	Orden Proceso Automático R-R Línea Impulsión N°1, Activar/Parar	R/W	29	Bit
31	STATUS	Orden Manual Directo Proceso R-R Línea Impulsión N°1, Activar/Parar	R/W	30	Bit
32	STATUS	Orden Manual Horario Proceso R-R Línea Impulsión N°1, Activar/Parar	R/W	31	Bit
33	STATUS	Orden 1ra Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°1	R/W	32	Bit
34	STATUS	Orden 2da Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°1	R/W	33	Bit
35	STATUS	Orden 3ra Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°1	R/W	34	Bit
36	STATUS	Orden 4ta Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°1	R/W	35	Bit
37	STATUS	Orden Directa Arrancar/Parar Bomba N°1	R/W	36	Bit
38	STATUS	Orden Habilitar/Espera Bomba N°1	R/W	37	Bit
39	STATUS	Sensor Presión Bomba N°1, Normal/Alarma	R	38	Bit
40	STATUS	Selector A/M Bomba N°1, Automático	R	39	Bit
41	STATUS	Selector A/M Bomba N°1, Manual	R	40	Bit
42	STATUS	Bomba N°1, Arrancada/Parada	R	41	Bit
43	STATUS	Temperatura Bomba N°1, Normal/Alarma	R	42	Bit
44	STATUS	Arrancador Bomba N°1, Normal/Alarma	R	43	Bit
45	STATUS	Subtensión Bomba N°1, Normal/Alarma	R	44	Bit
46	STATUS	Sobrecorriente Bomba N°1, Normal/Alarma	R	45	Bit
47	STATUS	Falla Capacitores Bomba N°1, Normal/Alarma	R	46	Bit
48	STATUS	Comunicación Arrancador Bomba N°1, Normal/Alarma	R	47	Bit
49	STATUS	Comunicación Medidor Energía Bomba N°1, Normal/Alarma	R	48	Bit
50	STATUS	Valvula N°1, Abierto	R	49	Bit
51	STATUS	Valvula N°1, Cerrado	R	50	Bit
52	STATUS	Falla Operación Apertura/Cierre Valvula N°1	R	51	Bit
53	STATUS	Orden 1ra Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°2	R/W	52	Bit
54	STATUS	Orden 2da Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°2	R/W	53	Bit
55	STATUS	Orden 3ra Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°2	R/W	54	Bit
56	STATUS	Orden 4ta Franja horaria Arrancar/Parar Bomba N°2	R/W	55	Bit
57	STATUS	Orden Directa Arrancar/Parar Bomba N°2	R/W	56	Bit
58	STATUS	Orden Habilitar/Espera Bomba N°2	R/W	57	Bit
59	STATUS	Sensor Presión Bomba N°2, Normal/Alarma	R	58	Bit
60	STATUS	Selector A/M Bomba N°2, Automático	R	59	Bit
61	STATUS	Selector A/M Bomba N°2, Manual	R	60	Bit
62	STATUS	Bomba N°2, Arrancada/Parada	R	61	Bit
63	STATUS	Temperatura Bomba N°2, Normal/Alarma	R	62	Bit
64	STATUS	Arrancador Bomba N°2, Normal/Alarma	R	63	Bit
65	STATUS	Subtensión Bomba N°2, Normal/Alarma	R	64	Bit
66	STATUS	Sobrecorriente Bomba N°2, Normal/Alarma	R	65	Bit
67	STATUS	Falla Capacitores Bomba N°2; Normal/Alarma	R	66	Bit
68	STATUS	Comunicación Arrancador Bomba N°2, Normal/Alarma	R	67	Bit
69	STATUS	Comunicación Medidor Energía Bomba N°2, Normal/Alarma	R	68	Bit
70	STATUS	Valvula N°2, Abierto	R	69	Bit
71	STATUS	Valvula N°2, Cerrado	R	70	Bit
72	STATUS	Falla Operación Apertura/Cierre Valvula N°2	R	71	Bit
73	STATUS	Reset falla real (resetea la falla por de c.bypass y banco de condensadores)	R/W	72	Bit
74	STATUS	Control de intrusión deshabilitado	R	73	Bit

TABLA 4.5 Lista de datos tipo palabra para estación de bombeo

INDEX	TIPO	DESCRIPCION	ACCESO	Modbus	Variabl	Factor	UND
1	ANALOG	Nivel Reservorio	R	0	Word	0.1	m
2	ANALOG	Caudal Línea Aducción	R	1	Word	0.1	lps
3	ANALOG	Totalizador Volumen Mes Actual Línea Aducción	R	2	DWord	0.1	m3

4	ANALOG	Corriente Promedio Estación	R	4	Word	0.1	A
5	ANALOG	Voltaje Promedio Estación	R	5	Word	0.1	V
6	ANALOG	Potencia Activa Estación	R	6	Word	0.1	kW
7	ANALOG	Factor de Potencia Estación	R	7	Word	0.01	
8	ANALOG	Energía Activa Estación	R	8	DWord	0.1	kWh
9	ANALOG	Energía Reactiva Estación	R	10	DWord	0.1	kVarH
10	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Año)	RW	12	Word	1	
11	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Mes)	RW	13	Word	1	
12	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Dia)	RW	14	Word	1	
13	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Hora)	RW	15	Word	1	
14	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Min)	RW	16	Word	1	
15	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Seg)	RW	17	Word	1	
16	ANALOG	Presión Línea Impulsión N°1	R	18	Word	0.1	mca
17	ANALOG	Caudal Línea Impulsión N°1	R	19	Word	0.1	lps
18	ANALOG	Totalizador Volumen Mes Actual Línea Impulsión N°1	R	20	DWord	0.1	m3
19	ANALOG	Setpoint 1er Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	22	Word	0.1	m
20	ANALOG	Setpoint 2do Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	23	Word	0.1	m
21	ANALOG	Setpoint 3er Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	24	Word	0.1	m
22	ANALOG	Setpoint 4to Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	25	Word	0.1	m
23	ANALOG	Setpoint N° Bombas 1er Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	26	Word	1	
24	ANALOG	Setpoint N° Bombas 2do Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	27	Word	1	
25	ANALOG	Setpoint N° Bombas 3er Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	28	Word	1	
26	ANALOG	Setpoint N° Bombas 4to Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	29	Word	1	
27	ANALOG	Setpoint Deadband de Nivel Reservorio Destino Línea Impulsión N°1	RW	30	Word	0.1	m
28	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	31	Word	1	hora
29	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	32	Word	1	minuto
30	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	33	Word	1	hora
31	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	34	Word	1	minuto
32	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	35	Word	1	hora
33	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	36	Word	1	minuto
34	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	37	Word	1	hora
35	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Proceso R-R Línea Impulsión N°1	RW	38	Word	1	minuto
36	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	39	Word	1	hora
37	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	40	Word	1	minuto
38	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	41	Word	1	hora
39	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	42	Word	1	minuto
40	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	43	Word	1	hora
41	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	44	Word	1	minuto
42	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	45	Word	1	hora
43	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°1	RW	46	Word	1	minuto
44	ANALOG	Presión Bomba N°1	R	47	Word	0.1	mca
45	ANALOG	Totalizador Horas Operación Bomba N°1	R	48	DWord	0.1	hora
46	ANALOG	Corriente Promedio Bomba N°1	R	50	Word	0.1	A
47	ANALOG	Voltaje Promedio Bomba N°1	R	51	Word	0.1	V
48	ANALOG	Potencia Activa Bomba N°1	R	52	Word	0.1	KW
49	ANALOG	Factor de Potencia Bomba N°1	R	53	Word	0.01	
50	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	54	Word	1	hora
51	ANALOG	Setpoint 1ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	55	Word	1	minuto
52	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	56	Word	1	hora
53	ANALOG	Setpoint 2da Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	57	Word	1	minuto
54	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	58	Word	1	hora
55	ANALOG	Setpoint 3ra Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	59	Word	1	minuto
56	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Hora) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	60	Word	1	hora
57	ANALOG	Setpoint 4ta Franja Horaria (Min) Arrancar/Parar Bomba N°2	RW	61	Word	1	minuto
58	ANALOG	Presión Bomba N°2	R	62	Word	0.1	mca
59	ANALOG	Totalizador Horas Operación Bomba N°2	R	62	DWord	0.1	hora

60	ANALOG	Corriente Promedio Bomba N°2	R	65	Word	0.1	A
61	ANALOG	Voltaje Promedio Bomba N°2	R	66	Word	0.1	V
62	ANALOG	Potencia Activa Bomba N°2	R	67	Word	0.1	KW
63	ANALOG	Factor de Potencia Bomba N°2	R	68	Word	0.01	
64	ANALOG	Setpoint nivel mínimo	R/W	69	Word	0.1	m
65	ANALOG	Setpoint nivel máximo	R/W	70	Word	0.1	m
66	ANALOG	Setpoint tiempo entre arranques y paradas	R/W	71	Word	1	minuto
67	ANALOG	db inferior	R/W	72	Word	0.1	m
68	ANALOG	db superior	R/W	73	Word	0.1	m
69	ANALOG	uso interno	R	74	Word		
70	ANALOG	uso interno	R	75	Word		
71	ANALOG	Setpoint subpresión línea impulsión1	R/W	76	Word	0.1	bar
72	ANALOG	Setpoint sobrepresión línea impulsión1	R/W	77	Word	0.1	bar
73	ANALOG	Hora del PLC	R	78	Word	1	hora
74	ANALOG	Minuto del PLC	R	79	Word	1	minuto
75	ANALOG	segundo del PLC	R	80	Word	1	segundo
76	ANALOG	año del PLC	R	81	Word	1	año
77	ANALOG	mes del PLC	R	82	Word	1	mes
78	ANALOG	día del PLC	R	83	Word	1	día
79	ANALOG	Setpoint password 1	R/W	84	Word		
80	ANALOG	Setpoint password 2	R/W	85	Word		
81	ANALOG	Setpoint password 3	R/W	86	Word		
82	ANALOG	Setpoint password 4	R/W	87	Word		

En las tablas 4.6 y 4.7 se puede ver la estructura de la memoria de los PLCs de las estaciones terminales ejemplo: RE-7A, RP-5G, RP-6B, RP-3C, RP-3D, RP-7G y RP-4A.

TABLA 4.6 Lista de datos tipo bit para estación terminal

INDEX	TIPO	DESCRIPCION	ACCESO	Modbus	Variable
1	STATUS	Sensor Nivel, Normal/Alarma	R	0	Bit
2	STATUS	Sensor Caudal Aducción, Normal/Alarma	R	1	Bit
3	STATUS	Nivel Mínimo de Reservorio, Normal/Alarma	R	2	Bit
4	STATUS	Nivel Máximo de Reservorio, Normal/Alarma	R	3	Bit
5	STATUS	Nivel Rebose, Normal/Alarma	R	4	Bit
6	STATUS	UPS Funcionando, Si/No	R	5	Bit
7	STATUS	UPS, Normal/Falla	R	6	Bit
8	STATUS	UPS Bateria Baja, Normal/Alarma	R	7	Bit
9	STATUS	Intrusión en Estación, Normal/Alarma	R	8	Bit
10	STATUS	Tablero Control, Abierto/Cerrado	R	9	Bit
11	STATUS	Ingreso no Autorizado, Normal/Alarma	R	10	Bit
12	STATUS	Comunicación Analizador Estacion, Normal/Alarma	R	11	Bit
13	STATUS	PLC, Normal/Alarma	R	12	Bit
14	STATUS	Panel Operador - PLC, Normal/Alarma	R	13	Bit
15	STATUS	Comunicacion con Estacion Fuente, Normal/Alarma	R	14	Bit
16	STATUS	Orden Habilitar/Deshabilitar control de intrusión	R/W	15	Bit
17	STATUS	Reset de Nivel Rebose, Normal/Alarma	R/W	16	Bit
18	STATUS	Uso Interno	R	17	Bit
19	STATUS	Nivel Destino OK (Condiciones óptimas para recibir agua)	R	18	Bit
20	STATUS	Cargar Fecha y Hora Setpoint	R/W	19	Bit
21	STATUS	Intrusión Ingreso Autorizado	R	20	Bit
22	STATUS	Sirena Habilitada Deshabilitada	R/W	21	Bit
23	STATUS	Uso Interno	R	22	Bit
24	STATUS	Uso Interno	R/W	23	Bit
25	STATUS	Prueba de sirena	R/W	24	Bit

TABLA 4.7 Lista de datos tipo palabra para estación terminal

INDEX	TIPO	DESCRIPCION	ACCESO	Modbus	Variable	FACTOR	UND
1	ANALOG	Nivel Reservorio	R	0	Word	0.1	m
2	ANALOG	Caudal Linea Aducción	R	1	Word	0.1	lps
3	ANALOG	Totalizador Volumen Mes Actual Línea Aducción	R	2	Word	0.1	m3
4	ANALOG	Corriente Promedio Estación	R	4	Word	0.1	A
5	ANALOG	Voltaje Promedio Estación	R	5	Word	0.1	V
6	ANALOG	Potencia Activa Estación	R	6	Word	0.1	kW
7	ANALOG	Factor de Potencia Estación	R	7	Word	0.01	
8	ANALOG	Energia Activa Estación	R	8	Dword	0.1	kWh
9	ANALOG	Energia Reactiva Estación	R	10	Dword	0.1	kVarH
10	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Año)	R/W	12	Word	1	
11	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Mes)	R/W	13	Word	1	
12	ANALOG	Setpoint Fecha PLC (Dia)	R/W	14	Word	1	
13	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Hora)	R/W	15	Word	1	
14	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Min)	R/W	16	Word	1	
15	ANALOG	Setpoint Hora PLC (Seg)	R/W	17	Word	1	
16	ANALOG	Setpoint Nivel Mínimo	R/W	18	Word	0.1	m
17	ANALOG	Setpoint Nivel Máximo	R/W	19	Word	0.1	m
18	ANALOG	Uso Interno	R	20	Word		
19	ANALOG	Setpoint pasword 1	R/W	21	Word	1	
20	ANALOG	Setpoint pasword 2	R/W	22	Word	1	
21	ANALOG	Setpoint pasword 3	R/W	23	Word	1	
22	ANALOG	Setpoint pasword 4	R/W	24	Word	1	
23	ANALOG	Uso Interno	R	25	Word		
24	ANALOG	Uso Interno	R	26	Word		
25	ANALOG	Uso Interno	R	27	Word		
26	ANALOG	Uso Interno	R	28	Word		
27	ANALOG	Uso Interno	R	29	Word		
28	ANALOG	Año del PLC	R	30	Word		
29	ANALOG	Mes del PLC	R	31	Word		
30	ANALOG	Dia del PLC	R	32	Word		
31	ANALOG	Hora del PLC	R	33	Word		
32	ANALOG	Minuto del PLC	R	34	Word		
33	ANALOG	Segundo del PLC	R	35	Word		

4.6. Sistema de supervisión local

Las operaciones de supervisión y control local se realizan mediante el manejo de las pantallas del panel operador Magelis XBTRT500 ubicado en cada estación, desde los cuales se puede visualizar parámetros de funcionamiento e ingresar consignas de operación.

Desde el panel HMI, se puede realizar una serie de funciones como: activar la lógica de control automático en el “modo de operación local” de cada estación de bombeo (desde su propio panel HMI), configurar las consignas de operación como nivel, horario, visualizar información del proceso de bombeo de la estación, entre otras funciones.

En la figura 4.34, se puede ver las funciones disponibles desde el panel HMI, en las estaciones de bombeo.

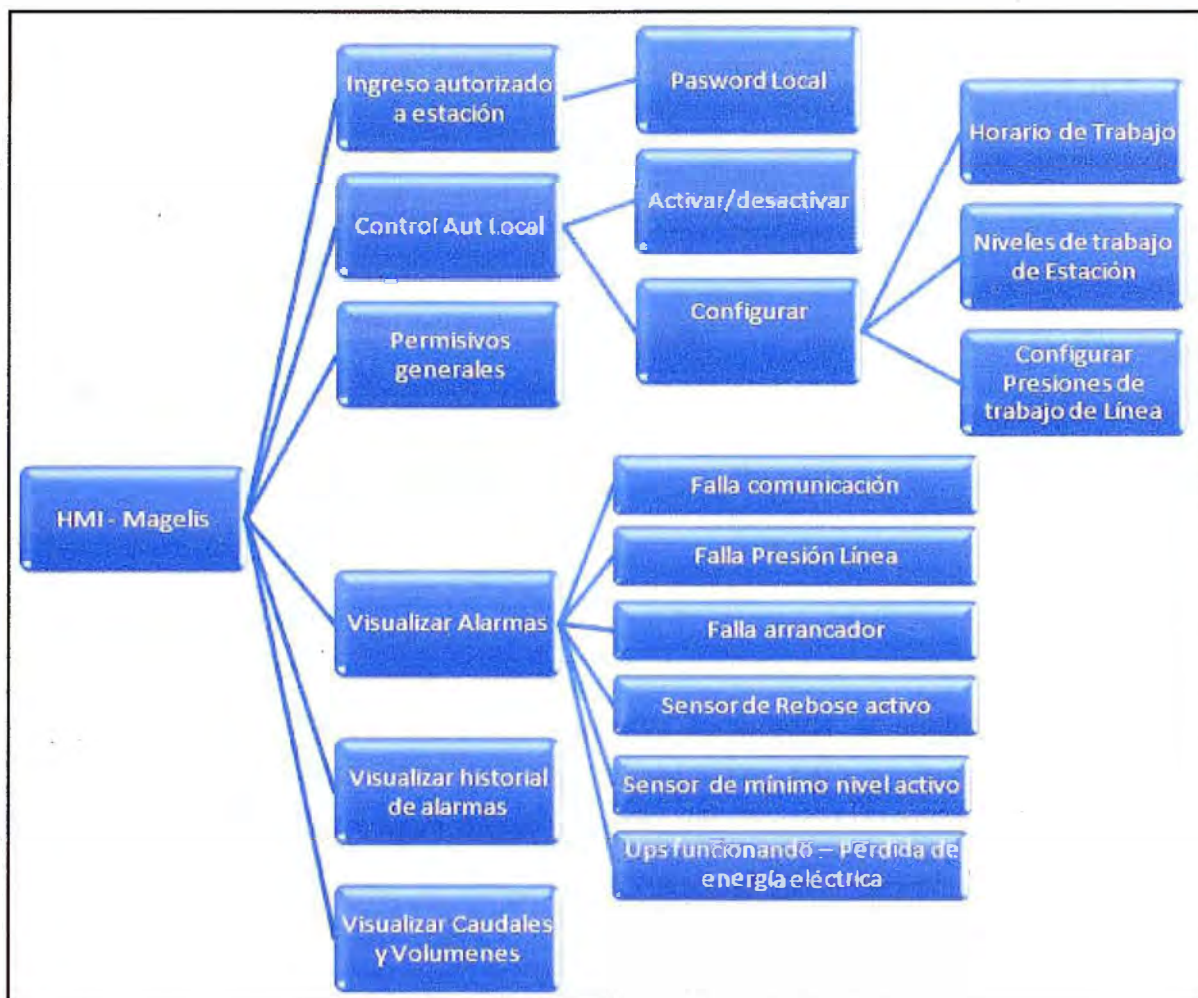


FIGURA 4.34 Funciones disponibles en el HMI en estaciones de bombeo

En la figura 4.35 se puede ver las funciones disponibles en las estaciones terminales.



FIGURA 4.35 Funciones disponibles en el HMI en estaciones terminales

CAPITULO V

ANALISIS DE COSTO Y BENEFICIO

5.1. Costo general

El presente proyecto de automatización comprende el control del sistema de bombeo para la obra “AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA SARGENTO LORENTZ – SEGUNDA ETAPA” el cual comprende obras civiles, hidráulicas y de automatización, contando con un monto de inversión de total de S/.63'867 095,81.

La labor de automatización implicó realizar las siguientes actividades:

- Suministro de equipamiento para control de bombas mediante tableros eléctricos de: Fuerza (TG), Banco de condensadores (TBC), Control (TC) y Distribución (TD) para 22 estaciones.
- Automatización del proceso, pruebas y puesta en marcha.
- Suministro e Implementación del sistema de radio enlaces, pruebas y puesta en marcha.
- Integración al SCADA.

En la tabla 5.1 se presenta un desglose de los costos del equipamiento de automatización: control, potencia y comunicaciones (radioenlaces), por un monto de S/.1'421 091,12. El equipamiento de control y potencia están contenidos dentro de los tableros TC, TG y TD.

En la tabla 5.2 se muestra el costo total de la automatización considerando también el costo de integración al SCADA, por un monto de S/.1'661 091,82.

TABLA 5.1 Equipamiento de control, potencia y comunicaciones

ITEM	CANT.	Unid.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
			ESTACION DE BOMBEO CRP-1B		
1	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 440V 03 Electrobombas 150HP 03 Electrobombas 125HP 02 Electrobombas 60HP	126,497.81	126,497.81
2	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	18,850.69	18,850.69
3	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	31,039.88	31,039.88
4	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	617.57	617.57
			ESTACION DE BOMBEO CP- 01		
5	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 440V 02 Electrobombas 125HP	32,524.13	32,524.13
6	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	4,336.97	4,336.97
7	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	19,917.44	19,917.44
8	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	637.59	637.59
			ESTACION DE BOMBEO CP-7G		
9	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 02 Electrobombas 20HP	18,770.56	18,770.56
10	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,013.34	2,013.34
11	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	18,708.92	18,708.92
12	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
			ESTACION DE BOMBEO CRE-137A		
13	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 02 Electrobombas 30HP	22,514.95	22,514.95
14	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,342.05	2,342.05
15	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	27,286.61	27,286.61
16	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
17	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V - estacion antigua 02 Electrobombas 25HP	23,000.00	23,000.00
18	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,500.00	2,500.00
			ESTACION DE BOMBEO CP- 5G		
19	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 02 Electrobombas 15HP	17,713.76	17,713.76
20	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,013.34	2,013.34
21	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	18,708.92	18,708.92
22	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
			ESTACION DE BOMBEO CR- 67A		
23	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 440V 06 Electrobombas 100HP	86,950.82	86,950.82
24	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	12,168.32	12,168.32
25	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	31,010.94	31,010.94
26	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	353.02	353.02
			ESTACION DE BOMBEO RE- 04		
27	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 02 Electrobombas 15HP	17,713.78	17,713.78
28	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,013.34	2,013.34
29	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	27,458.64	27,458.64
30	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
			ESTACION DE BOMBEO RE-1A		
31	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 440V 02 Electrobombas 15HP	17,313.82	17,313.82
32	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	1,975.92	1,975.92
33	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	18,880.94	18,880.94
34	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	617.57	617.57
			ESTACION DE BOMBEO RE- 4B		
35	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 02 Electrobombas 25HP	21,394.48	21,394.48
36	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,230.24	2,230.24
37	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	18,880.94	18,880.94
38	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
			RESERVORIO RE- 3A		
39	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 440V 03 Electrobombas 40HP	26,280.19	26,280.19
40	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,852.82	2,852.82
41	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	27,540.35	27,540.35
42	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	617.57	617.57
			RESERVORIO RP-7G		
43	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,966.83	16,966.83
44	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP-7C		
45	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	17,019.61	17,019.61

ITEM	CANT.	Unid.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
46	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP-6E		
47	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,966.83	16,966.83
48	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP-6B		
49	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
50	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP- 6A		
51	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	17,034.08	17,034.08
52	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP- 5G		
53	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
54	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP- 4C		
55	1	UN	TABLERO GENERAL TG - 220V 03 Electrobombas 15HP:	23,563.51	23,563.51
56	1	UN	TABLERO BANCO DE CONDENSADORES TBC	2,676.25	2,676.25
57	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	27,406.63	27,406.63
58	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	597.56	597.56
			RESERVORIO RP- 4A		
59	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
60	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,133.77	1,133.77
			RESERVORIO RP- 3D		
61	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
62	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,108.77	1,108.77
			RESERVORIO RP- 3C		
63	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
64	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD	1,171.27	1,171.27
			RESERVORIO RE- 8A		
65	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	17,034.08	17,034.08
			RESERVORIO RE-7A		
66	1	UN	TABLERO DE CONTROL TC	16,352.12	16,352.12
			INGENIERIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION		
67	1	GLOB	DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION EN LAS 22 ESTACIONES Y 13 GRUPOS HIDRICOS. 22 Configuracion y programación de PLC en cada estacion. 22 Configuracion y programación de Panel Operador en cada estacion. 22 Configuracion y programación de la Red Modbus en cada estacion. 22 Configuracion y programación de la Red Ethernet en cada estacion. 13 Configuracion y programación de cada Grupo Hidrico. 22 Pruebas en manual y automatico en cada estacion. 13 Pruebas en manual y automatico en cada Grupo Hidrico.	9,250.00	9,250.00
			SISTEMA DE COMUNICACIÓN		
68	1	GLOB	SUMINISTRO DE EQUIPAMIENTO 20 RAD WIN - WinLink 1000 Access - ODU - PoE 5.8 GHz con antena integrada 22dBi y puerto Ethernet 10/100 BaseT 4 RAD WIN - WinLink Hub Site Unidad de Sincronizacion ODU 16 Cable RADWIN para sincronizacion de ODU cat 5E preconectorizado 4 Cable BELDEN F/UTP, 4pares Cat 5E, 24 AWG, solido negro para exteriores, rollo de 300m. 75 Patch Cord UTP - Cat 5E - 1,2m	152,935.11	152,935.11
			SERVICIO DE INGENIERIA		
69	1	GLOB	22 Desarrollo de la ingenieria de detalles de los radioenlaces. 22 Pruebas de los 22 enlaces y puesta en marcha.	10,666.67	10,666.67
			TORRE PARAANTENAS		
70	1	GLOB	22 Torres metalicas según dimensiones para cada estacion	21,120.00	21,120.00
			ADICIONALES		
71	1	GLOB	1 AUTOMATIZACION ESTACION ANTIGUA CRE-137A 1 CONTROL NIVEL ESTACION CE-04 / RE-4 1 CONTROL NIVEL ESTACION CE-7B / RE-7B / CP-7G 1 CONTROL NIVEL ESTACION CE-2 / RE-2	22,000.00	22,000.00
72	1	UN	1 TRANSFORMADOR TRIFASICO 5kVA 440/220V	2,000.00	2,000.00
	22	UN	1 ALIMENTACION PARA SENSOR INFRAROJO	390.91	8,600.02
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x50A, 20kA Riel Din RE-1A	113.40	113.40
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x100A, 20kA Riel Din RE-4B	292.50	292.50

ITEM	CANT.	Unid.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x80A, 20kA Riel Din RE-04	292.50	292.50
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x100A, 20kA Riel Din CP-7G	292.50	292.50
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x63A, 20kA Riel Din CP-5G	113.40	113.40
	1	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x125A, 20kA Riel Din CRE-137A	328.50	328.50
	3	UN	1 Interruptor Termomagnetico 3x32A (RE-04,CP-5G, CP-7G)	109.00	327.00
73	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD RE-1	1,471.54	1,471.54
74	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD RE-7A	1,471.54	1,471.54
75	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD RE-8A	1,471.54	1,471.54
76	1	UN	TABLERO DE DISTRIBUCION TD RE-2	1,471.54	1,471.54
				SUB TOTAL	S/. 1,194,194.22
				I. G. V.	S/. 226,896.90
				TOTAL	S/. 1,421,091.12

TABLA 5.2 Costo total de automatización

Ítem	Descripción	Costo
1	Equipamiento de control y Automatizacion	1,009,472.44
2	Equipamiento para radio enlaces	184,721.78
3	Integracion al Scada	201,680.67
Total sin IGV		S/. 1,395,874.89
IGV		S/. 265,216.23
TOTAL		S/. 1,661,091.12

5.2. Análisis costo vs beneficio

El análisis de costo-beneficio es muy importante para poder sustentar la automatización como una solución rentable en términos económicos.

5.2.1. Costo

Para poder implementar un sistema de distribución de agua, es necesario el equipamiento de fuerza y distribución eléctrica, sin importar que el sistema sea automatizado o no, por lo tanto no representa un coste adicional todo el equipamiento contenido en los tableros TG, TBC y TD.

El costo que representa poder desarrollar el sistema automatizado radica en la necesidad de utilizar equipamiento dedicado al control, donde la mayor parte del equipamiento necesario para el control esta dentro del tablero TC y en los equipos para implementar el sistema de comunicación.

La automatización también implica asumir los costes de:

- La ingeniería de desarrollo para la instalación, integración y configuración de los equipos de control y la programación de las lógicas de control (PLC).

- La ingeniería de la instalación y configuración de los enlaces de comunicación local (antenas).
- La ingeniería de integración de los PLC al sistema SCADA.

Entonces el costo que representa automatizar el Sistema de Bombeo Sargento Lorentz Segunda Etapa según la tabla 5.3, es de S/. 848,772.71.

TABLA 5.3 Costo sólo del sistema de control

ITEM	CANT.	Unid.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CRP-1B TABLERO DE CONTROL TC	31,039.88	31,039.88
2	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CP- 01 TABLERO DE CONTROL TC	19,917.44	19,917.44
3	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CP-7G TABLERO DE CONTROL TC	18,708.92	18,708.92
4	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CRE-137A TABLERO DE CONTROL TC	27,286.61	27,286.61
5	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CP- 5G TABLERO DE CONTROL TC	18,708.92	18,708.92
6	1	UN	ESTACION DE BOMBEO CR- 67A TABLERO DE CONTROL TC	31,010.94	31,010.94
7	1	UN	ESTACION DE BOMBEO RE- 04 TABLERO DE CONTROL TC	27,458.64	27,458.64
8	1	UN	ESTACION DE BOMBEO RE-1A TABLERO DE CONTROL TC	18,880.94	18,880.94
9	1	UN	ESTACION DE BOMBEO RE- 4B TABLERO DE CONTROL TC	18,880.94	18,880.94
10	1	UN	RESERVORIO RE- 3A TABLERO DE CONTROL TC	27,540.35	27,540.35
11	1	UN	RESERVORIO RP-7G (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,966.83	16,966.83
12	1	UN	RESERVORIO RP-7C (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	17,019.61	17,019.61
13	1	UN	RESERVORIO RP-6E (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,966.83	16,966.83
14	1	UN	RESERVORIO RP-6B (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
15	1	UN	RESERVORIO RP- 6A (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	17,034.08	17,034.08
16	1	UN	RESERVORIO RP- 5G (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
17	1	UN	RESERVORIO RP- 4C TABLERO DE CONTROL TC	27,406.63	27,406.63
18	1	UN	RESERVORIO RP- 4A (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
19	1	UN	RESERVORIO RP- 3D (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
20	1	UN	RESERVORIO RP- 3C (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,981.30	16,981.30
21	1	UN	RESERVORIO RE- 8A (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	17,034.08	17,034.08
22	1	UN	RESERVORIO RE-7A (terminal) TABLERO DE CONTROL TC	16,352.12	16,352.12
23	1	GLOB	INGENIERIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE CONTROL Y AUTOMATIZACION EN LAS 22 ESTACIONES Y 13 GRUPOS HIDRICOS. 22 Configuración y programación de PLC en cada estación. 22 Configuración y programación de Panel Operador en cada estación. 22 Configuración y programación de la Red Modbus en cada estación. 22 Configuración y programación de la Red Ethernet en cada estación. 13 Configuración y programación de cada Grupo Hidrico. 22 Pruebas en manual y automatico en cada estación. 13 Pruebas en manual y automatico en cada Grupo Hidrico.	9,250.00	9,250.00
24	1	GLOB	SISTEMA DE COMUNICACIÓN SUMINISTRO DE EQUIPAMIENTO 20 RAD WIN - WinLink 1000 Access - ODU - PoE 5.8 GHz con antena integrada 22dBi y puerto Ethernet 10/100 BaseT 4 RAD WIN - WinLink Hub Site Unidad de Sincronización ODU 16 Cable RADWIN para sincronización de ODU cat 5E preconectorizado 4 Cable BELDEN F/UTP, 4paras Cat 5E, 24 AWG, solido negro para exteriores, rollo de 300m. 75 Patch Cord UTP - Cat 5E - 1,2m	152,935.11	152,935.11

25	1	GLOB	SERVICIO DE INGENIERIA 22 Desarrollo de la ingeniería de detalles de los radioenlaces. 22 Pruebas de los 22 enlaces y puesta en marcha.	10,666.67	10,666.67
26	1	GLOB	TORRE PARA ANTENAS 22 Torres metálicas según dimensiones para cada estación	21,120.00	21,120.00
27	1	GLOB	Integración Scada 22 estaciones	201,680.67	201,680.67
				SUB TOTAL S/.	848,772.71

5.2.2. Beneficio

Implementar un sistema automático otorga las siguientes ventajas, tanto en costos como en operatividad:

- Permite reducir el costo de tener personal técnico para operar los equipos en cada una de las 22 estaciones, el cual sería necesario por las características propias de un sistema de distribución de agua que ocupa extensiones grandes de territorio. Además permite ahorrar el costo del medio de comunicación (radio, nextel o celular) entre los operadores, los cuales necesitan intercambiar información sobre arranque y parada de electrobombas según nivel, horario, o alertas como presión de línea.
- Permite reducir costos de personal de ingeniería (supervisión) que tendría que desplazarse por las estaciones para supervisar el trabajo de los operadores o asistir ante cualquier problema de operación detectada por los operadores.
- Permite reducir los costos de mantenimiento correctivo mediante el monitoreo continuo de los parámetros eléctricos del sistema de potencia (Bombas y arrancadores) como son las lecturas de corriente, voltaje, factor de potencia, energía y tiempo de trabajo acumulado, ayudando a planificar el mantenimiento preventivo de los equipos y así proteger la inversión que ello significó dentro del proyecto:
 - Costo de las Bombas Centrifugas: S/. 1,692,523.56
 - Costo de arrancadores Electrónicos: S/. 183,781.00
- La automatización otorga la capacidad de monitorear el estado y controlar equipos a distancia (Bombas y válvulas), además de monitorear los parámetros hidráulicos (nivel, caudal, presión) y eléctricos (corriente, voltaje, factor de potencia, energía, tiempo de trabajo) relacionados al sistema de bombeo. Además de permite generar alarmas y ser visualizadas e identificadas rápidamente.
- El monitoreo de los parámetros eléctricos de las estaciones de bombeo permite a SEDAPAL controlar el consumo eléctrico que le representa el sistema de distribución de agua potable en el esquema Sargento Lorentz y monitorear la calidad de energía.
- Un sistema automático otorga la posibilidad de monitorear variables que ayudan a la seguridad de las estaciones y de los equipos que contienen, monitoreando la apertura de los tableros eléctricos y el ingreso a las estaciones mediante sensores y alarmas que son enviados al centro de control.

- Permite reducir el riesgo de fallas por factor humano:
 - Manejo de bombas con sistema de válvulas en serie o derivación.
 - Bombeo en vacío por bajo nivel de agua: pudiendo estropear el sellado de la bomba debido a una deficiente refrigeración dado que no circula fluido por su interior que ayuda a mejorar la disipación del calor producido por la bomba.
 - Presión de la línea de impulsión fuera de rango.
 - Monitoreo de parámetros eléctricos por bomba (corriente, voltaje, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva).
- Permite también que el sistema trabaje de forma automática configurando horarios, niveles de distribución de agua y rangos de presiones, asegurando un desgaste homogéneo a las bombas mediante su intercalo por tiempos de operación.
- Permite concentrar los datos en controladores (PLC) desde los cuales son intercambiados automáticamente entre las estaciones del sistema de Bombeo permitiendo el funcionamiento de manera eficiente y la supervisión mediante el sistema SCADA y HMI.
- El costo de implementar el sistema automatizado es compensado con el ahorro que se logra en poco tiempo según la tabla 5.4.

TABLA 5.4 Ahorro anual aproximado

Cantidad	Concepto	PU(S/.)	Multiplo	Unidad	Anual		PT
22	Operadores					S/. 9,270.00	S/. 203,940.00
	sueldo	550	14	sueldos	S/. 7,700.00		
	comunicación (RMP tarifa plana)	70	12	meses	S/. 840.00		
	movilidad	2	365	días	S/. 730.00		
1	Ingeniero Supervisor					S/. 76,840.00	S/. 76,840.00
	sueldo	2000	14	sueldos	S/. 28,000.00		
	comunicación (RMP tarifa plana)	70	12	meses	S/. 840.00		
	movilidad	200	240	días	S/. 48,000.00		
6%	Considerando un ahorro de costo en mantenimiento correctivo					S/. 1,876,304.56	S/. 112,578.27
	Inversion en AES				S/. 183,781.00		
	Inversion en Bombas				S/. 1,692,523.56		
						TOTAL ANUAL	S/. 393,358.27

5.3. Tiempo de ejecución

El proyecto de automatización fue desarrollado en las siguientes fases desde Febrero 2008 hasta Diciembre 2008:

- Ensamblaje de tableros y entrega en almacenes.

- Montaje de los tableros en campo.
- Integración de los sensores y actuadores al PLC.
- Pruebas de los equipos de bombeo en modo “Manual Local”.
- Montaje del Sistema de Comunicación Local.
- Creación de programas de acuerdo a la lógica de grupos hidráulicos.
- Creación de pantallas para control desde los paneles HMI.
- Descarga y prueba de los programas de los PLC y pantallas HMI.
- Modificaciones de la lógica de control y HMI.
- Puesta en marcha del sistema en modo “Automático Local”.
- Integración al SCADA.
- Puesta en marcha del sistema en modo “Automático Remoto”.
- Entrega del Proyecto a SEDAPAL.

El proyecto de automatización fue realizado paralelo a la culminación de la construcción civil e hidráulica que había empezado desde mediados del 2007, razón por la cual se presentaron retrasos en la pruebas de control y automatización por falta de culminación de dichas obras, sumado a esto no se realizaron pruebas de bombeo por un par de semanas debido al proceso de desinfección de las tuberías, que el sistema de distribución de agua potable debe realizar en sus etapas iniciales de funcionamiento, utilizando cloro concentrado; adicionalmente se sumo el difícil acceso a las estaciones por su ubicación distribuida y en muchos casos donde el transporte no llega se debía continuar a pie, por trocha o escaleras.

5.4. Entrega del proyecto de automatización

La entrega del proyecto con toda la automatización completa se realizó el 24 y 25 de Noviembre del 2008, a través de la comisión de supervisión de SEDAPAL quienes visitaron las 22 estaciones automatizadas pertenecientes al sistema hidráulico Sargento Lorentz Segunda Etapa, verificando:

- El equipamiento instalado, conexiones y materiales utilizados.
- El Funcionamiento de las bombas en todos los modos de operación del sistema y la aplicación de las lógicas de control a los grupos hidráulicos.
- Las lecturas de los medidores de energía, caudal, presión y nivel contrastando con los valores mostrados en panel HMI y SCADA.
- El funcionamiento de la lógica de seguridad de la estación.
- La lectura y edición de consignas mediante panel HMI.

- La lectura y edición de consignas mediante pantallas SCADA.
- La activación de alarmas.
- El correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones y activación de alarmas por pérdida de enlace de comunicaciones.

Se muestran algunas imágenes de la entrega del proyecto en las figuras 5.1 y 5.2.



FIGURA 5.1 Supervisión en la estación CRE-137A



FIGURA 5.2 Supervisión en la estación CP-7G

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La implementación del sistema automatizado para control del bombeo permite reducir la cantidad de personal técnico lo cual se ve reflejado en la reducción del costo operativo.
2. El control de presión en la tubería ayuda a minimizar el efecto de golpe de ariete, por ende ayuda a reducir el grosor de las tuberías.
3. El uso de PLCs permite implementar una lógica de control versátil a los cambios, al utilizar lógica programada y no lógica cableada.
4. El sistema automatizado integrado mediante una red de comunicaciones permite enviar toda la data de monitoreo, control y ocurrencia de alarmas al sistema de supervisión y principalmente permite el control de los dispositivos a distancia.
5. La programación remota es una característica fundamental que deben de poseer los PLCs al implementar sistemas con distribución geográfica amplia y que cuentan con una red de interconexión, para poder modificar la lógica de control sin necesidad de ir hasta su ubicación.
6. El hecho de implementar una infraestructura propia para el sistema de comunicación local, nos independiza de pagar tarifas periódicas, ancho de banda limitado y dependencia del servicio de un tercero, que a largo plazo puede ser costoso a pesar del aparente ahorro inicial.
7. La implementación de la lógica de alternancia de bombas por tiempo de trabajo permite uniformizar el desgaste de los equipos y programar su mantenimiento.
8. Antes de implementar el sistema de control en campo, es necesario realizar las pruebas de comunicaciones entre PLCs y paneles operador, y probar las lógicas de control utilizando las herramientas de simulación de los PLCs.

9. Se recomienda en futuras implementaciones utilizar paneles operador con comunicación Ethernet para interconectarlos a la red de PLCs.
10. Se debe realizar mantenimiento preventivo de los PLCs, sensores, válvulas de control eléctricas, arrancadores electrónicos y las bombas, para asegurar que el sistema funcione correctamente.
11. Se debe realizar mantenimiento a las antenas y monitoreo programado de los enlaces, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones, siendo la red de comunicación local la columna vertebral del sistema automático Sargento Lorentz Segunda Etapa.
12. Se debe realizar conexión a tierra de los equipos de control como medida de protección contra fenómenos eléctricos que se presentan o inducen.
13. Se debe tener en cuenta las características de los puertos de comunicación Modbus RS485 presentadas por el fabricante de los equipos, antes de implementarse en campo para evitar problemas de funcionamiento.

ANEXO A
EQUIPAMIENTO UTILIZADO PARA EL PROYECTO

1. Equipamiento del SCL

Las radios WinLink 1000 de la marca Radwin están conformados por los equipos:

- ODU (Outdoor Unit) unidad de uso exterior con una antena tipo panel integrada, la cual cuenta con una ganancia de 22dBi para poder asegurar un enlace a una distancia de 20km máximos con 2Mbps (dúplex).
- IDU (Indoor terminal Unit) unidad terminal para uso interior, el cual es un dispositivo PoE (Power over Ethernet) potencia sobre Ethernet, suministra potencia sobre el mismo par de cables trenzados CAT5e que transporta el tráfico Ethernet al ODU. Funciona con alimentación 220Vac.

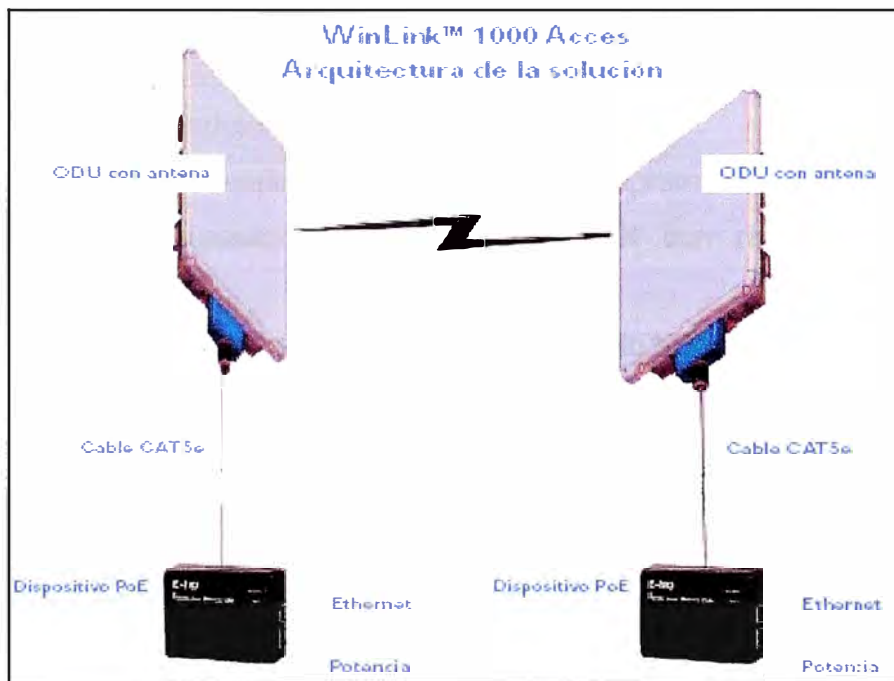


FIGURA A.1 Arquitectura de solución Winlink 1000 Acces

El Switch Ethernet usado es el modelo 499NES25100, no administrable, el cual cuenta con 5 puertos Ethernet tipo RJ45 10/100 Base-TX, bajo normas industriales IP20. Funciona con alimentación en 24Vdc. Figura A.2.



FIGURA A.2 Switch 499NES25100

2. Equipamiento en tablero de control

2.1. Controlador Lógico Programable Twido

Es un controlador de la marca Telemecanique, diseñado para soluciones “Todo en uno”.

2.1.1. Procesador TWDLCAE40DRF

Es un procesador tipo compacto que dispone de 40 Entradas/salidas discretas integradas y características son:

- Voltaje de alimentación en 220Vac, 60hz.
- 24 entradas digitales a 24Vdc para lógica positiva o negativa, y cuenta con una fuente de 24Vdc para alimentar a las entradas digitales.
- 14 salidas digitales tipo Relé a 2Amperios y 2 salidas digitales tipo transistor a 1Amperio.
- Reloj en tiempo real incluido (RTC).
- Slot para batería como respaldo de la memoria de programa.
- 1 Puerto para comunicación Ethernet 100BaseTX con protocolo Modbus/TCP, conector RJ45.
- 1 Puerto de comunicación serial RS-485, con protocolo Modbus RTU.
- 1 puerto disponible para expansión de comunicaciones RS485 o RS232.
- Puede incorporarse hasta 7 módulos de E/S adicionales.
- Su diagrama de conexiones se muestra en las figuras A.5 y A.6.

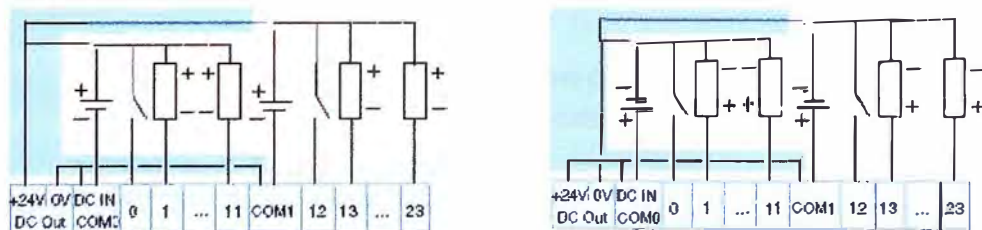


FIGURA A.3 Entradas digitales en lógica positiva (izq.) y negativa (der.)

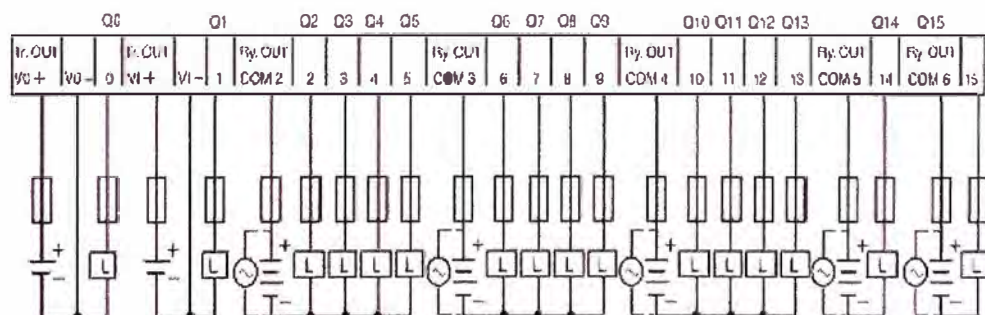
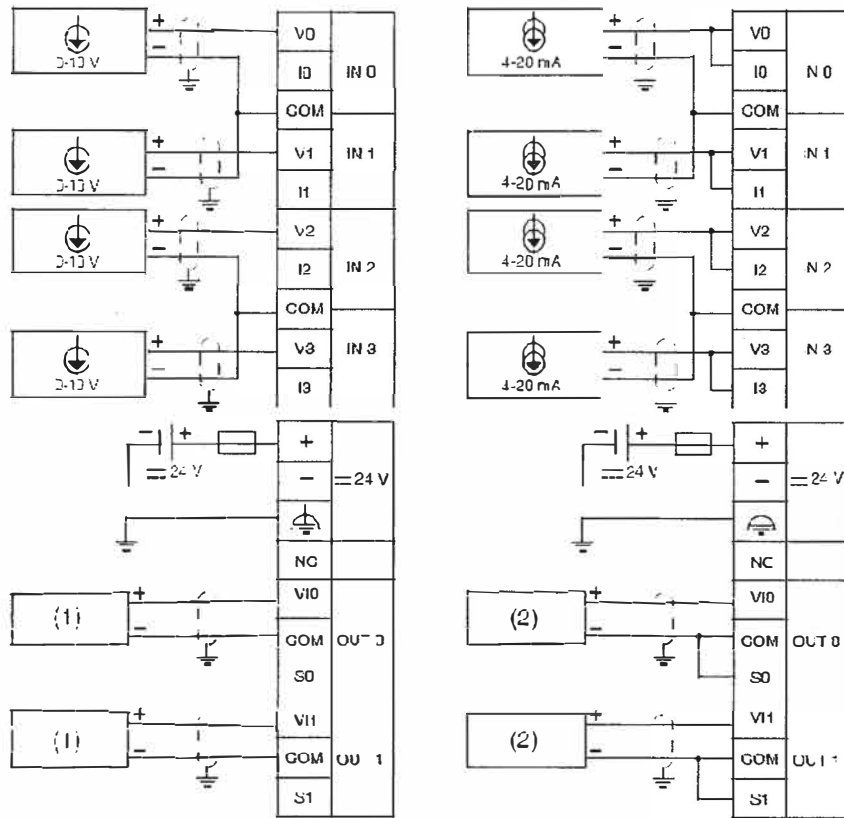


FIGURA A.4 Salidas digitales TWDLCAE40DRF

2.1.2. Modulo TWDAMM6HT

Es un modulo de expansión analógico para procesadores Twido de la marca Telemecanique, dotado con 4 entradas analógicas y 2 Salidas analógicas configurables para trabajo con señales de 0-10V y 4-20mA configurables desde el software TwidoSuite.

Su diagrama de conexión se muestra en la figura A.5:



(1) Pre-actuador de voltaje (2) Pre-actuador de corriente
FIGURA A.5 Diagrama de conexiones TWDAMM6HT

2.1.3. Caja de Conexión TSXPACC01

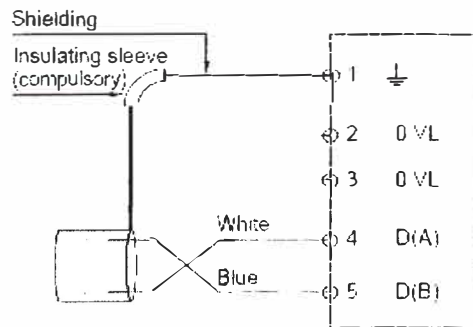


FIGURA A.6 Diagrama de conexión TSXPACC01

Esta caja es necesaria para conectar el PLC a un enlace RS-485 Modbus cuando la distancia entre los equipos es superior a los 10 metros, permitiendo una conexión de hasta 1000m. Su diagrama de conexión para comunicación RS485 Modbus a dos hilos se muestra en la figura A.6

2.2. Controlador Lógico Programable M340

Es un PLC de estructura modular con arquitectura en Rack para montaje en tablero, posee tecnología Hot-Swap característica de que todos los módulos de expansión para E/S y comunicación (excepto la fuente de alimentación y la CPU) se pueden quitar y poner en tensión con la CPU en RUN (funcionamiento).

El hardware utilizado para Sargento Lorentz con el PLC M340 incluye los siguientes componentes:

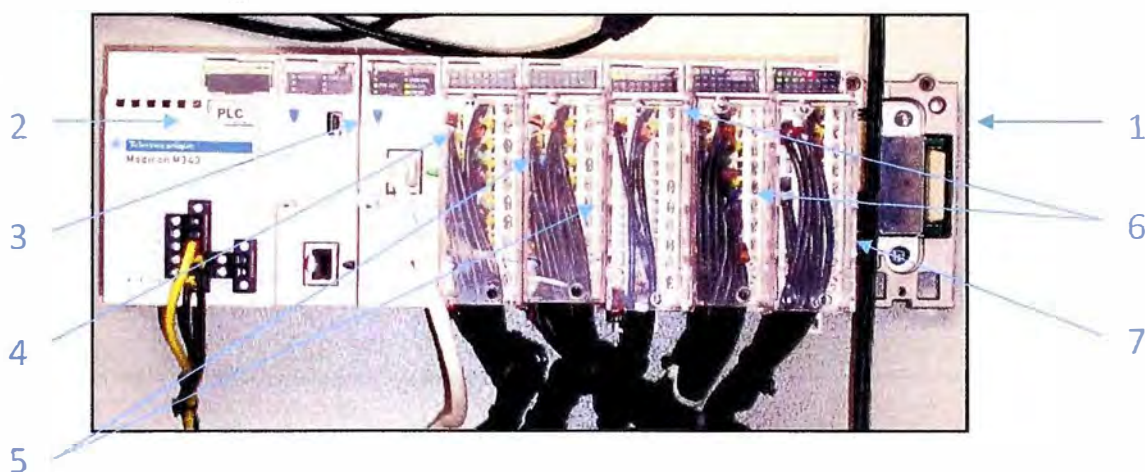


FIGURA A.7 Componentes M340

- (1) Chasis o Rack de 12 Slots BMXXBP1200 u 8 en algunas estaciones BMXXBP0800.
- (2) Fuente para PLC de 20W BMXCPS2000 o de 36W BMXCPS3500.
- (3) Procesador M340 estándar BMXP341000.
- (4) Modulo de Comunicación Ethernet BMXNOE0100.
- (5) Modulo de entradas digitales BMXDDI1602.
- (6) Modulo de salidas digitales BMXDRA1605.
- (7) Modulo de entradas analógicas BMXAMI0410.

2.2.1. Procesador BMXP341000

Es el procesador estándar de la plataforma de automatización M340. Está diseñado para controlar módulos de entradas/salidas discretas, módulos de

entradas/salidas analógicas, módulos de aplicaciones específicas (contaje y de comunicación Ethernet) y cuenta con un puerto para comunicación serial.

Se puede ver en la tabla A.1 las características y diferencias con los otros tres modelos de procesadores disponibles para la plataforma M340.

TABLA A.1 Comparativo procesadores M340

Referencia:	BMX P34 1000	BMX P34 2010	BMX P34 2020	BMX P34 2030
Descripción	Puerto terminal USB Slot tarjeta memoria Un puerto com : - Serie	Puerto terminal USB Slot tarjeta memoria Dos puertos com : - Serie - CANopen	Puerto terminal USB Slot tarjeta memoria Dos puertos com : - Serie - Ethernet	Puerto terminal USB Slot tarjeta memoria Dos puertos com : -CANopen -Ethernet
Número de E/S TON en rack	512	1024, 704 en configuración monorack (64 E / S × 11)		
Número de E/S Analógicas en rack	128, 66 en configuración monorack (4 E / 2 S × 11)	256, 66 en configuración monorack (4 E / 2 S × 11)		
Vías de contaje	20		36	
Memoria aplicación	2 Mb		4 Mb	
Datos de usuario	128 Kb		256 Kb	

El puerto de comunicaciones serial integrado se muestra en la figura A.13.

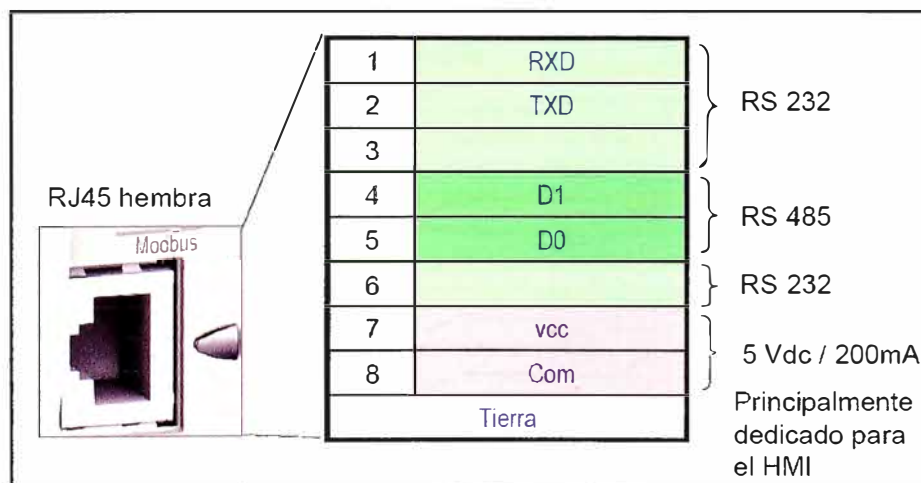


FIGURA A.8 Puerto serie BMXP341000

2.2.2. Modulo BMXNOE0100

Es un modulo para comunicación Ethernet 10Base-T/100Base-TX, bajo el protocolo Modbus/TCP, permitiendo la utilización de mensajería Modbus para poder

realizar funciones de comunicación y adicionalmente posee servicios avanzados de comunicación Ethernet TCP/IP como es el I/O Scanning, razón por la cual se prefirió el uso de este modulo en cambio de usar un procesador M340 con el puerto integrado de Ethernet.

El I/O Scanning permite realizar las funciones de comunicación en Ethernet sin que el procesador gaste instrucciones de memoria en realizarlo, es decir la función de comunicación y el procesamiento que este implica es realizado por el modulo BMXNOE0100, liberando al procesador BMXP341000 de esta carga y permitiendo enfocar toda su capacidad en procesar su lógica de control. Figura A.9.



FIGURA A.9 Modulo BMXNOE0100

2.2.3. Modulo BMXDDI1602

Es un modulo para PLC M340, que provee de 16 entradas digitales a 24Vdc de lógica positiva. Posee el diagrama de conexión mostrado en la figura A.10.

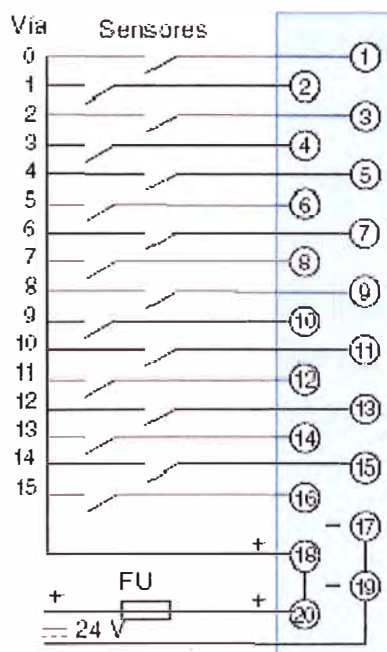


FIGURA A.10 Diagrama de conexión BMXDDI1602

2.2.4. Modulo BMXDRA1605

Es un modulo para PLC M340, que provee de 16 salidas digitales tipo relé a 2A, para aplicación de tensión 220Vac o 24Vdc. Posee el diagrama de conexión mostrado en la figura A.11.

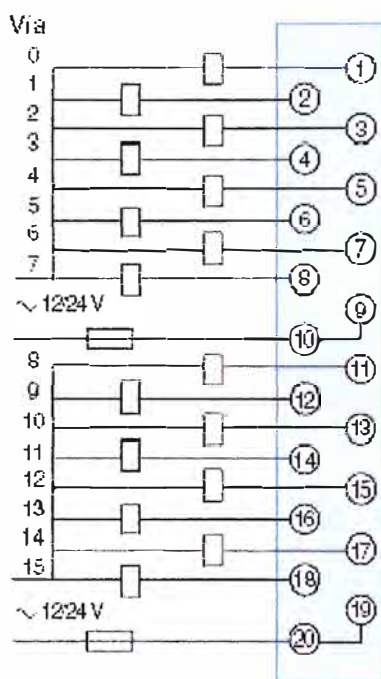


FIGURA A.11 Diagrama de conexión BMXDRA1605

2.2.5. Modulo BMXAMI0410

Es un módulo analógico PLC M340 de altas prestaciones con 4 entradas aisladas de 16 bits, posee protección IP20, ofrece para cada una de las entradas los rangos:

- De tensión de ± 10 V, ± 5 V, $0 \dots 10$ V, $0 \dots 5$ V y $1 \dots 5$ V.
- De corriente de $0 \dots 20$ mA, $4 \dots 20$ mA y ± 20 mA, según la elección realizada mediante la configuración.

El módulo funciona con entradas de tensión. Integra cuatro resistencias para la lectura de las entradas de corriente conectadas a nivel del bornero. Posee el diagrama de conexión mostrado en la figura A.12 y se puede distinguir lo siguiente:

- **IUx** entrada de polo + para el canal x
- **COMx** entrada de polo - para el canal x
- **IIx** entrada + de la resistencia de lectura actual
- **Canal 0** sensor de tensión
- **Canal 1** sensor de corriente de 2 conductores

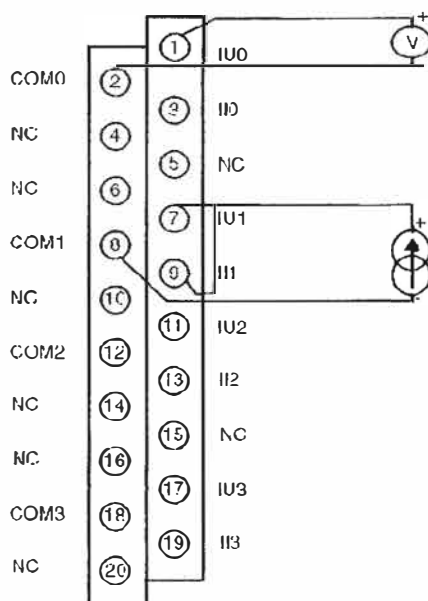


FIGURA A.12 Diagrama de conexión BMXAMI0410

2.2.6. Repartidor Modbus LU9GC3

Repartidor o Spliter, es una caja de interconexión para comunicación Modbus RS-485, con grado de protección IP20, el cual dispone de 10 puertos con conectores tipo RJ45 y un bornero con tornillos. Posee el diagrama de conexión interna mostrado en la figura A.13.

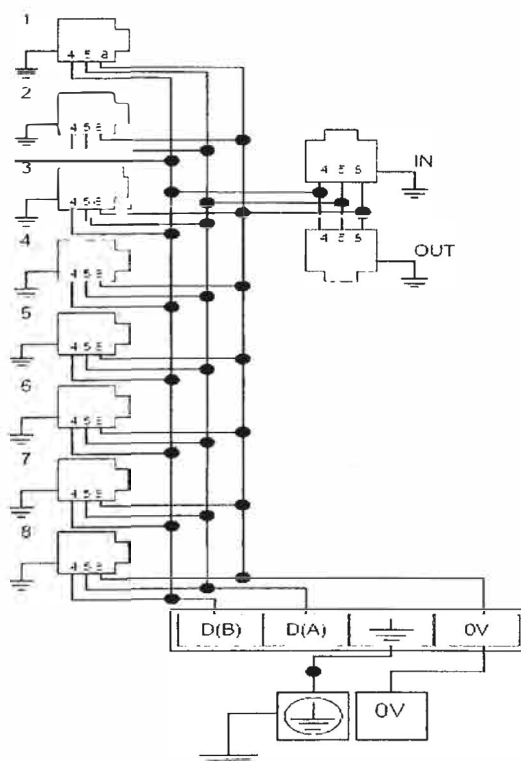


FIGURA A.13 Diagrama de conexión interno LU9GC3

2.2.7. Pasarela Ethernet TSXETG100

La pasarela o "Gateway" TSX ETG 100, proporciona un medio simple y de bajo coste para la integración de cualquier dispositivo serie Modbus RS485 existente a una red Ethernet TCP/IP. En la figura A.14 se puede ver un ejemplo de conexión de una red Modbus a dos hilos.

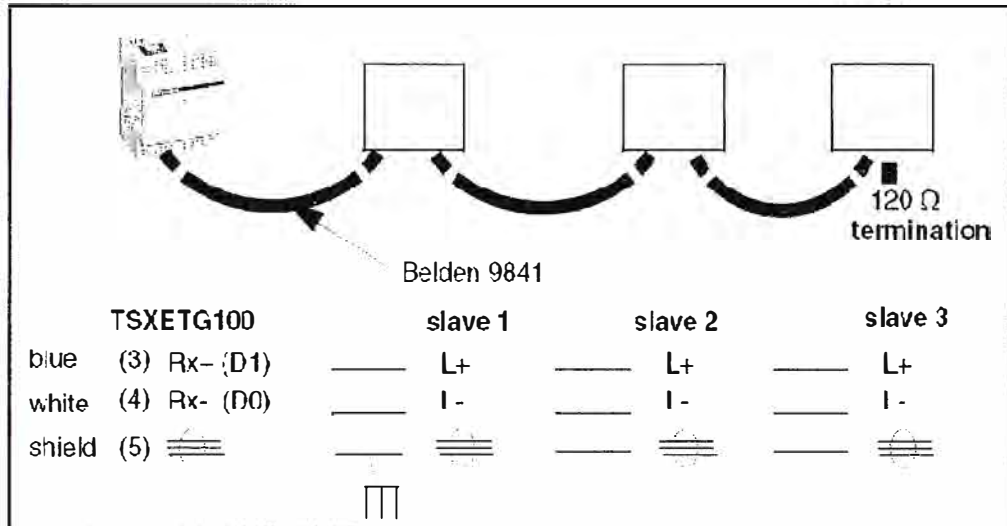


FIGURA A.14 Diagrama conexión TSXETG100 Modbus dos hilos

2.3. Panel Operador XBT RT500

EL XBT RT500 es un panel operador semi-gráfico de la marca Telemecanique, perteneciente a la serie Magelis, cuenta con un pantalla LCD de 10 líneas con retro iluminación color verde, 12 teclas, y con un puerto de comunicación serial con los protocolos Modbus y Uni-Te. Algunas de sus características adicionales son:

- Este panel no necesita alimentación externa, la obtiene del mismo puerto de comunicaciones a 5Vdc.
- Se programa mediante el software Vijeo Designer Lite (en Windows 2000 y XP).
- Es compatible con los PLCs Twido, Nano, TSX Micro, Premium y Modicon M340.
- Puede ser configurado para comando por pantalla táctil o por teclado.
- Grado de protección IP65

2.4. UPS Eaton PowerWare 9120

El UPS gracias a su batería, puede proporcionar energía tras un corte en el fluido eléctrico a todos los dispositivos existentes en la red eléctrica así como también mantener el voltaje regulado.

Adicionalmente se agregó una tarjeta de interface para salidas tipo relés, para enviar señales al PLC sobre el estado del UPS, a través de un conector sub-D de 15pines, cuyas señales son las mostradas en la figura A.15.

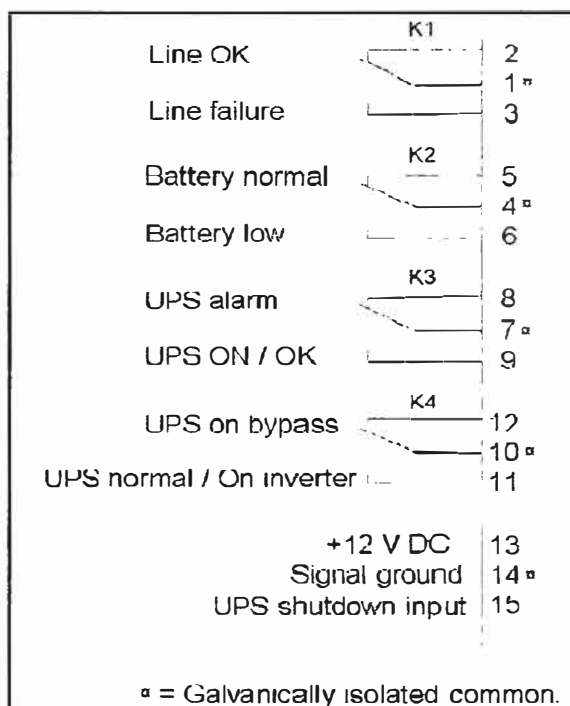


FIGURA A.15 Salidas UPS

3. Equipamiento en tablero de Fuerza

3.1. Relé RM4TR32



FIGURA A.16 Relé RM4TR32

Es un relé marca Telemecanique perteneciente a la familia de relés Zelio Logic para monitoreo trifásico de sobre voltaje, sub voltaje y pérdida de cualquier fase en tensiones de 380-500Vac, el cual comanda dos salidas tipo relé NANC con opciones de

retardo de conexión y desconexión 0.1 a 10s. El diagrama de conexión se muestra en la figura A.17.

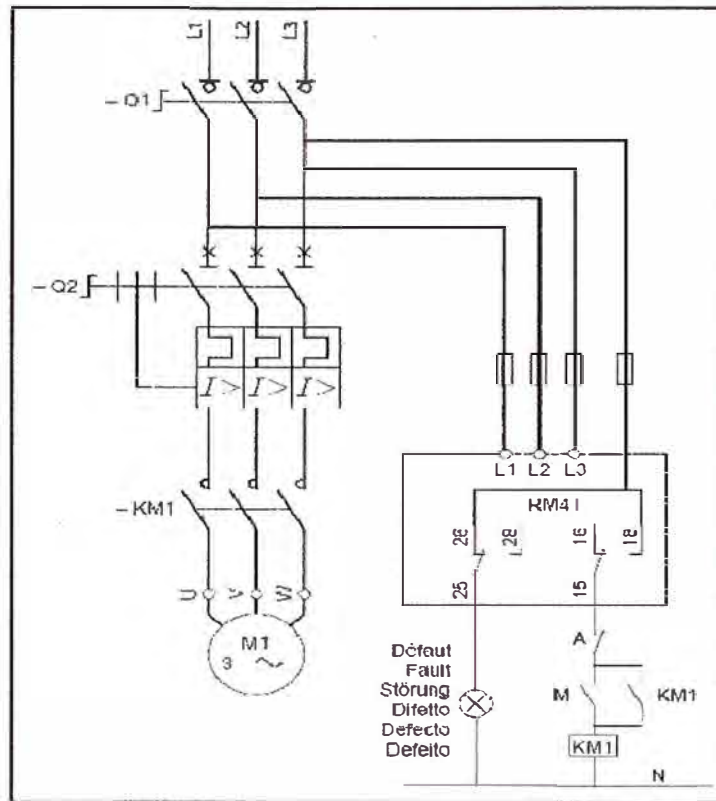


FIGURA A.17 Diagrama de conexión típico RM4TR32

3.2. Medidor de Energía PM710

TABLA A.2 Mediciones PM710

Valores instantáneos eficaces	
Intensidad	Por fase, neutro, media trifásica
Tensión	Media trifásica, L-L y L-N
Frecuencia	De 45 a 65 Hz
Potencia activa	Total y por fase (absoluta) ⁺
Potencia reactiva	Total y por fase (absoluta) ⁺
Potencia aparente	Total y por fase
Factor de potencia	Total (absoluto) de 0,000 a 1
Valores de energía	
Energía activa (total)	De 0 a $1,84 \times 10^{18}$ Wh (absoluta) ⁺
Energía reactiva (total)	De 0 a $1,84 \times 10^{18}$ VARh (absoluta) ⁺
Energía aparente (total)	De 0 a $1,84 \times 10^{18}$ VAh
Tiempo de funcionamiento	Hasta 32.767 horas y 59 minutos
Valores de demanda	
Intensidad	Por fase (térmica)
Potencia activa, reactiva y aparente	Total (bloque deslizante, bloque basculante o bloque)

El PM710 es un analizador de redes eléctricas de la marca Merlin Gerin, para monitoreo y control de la información de los parámetros eléctricos mostrados en la tabla A.2.

Teniendo una precisión en las mediciones de:

- Tensión y corrientes de +/- 0.5%
- Energía y potencia de +/- 1%
- Periodo de actualización de datos 1seg.
- Tensión Control auxiliar: 220 VAC, 60Hz.

Trae un puerto de comunicación integrado RS-485 (Modbus RTU a 19.2kbps). En la figura A.18 se muestra el diagrama de comunicaciones.

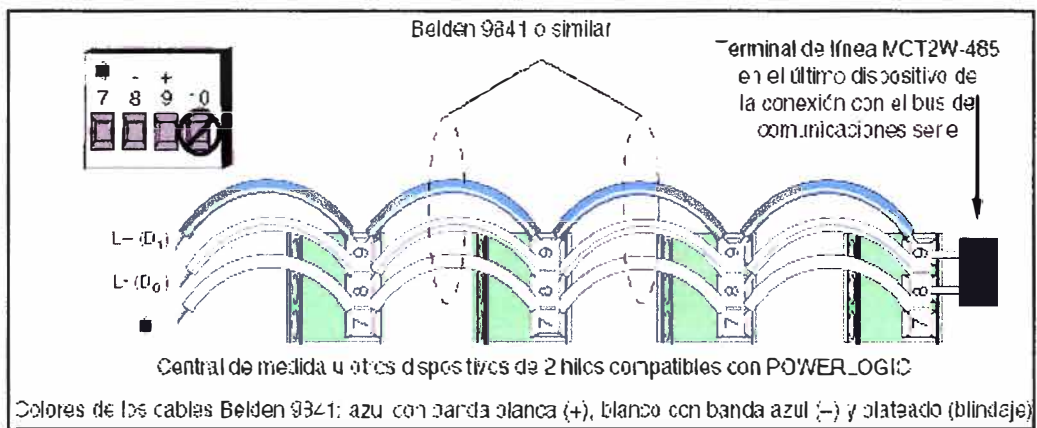


FIGURA A.18 Bus Modbus con PM710

El medidor PM710 dispone del siguiente diagrama de conexión típico utilizando 3 transformadores de corriente, figura A.19.

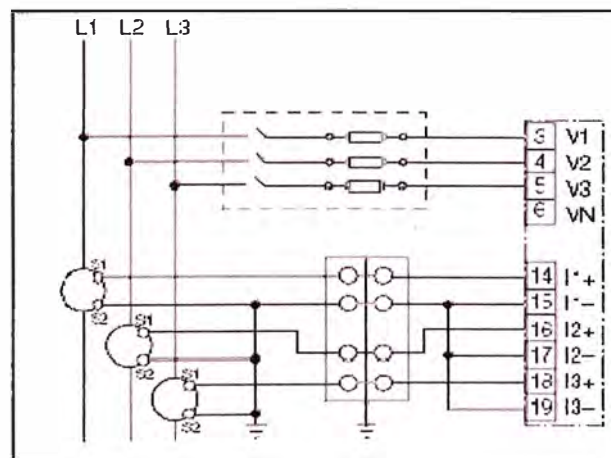


FIGURA A.19 Conexión típica PM710

4. Sensores

4.1. Caudalímetro MagX1

El MagX1 es un caudalímetro electromagnético de la marca Arkon. Presenta las siguientes características:

- Precisión – 0.25 % (para velocidades entre 0.5 y 10 m/s) del valor medido.
- Protección del sensor de IP67 (compacto) o IP68 (remoto).
- Unidad de alimentación universal 90-250VAC +/- 10%, 50-60Hz.
- Puerto de comunicaciones RS485 Modbus. Se muestra el detalle de conexión de comunicación en la figura A.20.

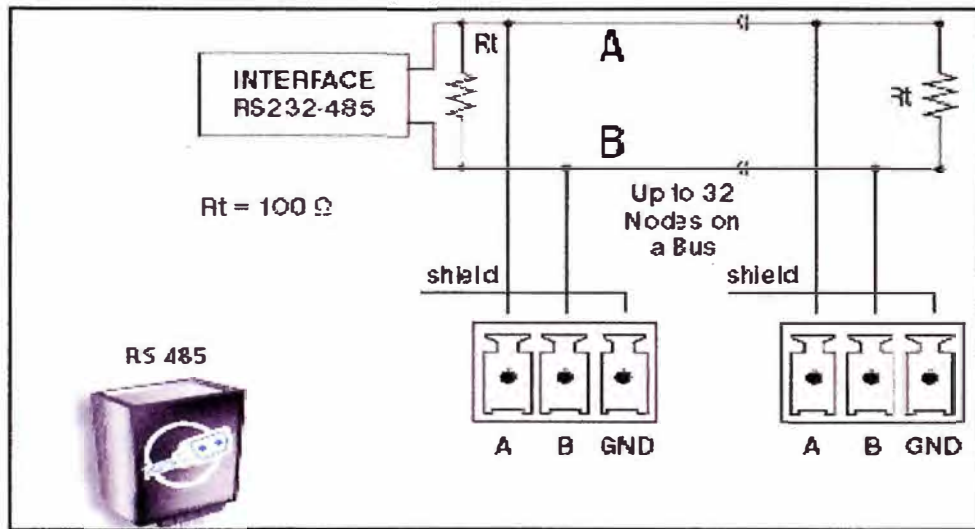


FIGURA A.20 Conexión Modbus MagX1

4.2. Sensor Ultrasonido Shuttle

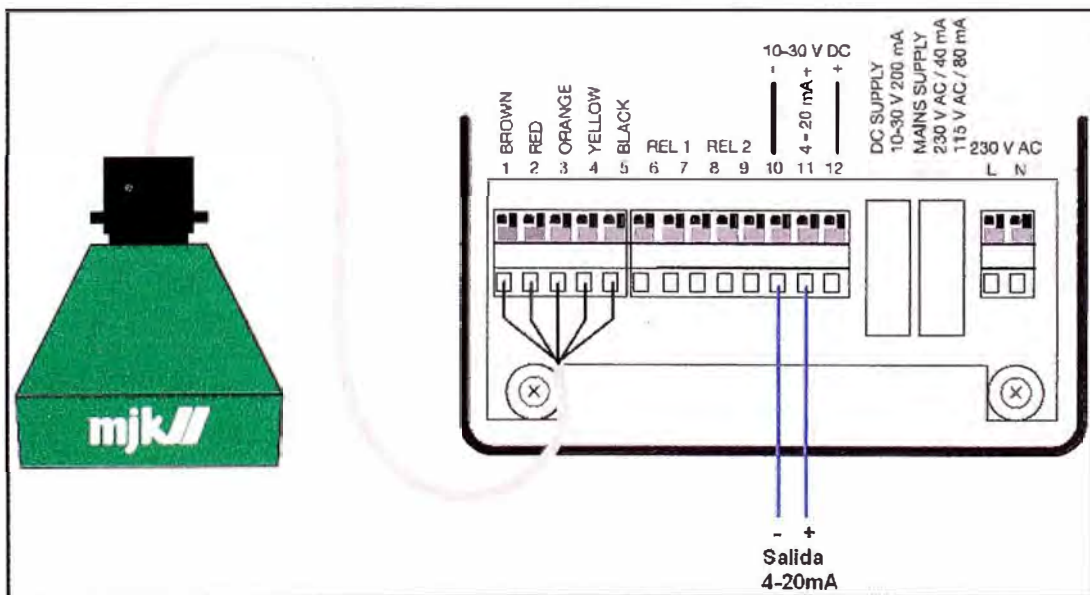


FIGURA A.21 Diagrama de conexión Shuttle

El medidor Shuttle es un transmisor de nivel de la marca MJK, para medición en tanques de agua basado en la medición por ultrasonido. Se presenta el diagrama de conexión en la figura A.21, con las características:

- 2 salidas de relé
- Salida 4-20mA que aumenta o disminuye con el nivel con cero y span ajustable.
- Indicación de la intensidad del eco mediante una barra gráfica en pantalla.
- Alimentación 10 - 30 V DC ó 230 / 115 V AC.
- Protección IP65 para el transmisor e IP68 para el sensor.
- Medición de nivel hasta 15m en fluidos.

4.3. Transmisor de Presión MBS33

El MBS33 es un transmisor de presión la marca Danfoss, para aplicaciones industriales generales y ofrecen una medición de presión fiable. En la figura A.22 se puede ver su diagrama de conexión.

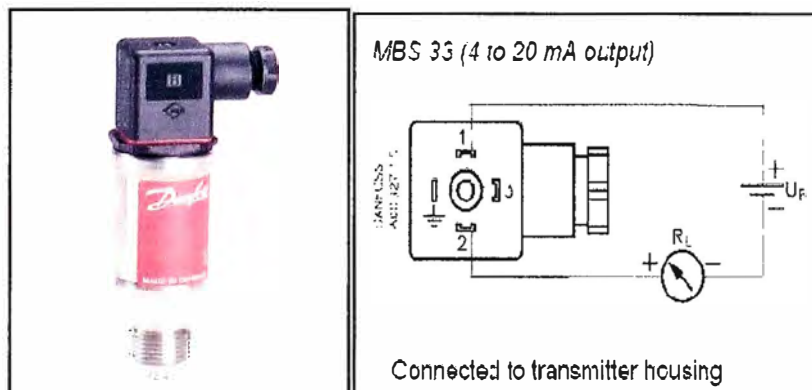


FIGURA A.22 Sensor MBS33 Danfoss

Características del MBS33:

- Señal de salida de 4 a 20mA.
- Voltaje del lazo de corriente 10 a 30Vdc.
- Tiempo de respuesta (10 a 90%) menor a 4ms.
- Precisión +/- 0.3%
- Temperatura de funcionamiento de -40 a 85° C.
- Rango de medición de 0 a 600 bares.
- Gran variedad de conexiones de presión disponibles.
- Apto para su uso en entornos industriales con condiciones de trabajo adversas.
- Encerramiento para versión Plug es IP65.

4.4. Relé RM4LG01M

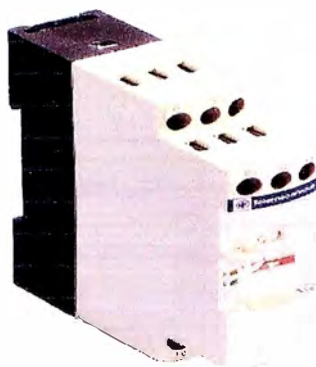


FIGURA A.23 Relé RM4LG01M

El RM4LG01M, figura A.23, es un relé de control para nivel de líquidos mediante electrodos o sondas, de la marca Telemecanique. Diagrama interno en la figura A.24.

Algunas de sus características:

- Posee un relé de salida tipo NANC
- Alimentación 220...240Vac, 50/60Hz.
- Líquidos compatibles:
 - Aguas de fuentes, de ciudad, industriales o saladas.
 - Soluciones de sales metálicas, ácidas o bases.
 - Abonos líquidos.
 - Alcohol no concentrado (< 40%).
 - Líquidos del sector agroalimentario: leche, cerveza, café, etc.
- Ajuste de la sensibilidad de respuesta (en % del rango máximo de ajuste).
- Conmutador de selección de función: \downarrow Vaciado o \uparrow Llenado.
- Fijación en riel DIN, dentro de tablero.

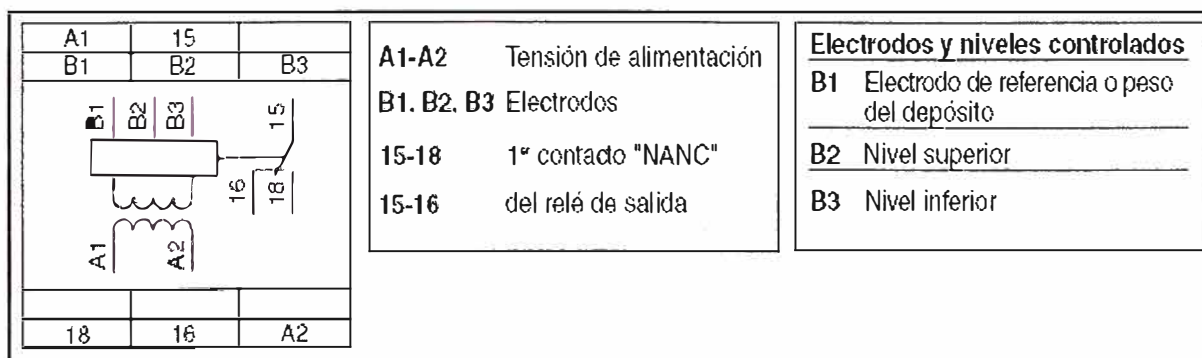


FIGURA A.24 Diagrama interno RM4LG01M

La sonda LA9 RM201, figura A.25, es de tipo "suspensión". Es coaxial, es decir, que además del electrodo normal (central), el panel de acero inoxidable puede desempeñar la función del electrodo de masa (referencia), lo que permite evitar tener que

instalar una sonda separada de referencia. Así, para controlar un nivel, será suficiente una única sonda en lugar de dos electrodos, y para 2 niveles, 2 sondas en lugar de 3 electrodos.

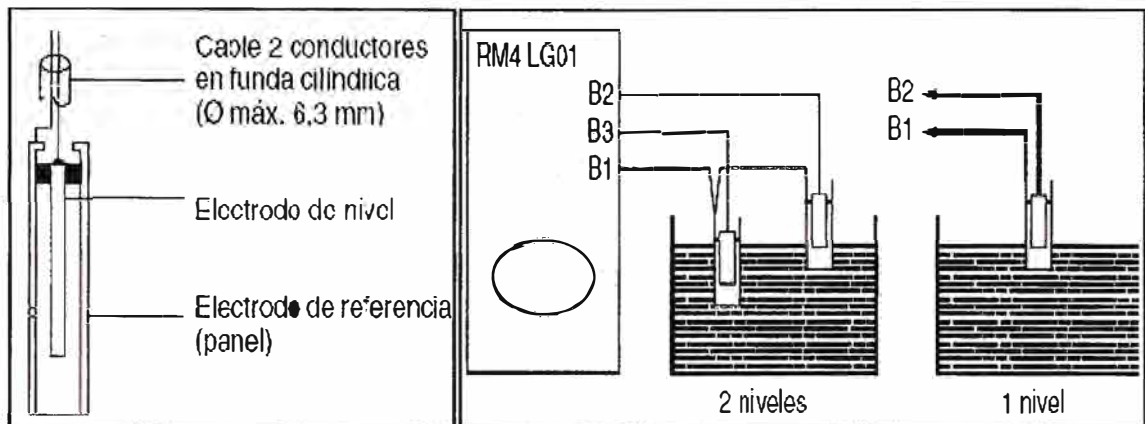


FIGURA A.25 Sonda LA9 RM201

4.5. Sensor PIR

PIR se basa en el detectar el espectro infrarrojo del cuerpo humano. El sensor capta las señales de calor generadas por el cuerpo humano en el área de detección, esta señal es ampliada y calculada, enviándola al sistema de alarma al cual se encuentra conectado, mediante el cambio de estado de un relé de salida. Figura A.26.



FIGURA A.26 PIR

Características:

- Alimentación de 12Vdc (9-16Vdc)
- Temperatura -10 a 50°C
- Tipo de sensor: PIR
- Instalación: montaje en muralla.
- Rango de detección: 12m
- Angulo de detección 110°
- Salida tipo relé NC

4.6. Sensor de inundación

Para detectar presencia de agua dentro de la sala de control, se utilizará el modulo de control de inundación WI-WB200, figura A.27, y el detector estándar WI-1040, figura A.28, de Winland.



FIGURA A.27 Modulo WI-WB200

El modulo WI-WB200 posee contactos N. O. (Normalmente abiertos) y puede colocarse hasta 6 sensores WI-1040 por módulo hasta una distancia de 30.5mts. Es sensitivo y no causará alarma debido a condensación o alta humedad. Para uso en salas de cómputo, almacenes, archivos, sótanos, etc.

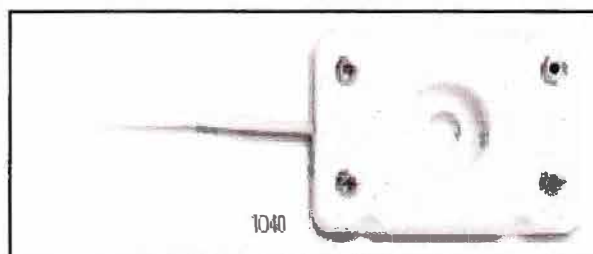


FIGURA A.28 Sensor WI-1040

ANEXO B
TABLEROS ELÉCTRICOS TÍPICOS

Para poder implementar el sistema de automatización, se suministra equipamiento eléctrico y electrónico los cuales residirán dentro de tableros eléctricos que serán provistos a cada estación del sistema de bombeo según el requerimiento de los planos eléctricos de potencia y de control. El tablero eléctrico es un envoltorio metálico diseñado para sostener y proteger al equipamiento suministrado, el cual es seleccionado tomando en consideración las características mecánicas (tamaño) y el requerimiento de grado de protección para el equipamiento. Figura B.1.

Se puede diferenciar dos tipos de estaciones según el equipamiento de los tableros:

- Estaciones de Bombeo CR-67A, CRP-1B, CRE-137A, RP4C, CP-5G, CP-7G, RE-3A, CP-1, RE-1A, RE-4, y RE-4B, las cuales contarán con los siguientes tableros:
 - Tablero general (TG)
 - Tablero de distribución (TD)
 - Tablero banco de condensadores (TBC)
 - Tablero de control y telemetría (TC)
- Estaciones Terminales: RP-6E, RE-7A, RE8A, RP-5G, RP-7C, RP7G, RP4A, RP-6A, RP-6B, RP3C y RP-3D, las cuales contarán con los siguientes tableros:
 - Tablero de control y telemetría (TC)
 - Tablero de distribución (TD)



FIGURA B.1 Tableros eléctricos

1 Planos eléctricos típicos

Para poder describir los tableros eléctricos se presentará algunos diagramas eléctricos típicos de los tableros.

En la figura B.2, se muestra el diagrama eléctrico típico del TG, donde Q1...Q7 son a interruptores termo-magnéticos, RMT es el relé de monitoreo de la tensión, KM1...KM4 son contactores tripolares, y AES1, AES2 son arrancadores electrónicos.

En la figura B.3, se muestra el diagrama eléctrico típico del TBC, donde Q1 y Q2 son a interruptores termo-magnético, KC1 y KC2 son contactores para banco de condensadores, BC1 y BC2 son los bancos de condensadores, RC1 y RC2 son temporizadores para activar los contactores KC1 y KC2 respectivamente.

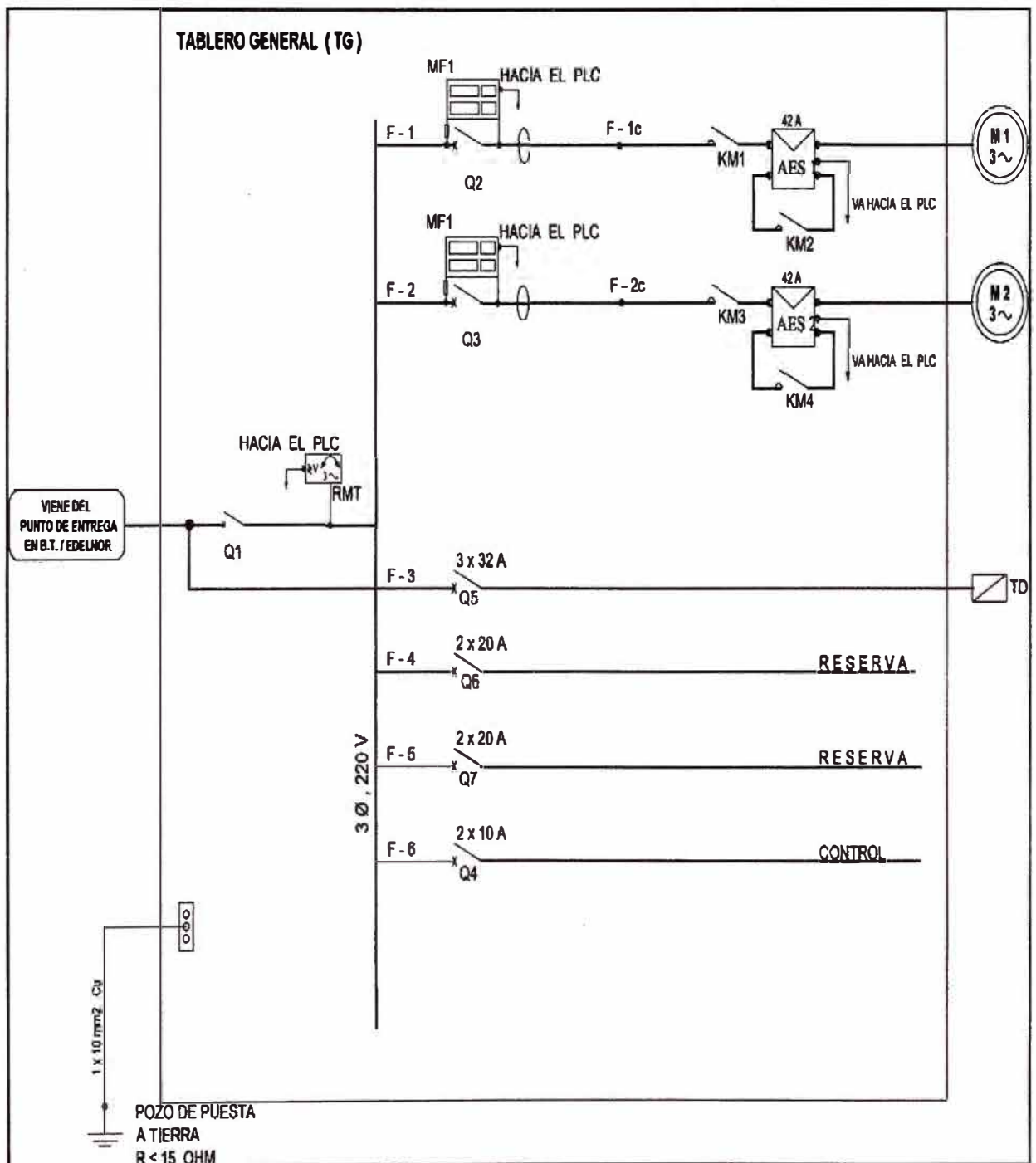


FIGURA B.2 Diagrama eléctrico típico TG

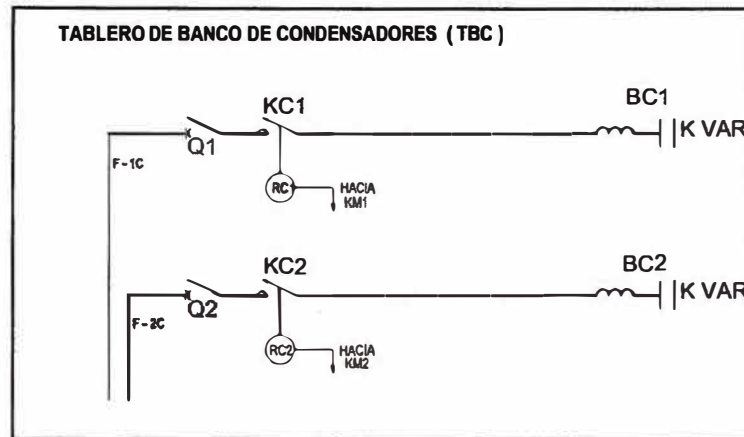


FIGURA B.3 Diagrama eléctrico típico TBC

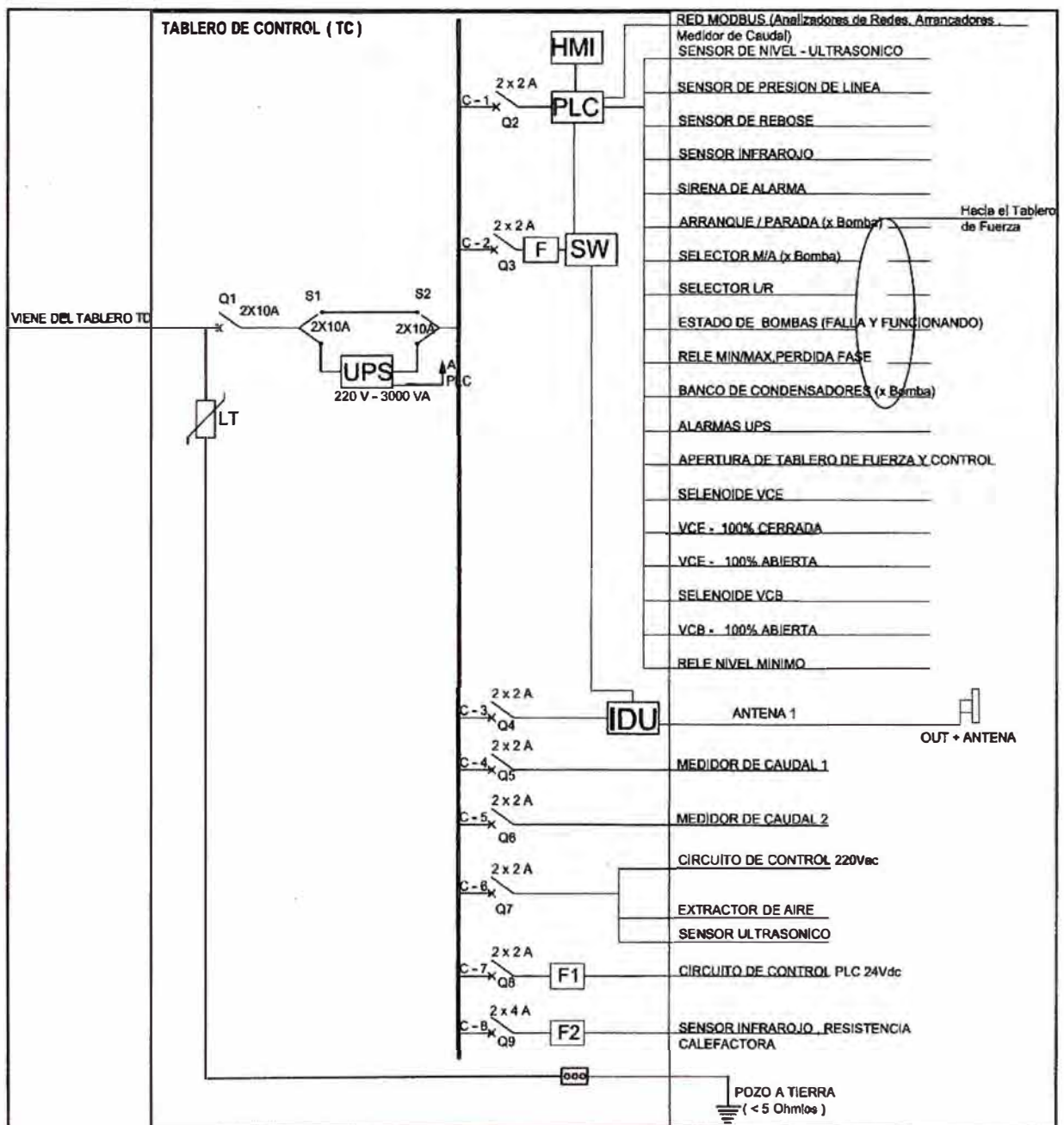


FIGURA B.4 Diagrama eléctrico típico TC

En la figura B.4, se muestra el diagrama eléctrico típico del TC, donde Q1...Q9 son interruptores termo-magnéticos, S1 y S2 son selectores que permiten desconectar el UPS del tablero de control para mantenimiento, F es una fuente de 24vdc para alimentar el switch Ethernet (SW), F1 es una fuente de 24vdc para utilizar en las señales de control con el PLC, F2 es una fuente de 12vdc para alimentar el PIR y la resistencia calefactora del tablero, y LT es un limitador de sobretensiones. También se puede apreciar todas las señales que se integran al PLC.

En la figura B.5, se muestra el diagrama eléctrico típico del TD, donde QG, Q1...Q5 son interruptores termo-magnéticos, KM3 es un contactor que es activado por H3 un temporizador horario para encender el alumbrado exterior de la estación. Este tablero alimenta al TC.

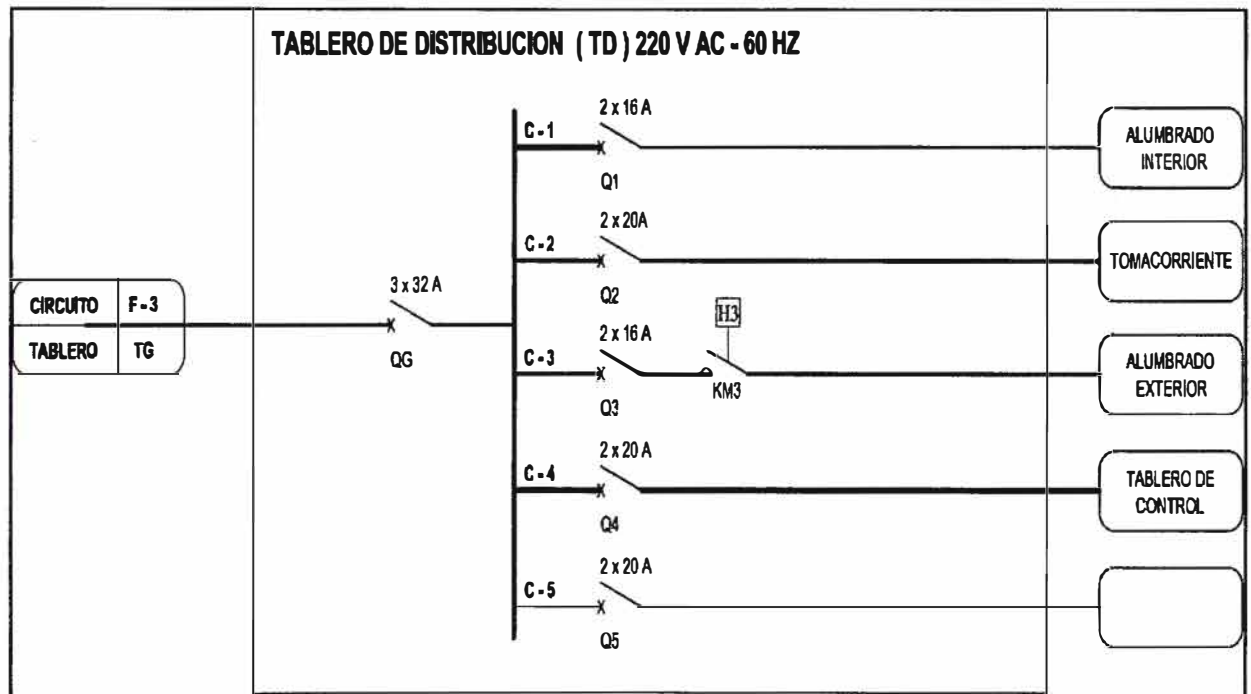


FIGURA B.5 Diagrama eléctrico típico TD

2 Tablero general (TG)

Tipo auto-soportado, será para uso interior, con grado de protección IP55 a prueba de polvo, goteo y salpicadura de agua, según Norma IEC 529. Está equipado principalmente con dispositivos para control de bombas, es decir circuito de mando del arrancador (1), medidores PM710 (2), interruptores de potencia (3), contactores (4) y arrancadores electrónicos (5). Figura B.6.

3 Tablero banco de condensadores (TBC)

Es del tipo mural para adosar en la pared, uso interior, fabricado con plancha de hierro LAF, con protección clase IP55. El tablero para banco de condensadores ayuda a

corregir el factor de potencia de las electrobombas, equipado con interruptores termomagnéticos (1), contactores especiales para condensadores (2), banco de condensadores (3) y temporizadores (4). Figura B.7.



FIGURA B.6 TG estación CRP1B



FIGURA B.7 TBC estación CP1

4 Tablero de control y telemetría (TC)

Tipo auto-soportado, uso interior, fabricado con plancha de fierro LAF, con protección clase IP55. El tablero de control residirá al controlador PLC (1), el panel operador (2), el Switch Ethernet (3), el UPS (4) y los IDU's de los radios Radwin (5) principalmente, además de contactores auxiliares y relés utilizados. Figura B.8.

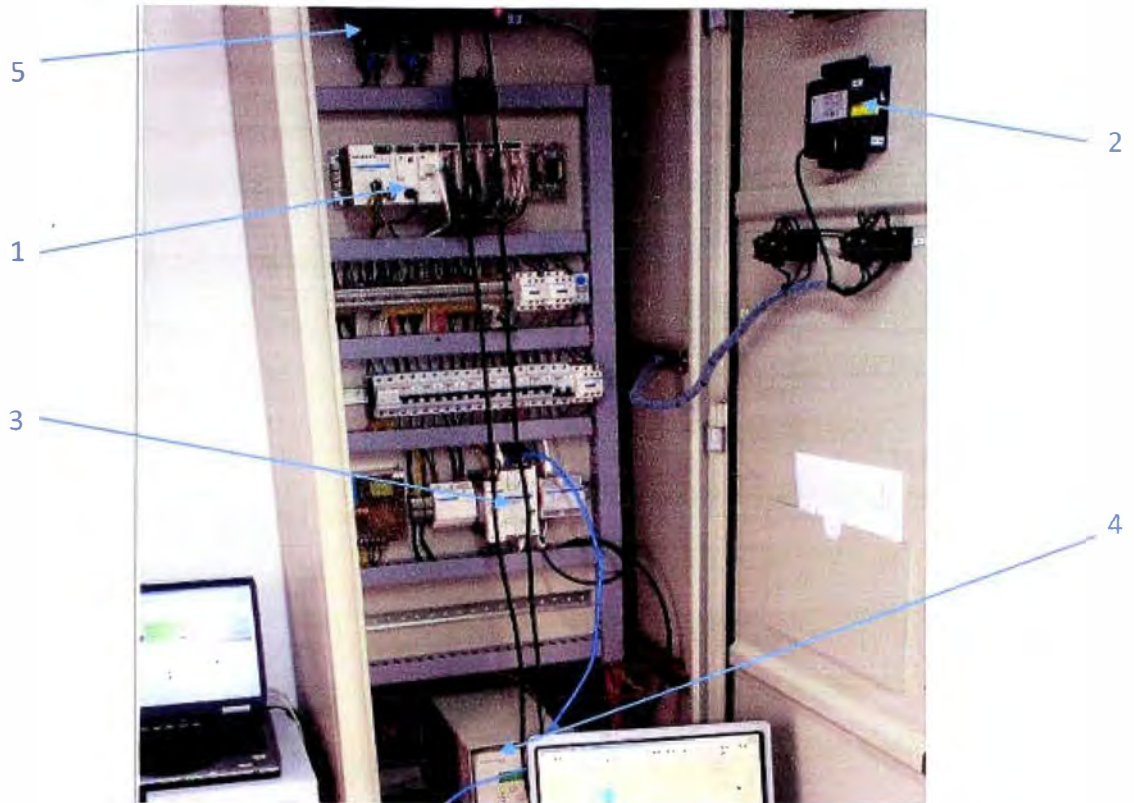


FIGURA B.8 TC estación CR67A

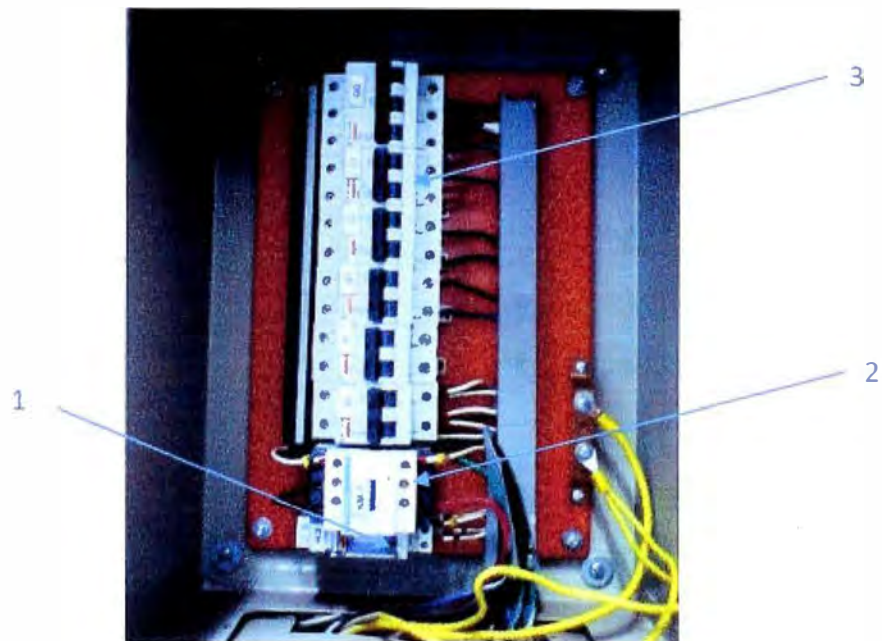


FIGURA B.9 TD estación RE3A

5 Tablero de distribución (TD)

Será del tipo mural para adosar en pared, uso interior, fabricado con plancha de hierro LAF, con protección clase IP55 a prueba de polvo, goteo y salpicadura de agua, según Norma IEC 529.

El tablero de distribución, es alimentado desde el tablero general (TG) y alimenta mediante interruptores termo-magnéticos (3) al tablero de control (TC), circuito de tomacorrientes de la estación, alumbrado interior y cuentan con un temporizador horario (1) y contactor (2) para activar el alumbrado exterior a partir de las 6pm. Figura B.9.

6 Planos de control típicos

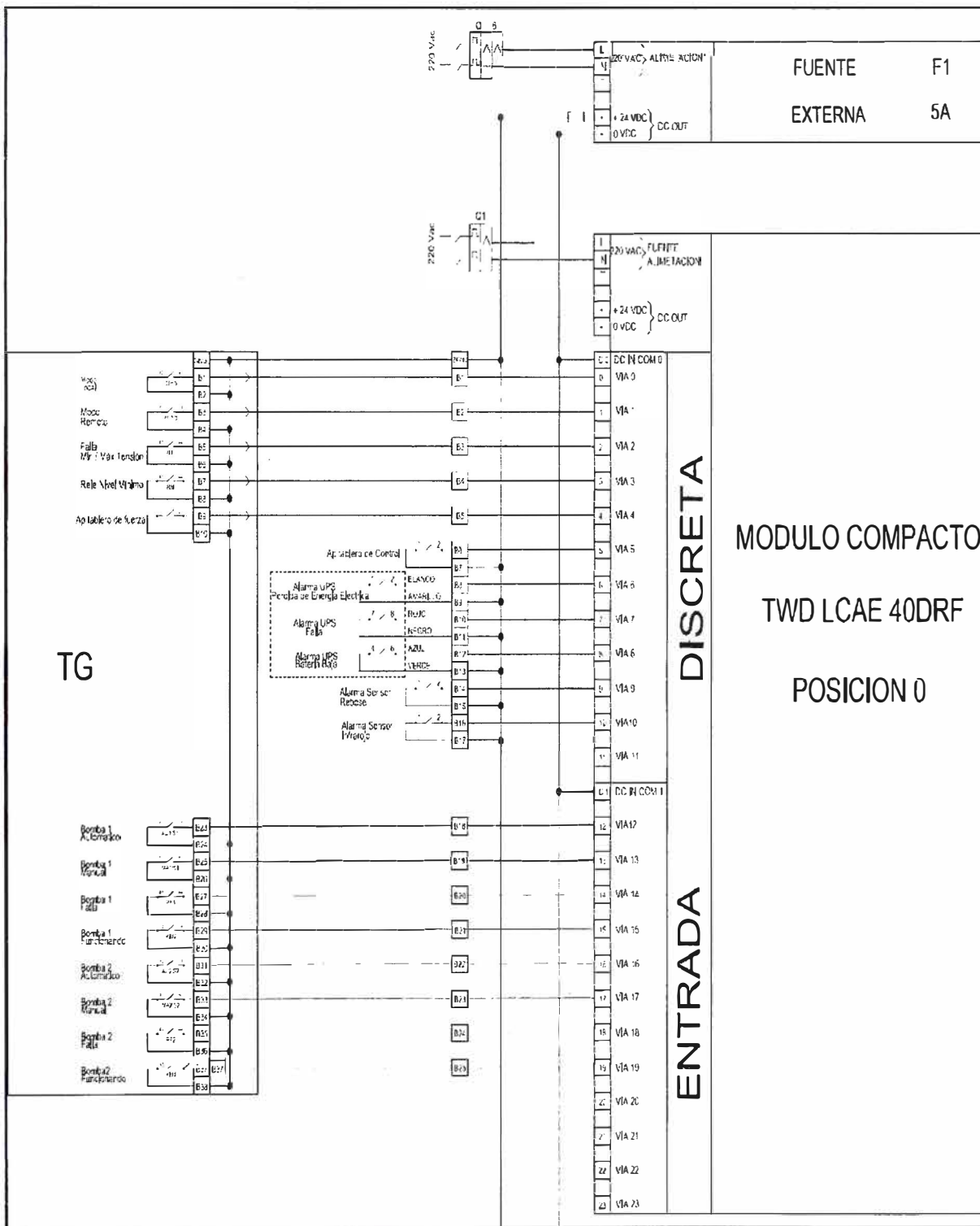


FIGURA B.10 Plano de control CP-5G – entradas del PLC (parte 1)

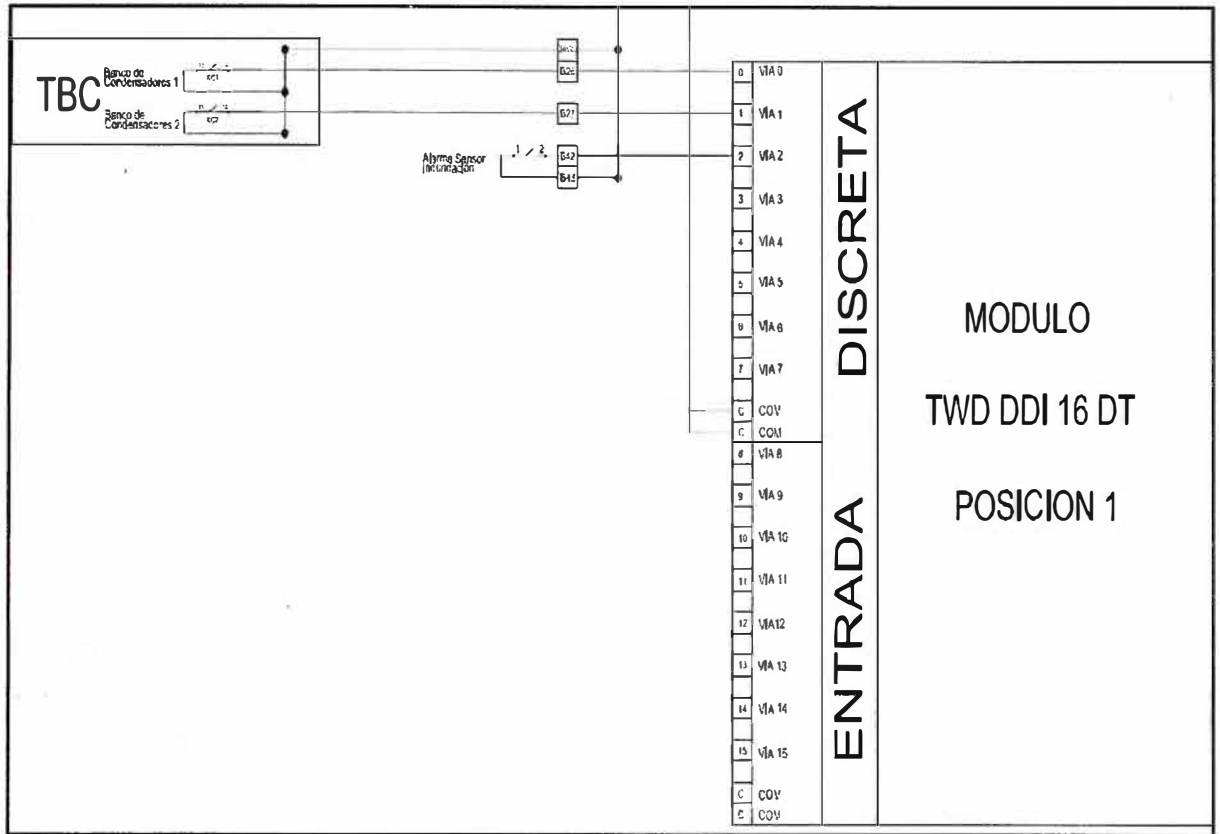


FIGURA B.11 Plano de control CP-5G – entradas del PLC (parte 2)

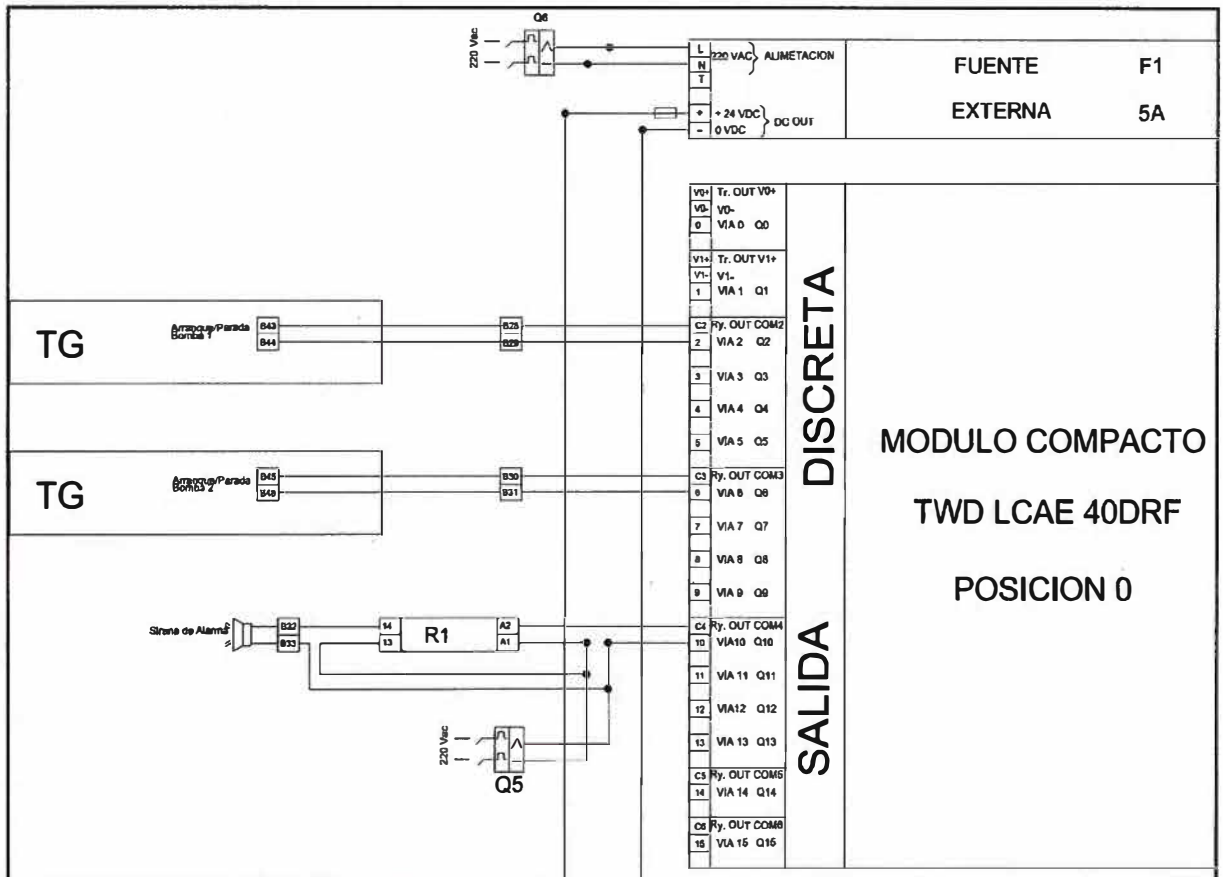


FIGURA B.12 Plano de control CP-5G – salidas del PLC (parte 1)

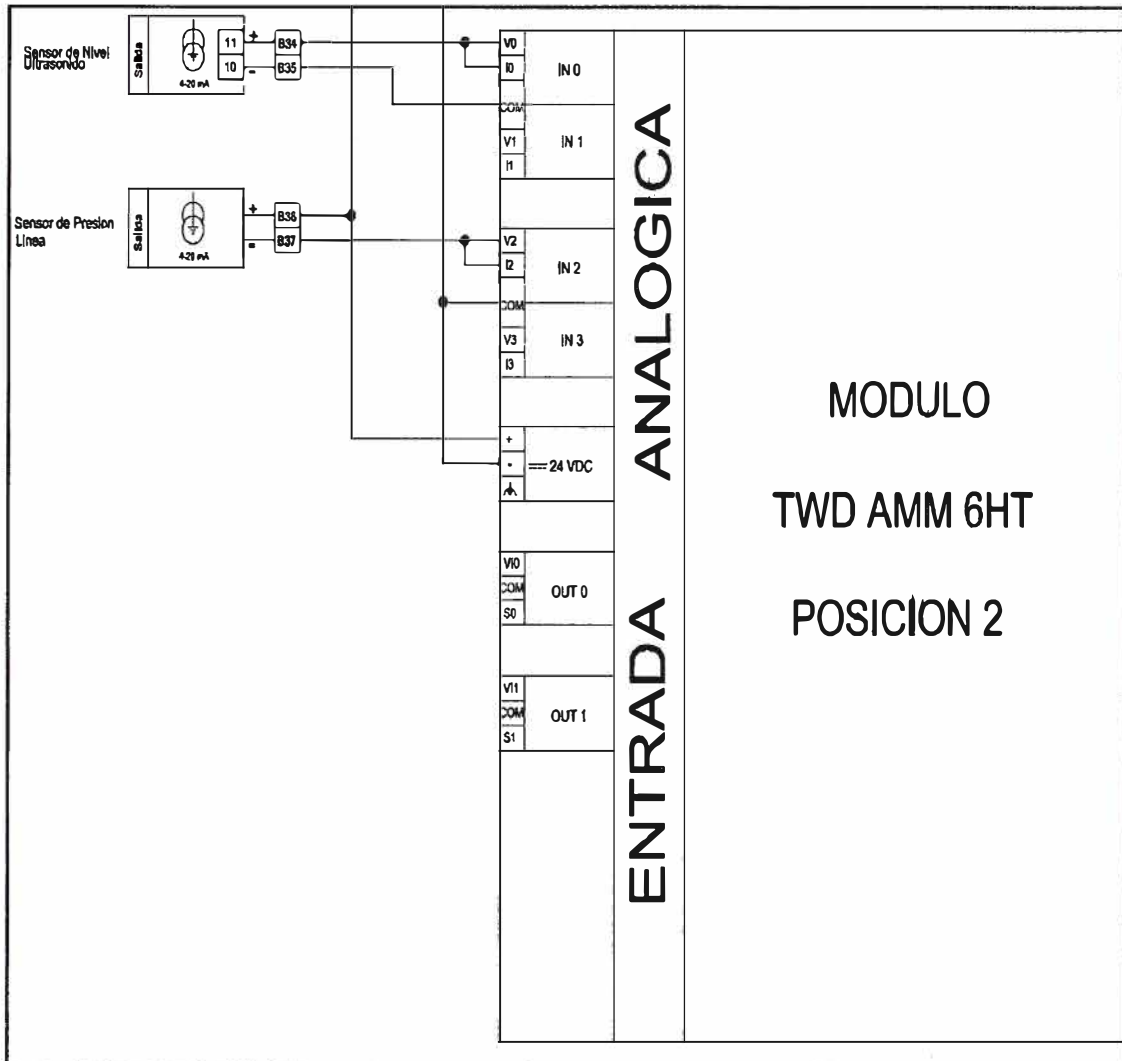


FIGURA B.13 Plano de control CP-5G – salidas del PLC (parte 2)

ANEXO C
SEÑALES DE LOS CONTROLADORES DEL GH09

Se presenta en las tablas C.1, C.2 y C.3 las señales que se integran al PLC en las estaciones comprendidas por el grupo hidráulico GH09: RE-3A, RP-6A y RP-6B.

TABLA C.1 Señales de E/S estación RE-3A

Nomre de señal	Digital		Analogica		Tipo	Modbus	Eth
	Ent	Sal	Ent	Sal			
Estación RE 3A							
Selector en Local	1				24 Vdc		
Selector en Remoto	1				24 Vdc		
Rele min/max y per. Fase General	1				24 Vdc		
Rele Nivel mínimo	1				24 Vdc		
Apertura Tablero de Fuerza	1				24 Vdc		
Apertura Tablero de Control	1				24 Vdc		
Alarma UPS Funcionando	1				24 Vdc		
Alarma UPS Falla	1				24 Vdc		
Alarma UPS Bateria Baja	1				24 Vdc		
Sensor de Rebose	1				24 Vdc		
Sensor infrarojo	1				24 Vdc		
Selector Automático Bomba 1	1				24 Vdc		
Selector Manual Bomba 1	1				24 Vdc		
Estado Falla Bomba 1	1				24 Vdc		
Estado Funcionando Bomba 1	1				24 Vdc		
Selector Automático Bomba 2	1				24 Vdc		
Selector Manual Bomba 2	1				24 Vdc		
Estado Falla Bomba 2	1				24 Vdc		
Estado Funcionando Bomba 2	1				24 Vdc		
Selector Automático Bomba 3	1				24 Vdc		
Selector Manual Bomba 3	1				24 Vdc		
Estado Falla Bomba 3	1				24 Vdc		
Estado Funcionando Bomba 3	1				24 Vdc		
Funcionando Banco Condensadores 1	1				24 Vdc		
Funcionando Banco Condensadores 2	1				24 Vdc		
Funcionando Banco Condensadores 3	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 1 100% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 1 10% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 2 100% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 2 10% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 3 100% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCB 3 10% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCE 100% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCE 100% abierta	1				24 Vdc		
Arranque/parada Bomba 1		1			220 Vac		
Arranque/parada Bomba 2		1			220 Vac		
Arranque/parada Bomba 3		1			220 Vac		
Sirena de alarma		1			220 Vac		
Solenoide Valvula de Control de Bomba 1		1			24 Vdc		
Solenoide Valvula de Control de Bomba 2		1			24 Vdc		
Solenoide Valvula de Control de Bomba 3		1			24 Vdc		
Solenoide Valvula de Control Eléctrica		1			24 Vdc		
Sensor de nivel			1		4-20mA		

Sensor de Presión de línea			1		4-20mA		
Analizador de Redes Bomba 1						1	
Analizador de Redes Bomba 2						1	
Analizador de Redes Bomba 3						1	
Arrancador electrónico Bomba 1						1	
Arrancador electrónico Bomba 2						1	
Arrancador electrónico Bomba 3						1	
Medidor de Caudal 1						1	
Medidor de Caudal 2						1	

TABLA C.2 Señales de E/S estación RP-6A

Nomre de señal	Digital		Analógica		Tipo	Modbus	Eth
	Ent	Sal	Ent	Sal			
Estación RP 6A							
Apertura Tablero de Control	1				24 Vdc		
Alarma UPS Funcionando	1				24 Vdc		
Alarma UPS Falla	1				24 Vdc		
Alarma UPS Bateria Baja	1				24 Vdc		
Sensor de Rebose	1				24 Vdc		
Sensor infrarojo	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCE 100% abierta	1				24 Vdc		
Limite de Carrera - VCE 100% Cerrada	1				24 Vdc		
Sirena de alarma		1			220 Vac		
Solenoido Valvula de Control Eléctrica		1			24 Vdc		
Sensor de nivel			1		4-20mA		
Medidor de Caudal 1						1	
Medidor de Caudal 2						1	

TABLA C.3 Señales de E/S estación RP-6B

Nomre de señal	Digital		Analógica		Tipo	Modbus	Eth
	Ent	Sal	Ent	Sal			
Estación RP 6B							
Apertura Tablero de Control	1				24 Vdc		
Alarma UPS Funcionando	1				24 Vdc		
Alarma UPS Falla	1				24 Vdc		
Alarma UPS Bateria Baja	1				24 Vdc		
Sensor de Rebose	1				24 Vdc		
Sensor infrarojo	1				24 Vdc		
Sirena de alarma		1			220 Vac		
Sensor de nivel			1		4-20mA		
Medidor de Caudal						1	

ANEXO D
MÓDULOS PLC POR ESTACIONES

TABLA D.1 Módulos de los PLC (parte1)

Equipo	Código	ESTACION											
		Parcial	RE 7A	RE 8A	CPR 1B	CP 01	CP 7G	CPRE 137A	CP 5G	CR 67A	RE04	RE1A	RE4B
Procesador CPU, Ethernet.	TWDLCAE40DRF	7	1	1		1	1		1			1	1
Modulo PLC 16 entradas 24Vdc.	TWDDDI16DT	5				1	1		1			1	1
Modulo PLC 4 E y 2 S analógicas	TWDAMM6HT	7	1	1		1	1		1			1	1
Rack de 8	BMXXBP0800	2						1			1		
Rack de 12	BMXXBP1200	2		1						1			
Fuente, 20W	BMXCPS2000	3						1		1	1		
Fuente, 36W	BMXCPS3500	1		1									
Procesador CPU, estandar	BMXP341000	4		1				1		1	1		
Módulo comunicación	BMXNOE0100	4		1				1		1	1		
Módulo PLC, 16 entradas a 24Vdc	BMXDDI1602	11		4				2		3	2		
Módulo PLC 08 salidas rele 2 Amp.	BMXDRA0805	5		2				1		1	1		
Módulo PLC 4 entradas analógicas	BMXAMI0410	5		2				1		1	1		
Módulo PLC 2 salidas analógicas	BMXAMO0210	2		1						1			

TABLA D.2 Módulos de los PLC (parte2)

Equipo	Código	ESTACION											
		Parcial	RE3A	RP 7G	RP 7C	RP 6E	RP 6B	RP 6A	RP 5G	RP 4C	RP 4A	RP3D	RP 3C
Procesador CPU, Ethernet.	TWDLCAE40DRF	9		1	1	1	1	1	1		1	1	1
Modulo PLC 16 entradas 24Vdc.	TWDDDI16DT	0											
Modulo PLC 4 E y 2 S analógicas	TWDAMM6HT	9		1	1	1	1	1	1		1	1	1
Rack de 8	BMXXBP0800	2	1							1			
Rack de 12	BMXXBP1200	0											
Fuente, 20W	BMXCPS2000	2	1							1			
Fuente, 36W	BMXCPS3500	0											
Procesador CPU, estandar	BMXP341000	2	1							1			
Módulo comunicación	BMXNOE0100	2	1							1			
Módulo PLC, 16 entradas a 24Vdc	BMXDDI1602	4	2							2			
Módulo PLC 08 salidas rele 2 Amp.	BMXDRA0805	2	1							1			
Módulo PLC 4 entradas analógicas	BMXAMI0410	2	1							1			
Módulo PLC 2 salidas analógicas	BMXAMO0210	0											

TABLA D.3 Total de módulos de PLCs

Equipo	Código	Total
Procesador CPU, Ethernet.	TWDLCAE40DRF	16
Modulo PLC 16 entradas 24Vdc.	TWDDDI16DT	5
Modulo PLC 4 E y 2 S analógicas	TWDAMM6HT	16
Rack de 8	BMXXBP0800	4
Rack de 12	BMXXBP1200	2
Fuente, 20W	BMXCPS2000	5
Fuente, 36W	BMXCPS3500	1
Procesador CPU, estandar	BMXP341000	6
Módulo comunicación	BMXNOE0100	6
Módulo PLC, 16 entradas a 24Vdc	BMXDDI1602	15
Módulo PLC 08 salidas rele 2 Amp.	BMXDRA0805	7
Módulo PLC 4 entradas analógicas	BMXAMI0410	7
Módulo PLC 2 salidas analógicas	BMXAMO0210	2

ANEXO E
PROGRAMAS DE CONTROL DEL PLC

Se presenta parte del programa típico de control utilizado:

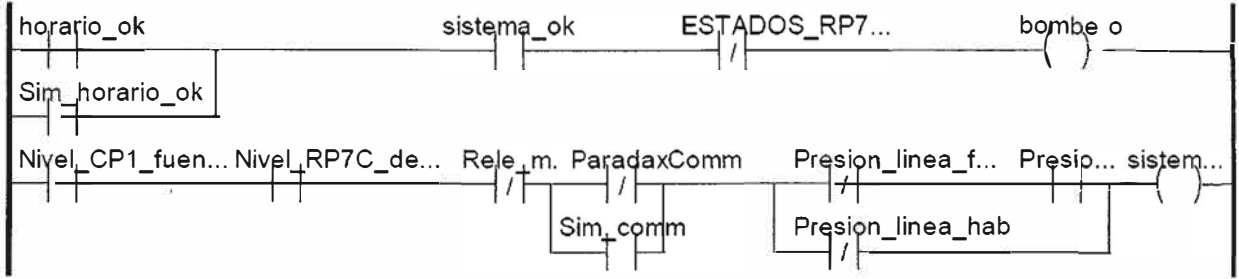


FIGURA E.1 Lógica de control base

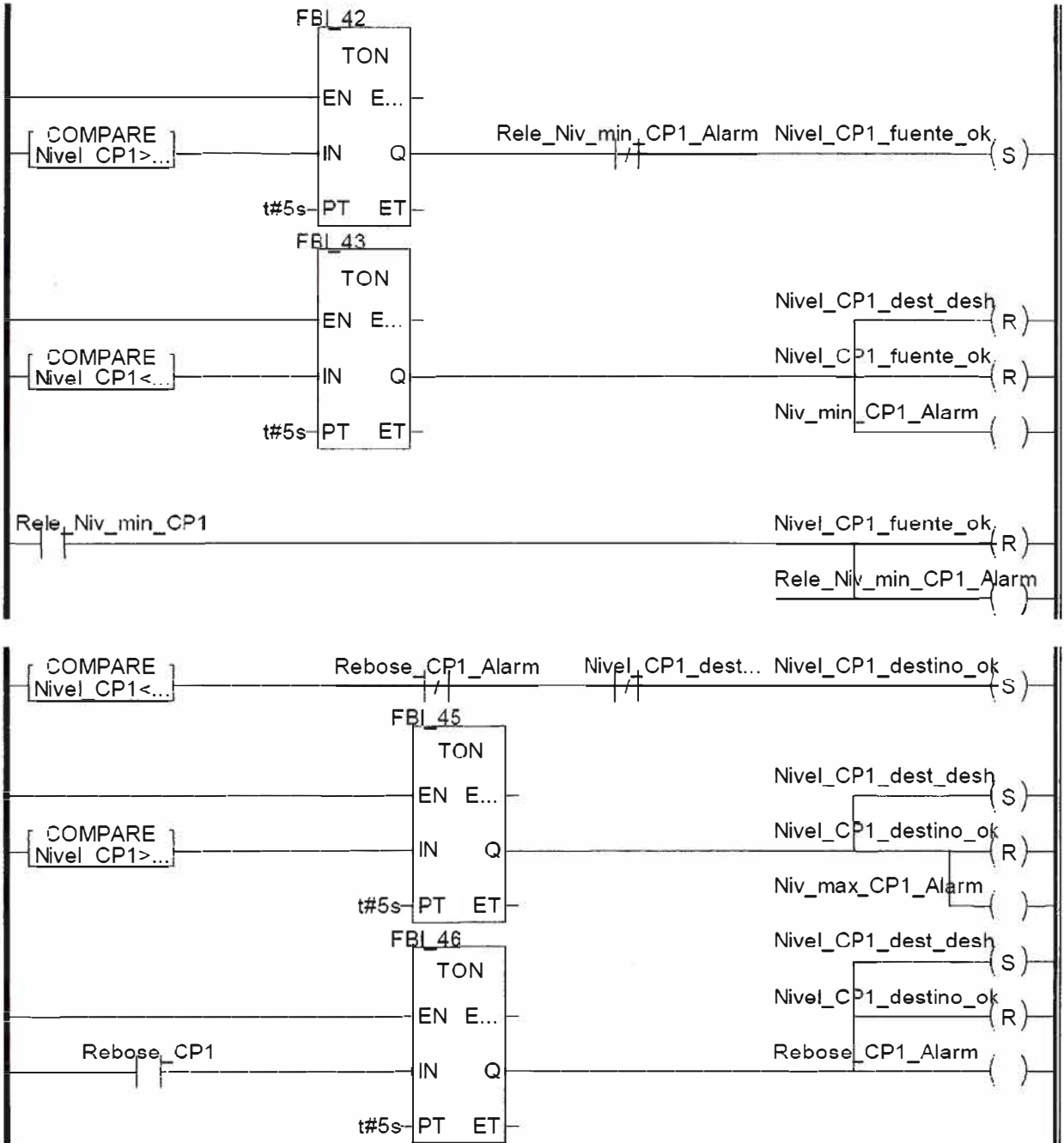


FIGURA E.2 Control de niveles de reservorios Fuente y destino

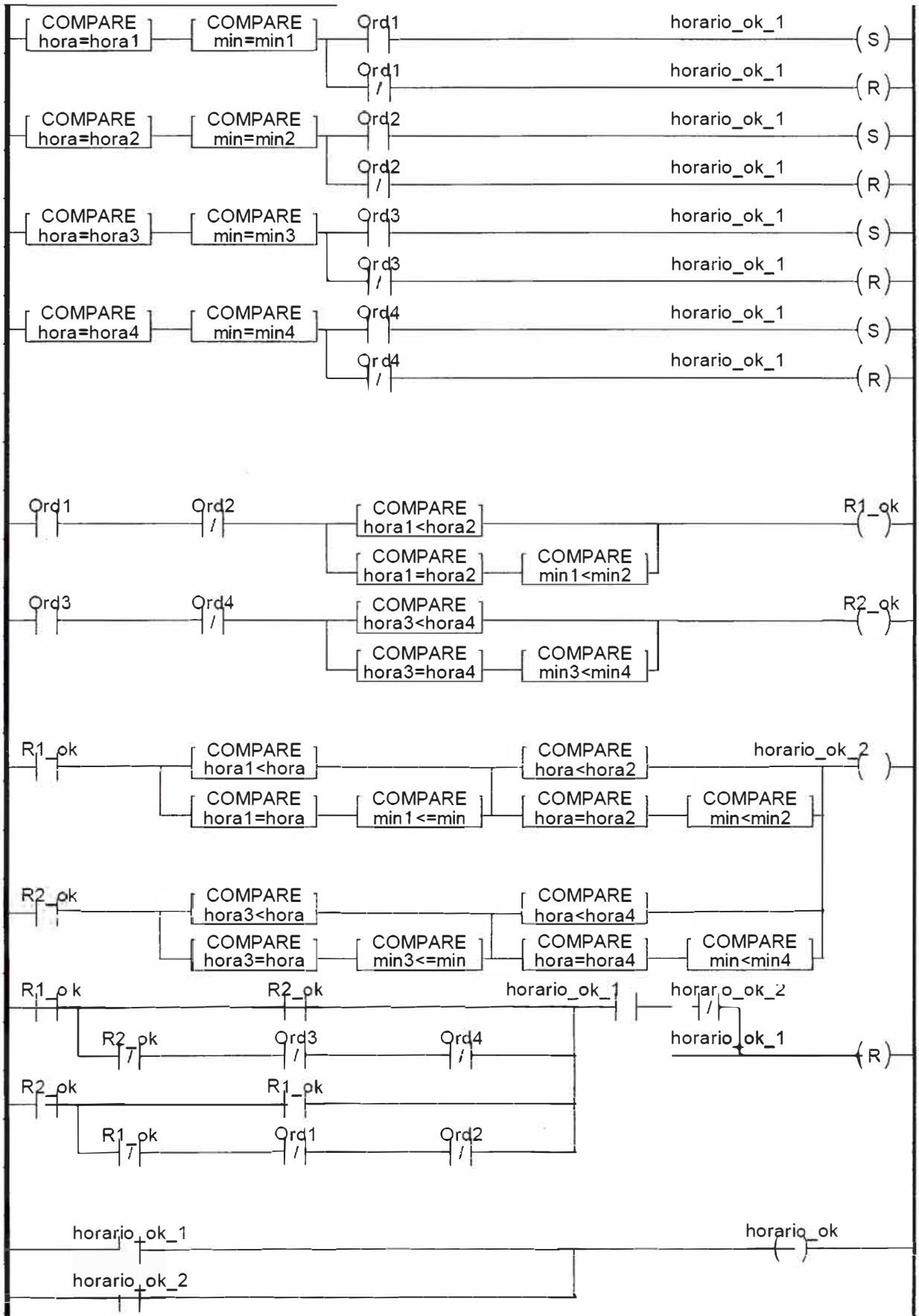


FIGURA E.3 Control de Horario de trabajo

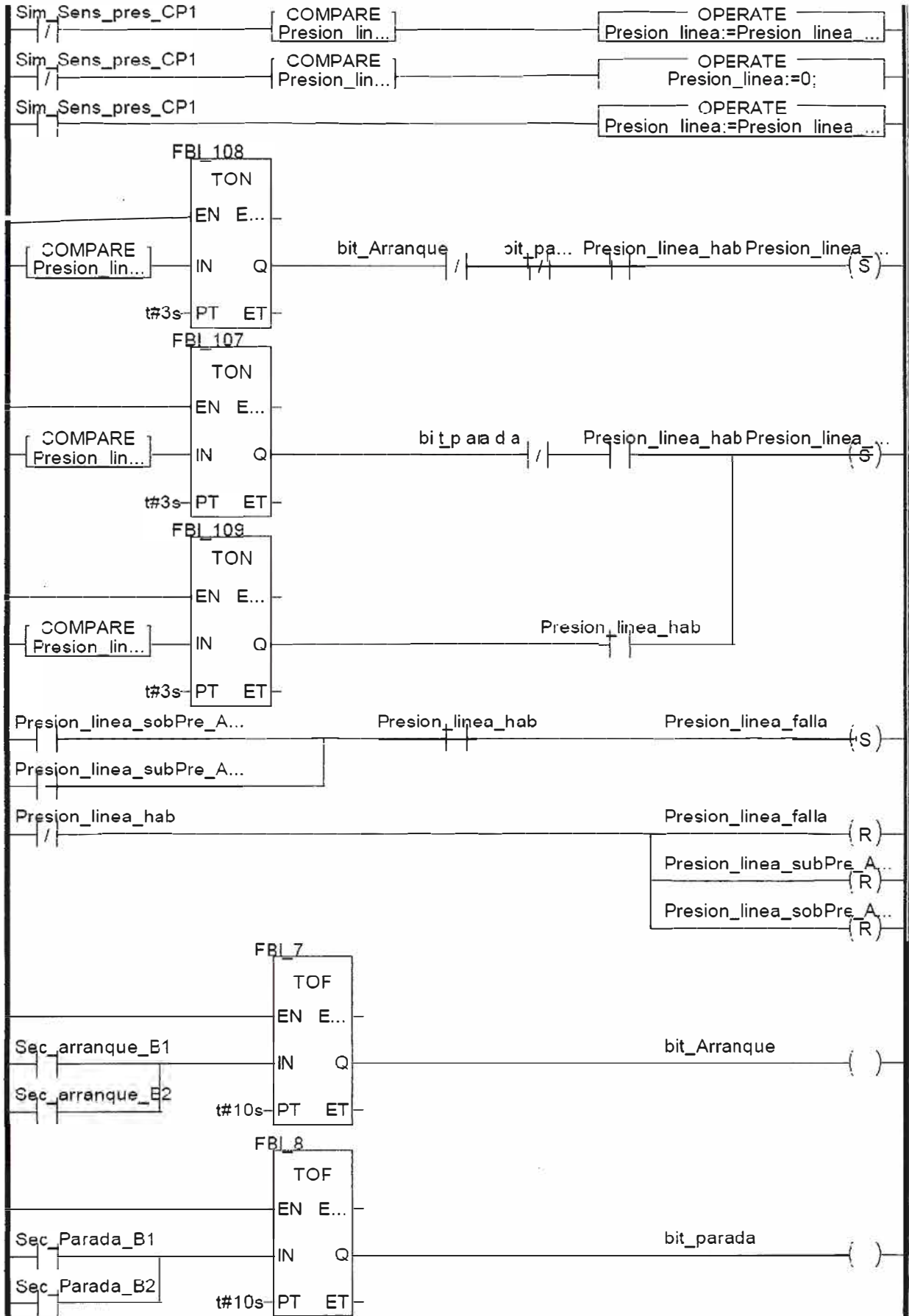


FIGURA E.4 Monitoreo de presión de línea de impulsión

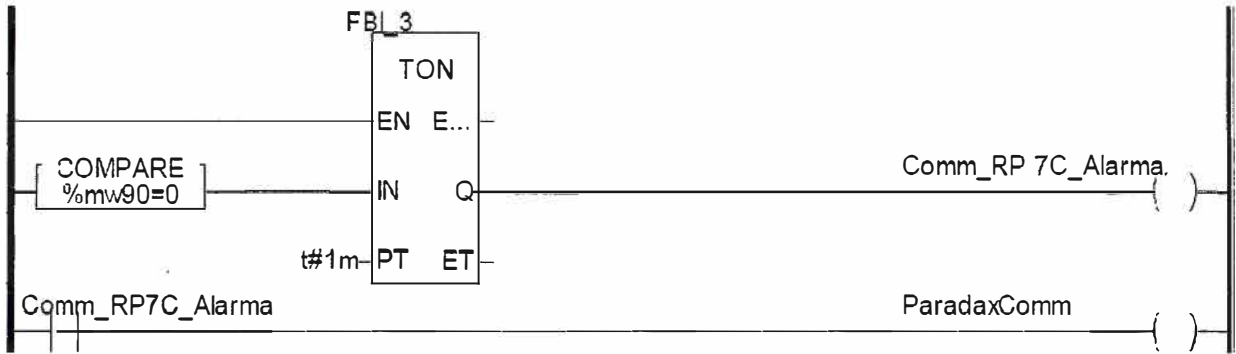


FIGURA E.5 Verificación del estado de comunicación entre las estaciones fuente y destinos

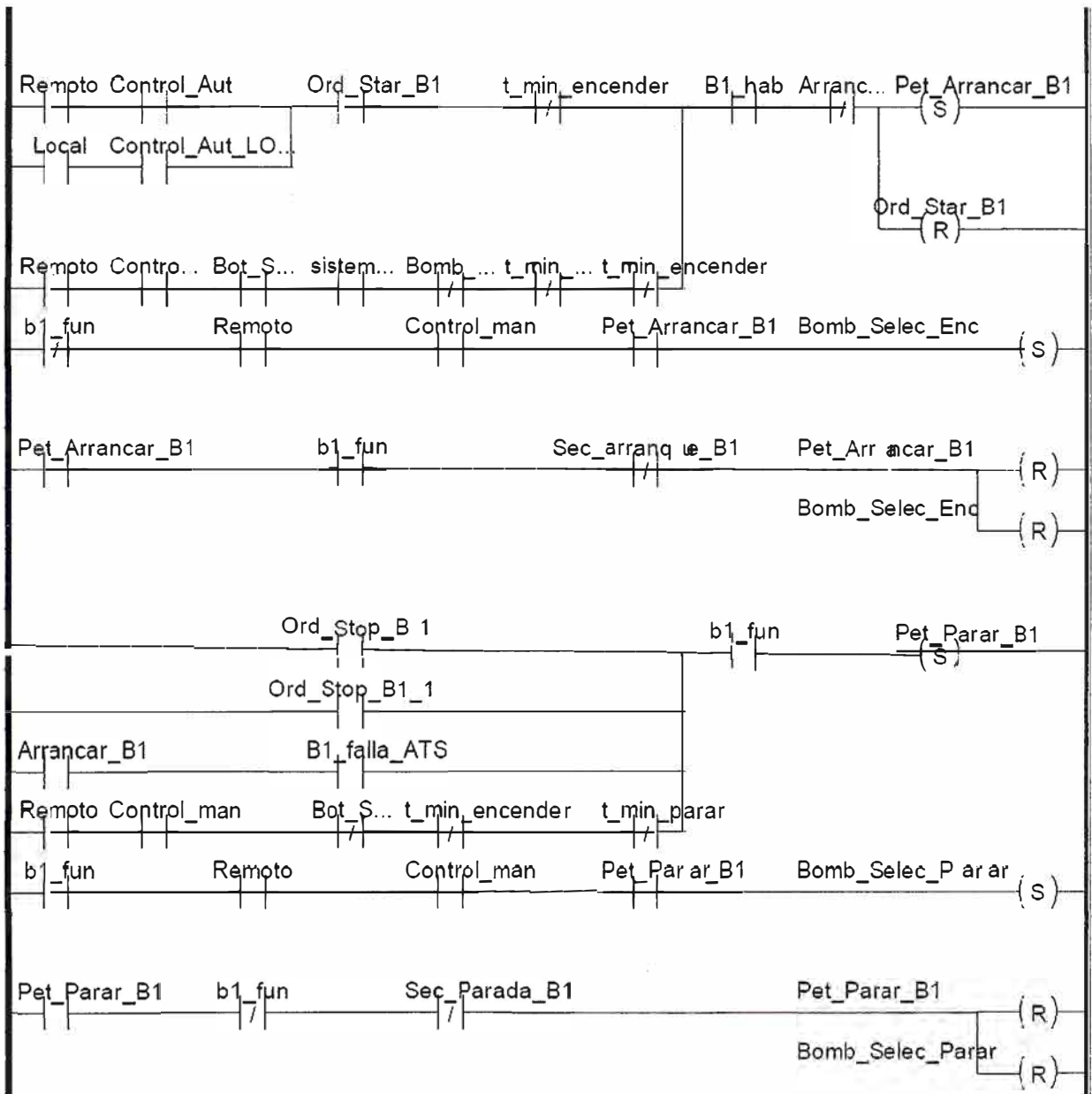
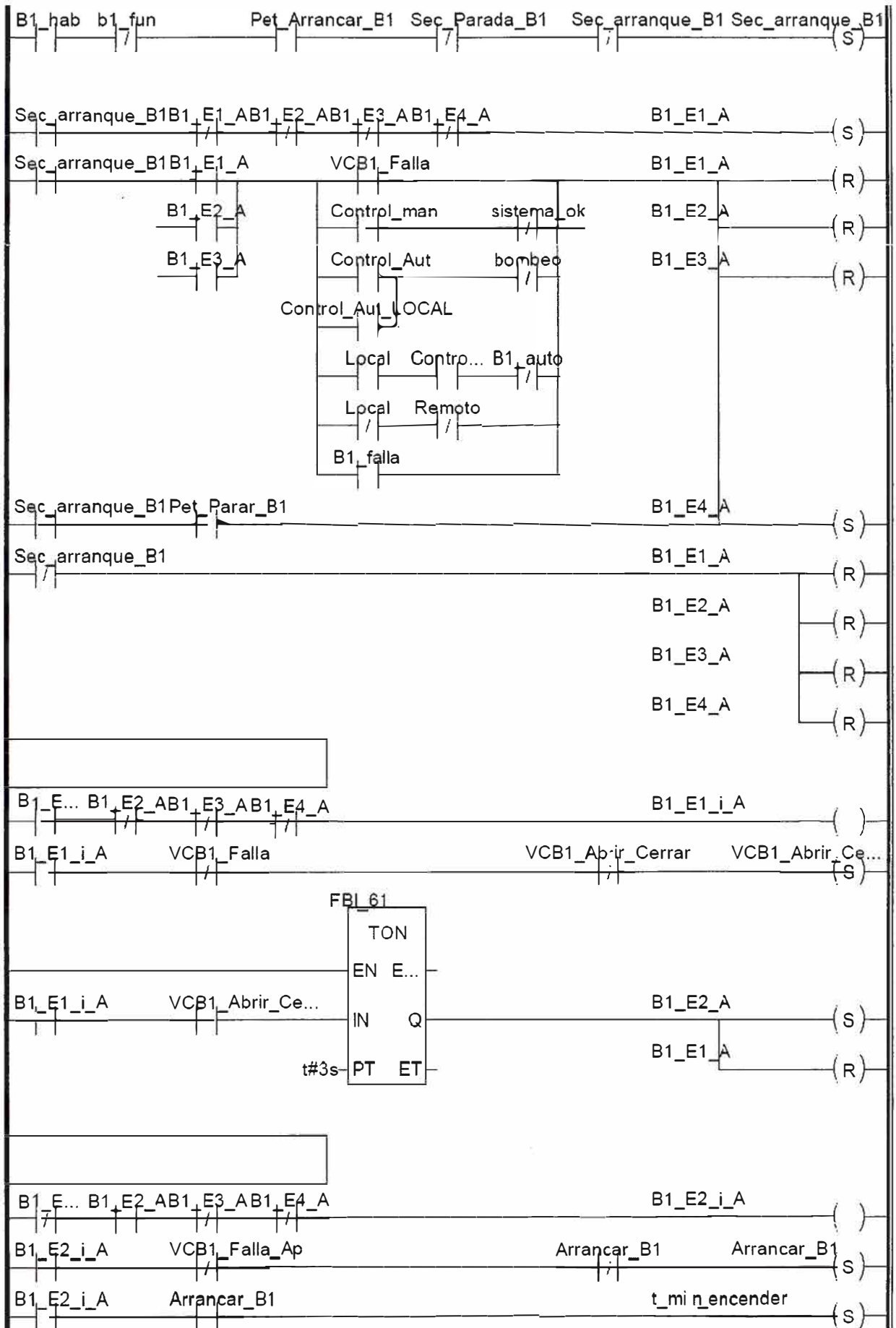


FIGURA E.6 control de bomba



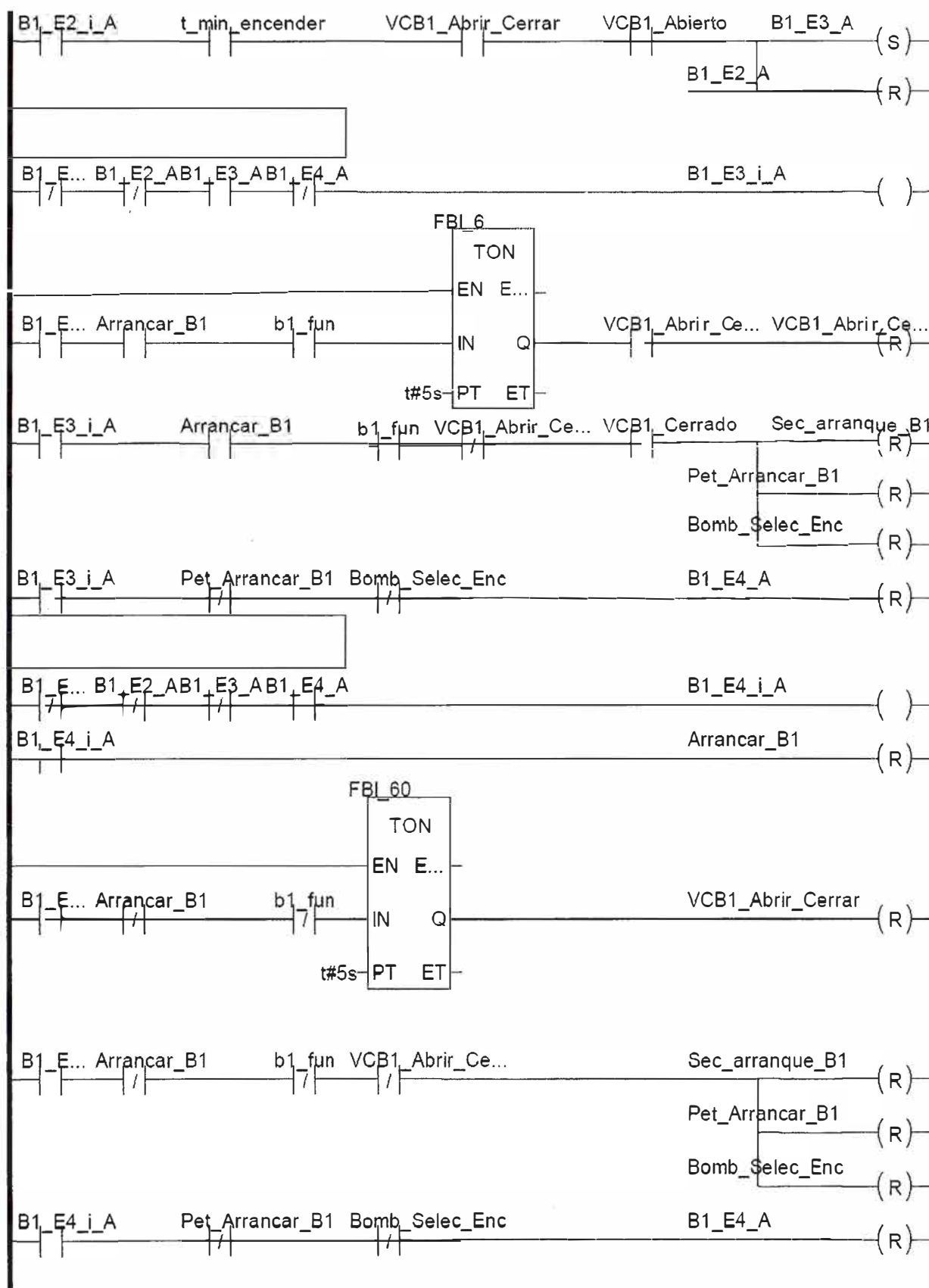
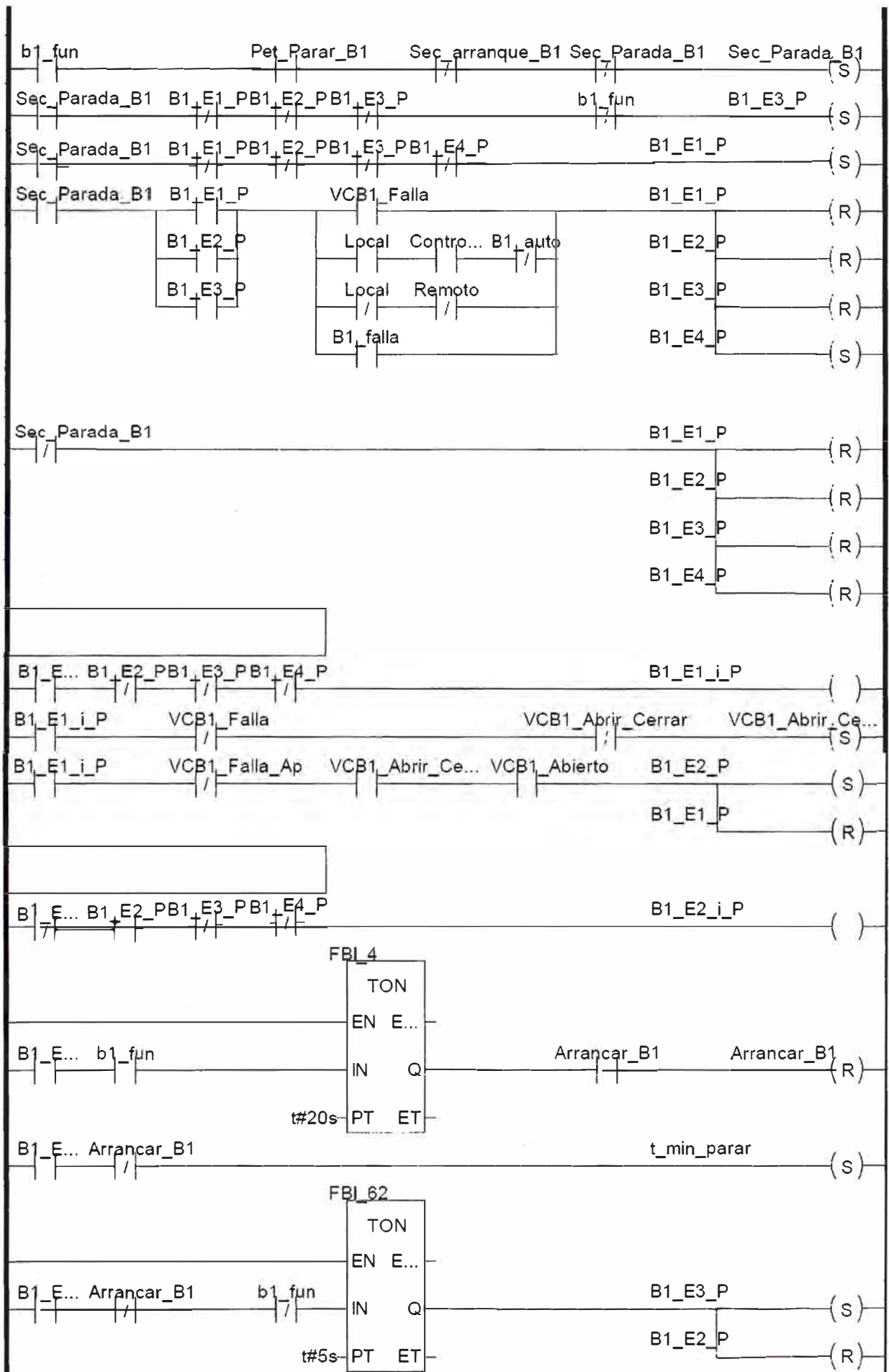


FIGURA E.7 control de bomba - secuencia de arranque con VCB



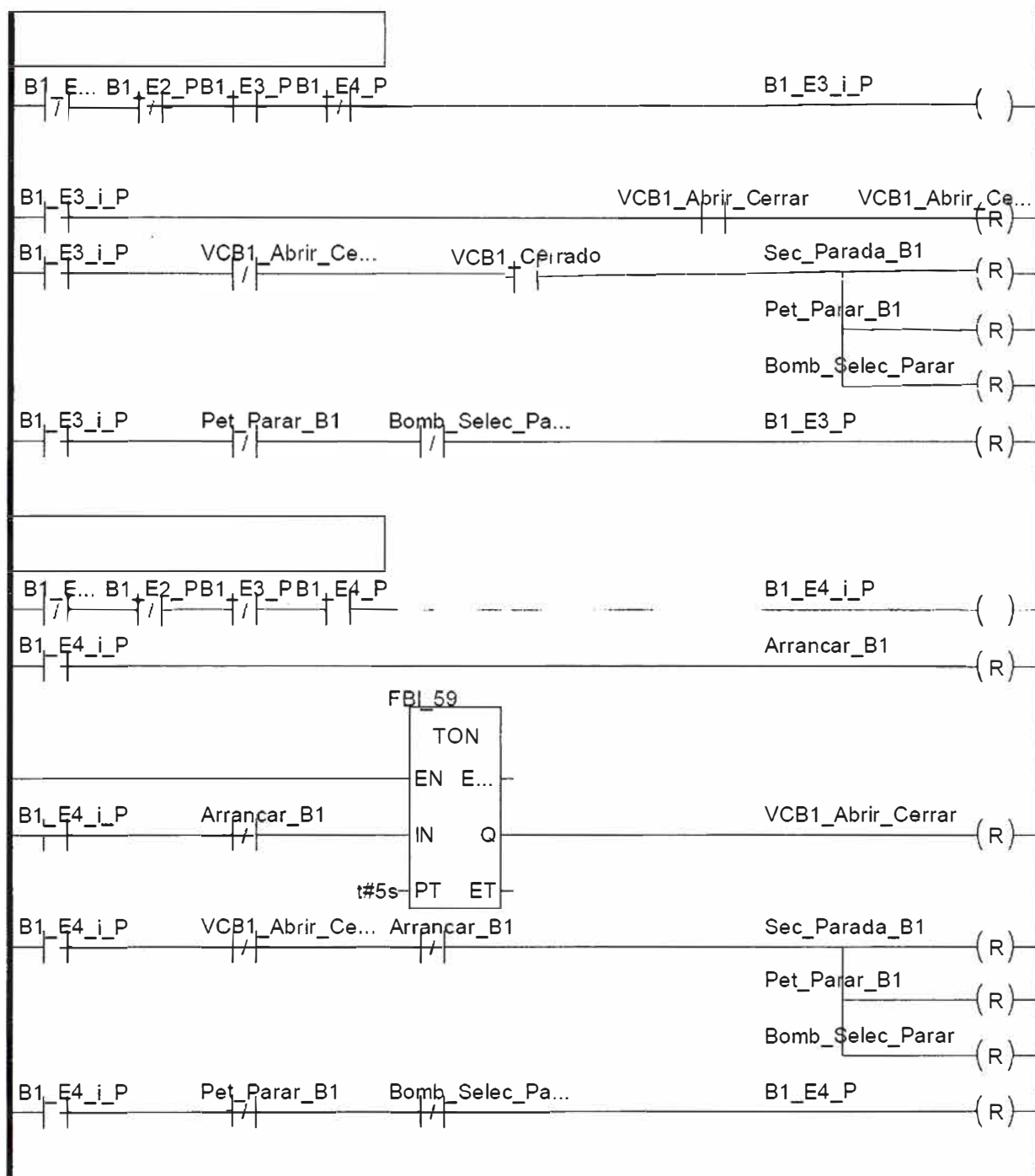


FIGURA E.8 control de bomba - secuencia de parada con VCB

BIBLIOGRAFIA

Documentos:

- 1) Artículo "Guías de Soluciones en Automatización", capítulo 1, Schneider Electric-España. Se pueden encontrar en la página:
<http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/libreria-automatizacion-control/descarga/guia-soluciones.page>
- 2) Alfredo Rosado Muñoz, "Sistemas industriales distribuidos", Universidad de Valencia. Se puede encontrar en la página: <http://www.uv.es/rosado/sid/sid.html>
- 3) Artículo "Redes industriales", capítulo 9, Schneider Electric-España. Se pueden encontrar en la página:
<http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/libreria-automatizacion-control/descarga/guia-soluciones.page>
- 4) Revista "Guía de Automatización", artículo "Ethernet en la Industria". Se puede encontrar en la página:
<http://www.lasso.com.mx/LinkClick.aspx?fileticket=eYHz94HoFSY%3D&tabid=216>
- 5) Publicación "Introduction to Modbus TCP/IP", Acromag Incorporated, 2005 USA. Se puede encontrar en la página:
http://www.dee.hcmut.edu.vn/vn/ptn/sch/download/Network_Architecture/intro_modbusTCP.pdf
- 6) "Manual Electrotécnico Telesquemario", Telemecanique - España, 1999.
- 7) Dr.-Ing. Héctor Kaschel C. y el Ing. Ernesto Pinto L, Artículo "Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales". Se puede encontrar en la página: <http://cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.pdf>
- 8) Ignacio Bravo Llano, Artículo "Ethernet en la Industria", Revista "Anales de mecánica y electricidad", Asociación de Ingenieros del ICAI, 2007. Se puede encontrar en la página: <https://www.icaei.es/contenidos/publicaciones/index.php?fascic=III&anyo=2007>

- 9) “Manual Twido Suite”, Instituto de formación Schneider Electric España, 2008. Se puede encontrar en la página:

http://www.equiposdidacticos.com/pdf/catalogos/Manual_Twido.pdf

Catálogos técnicos:

- 10) Catalogo “Plataforma de automatización: Modicon M340”, Schneider Electric, 2007.

Se puede encontrar en la página: http://www.coevagi.com/Docs/Te_M340.pdf

- 11) Catalogo “Automatismos y control: Controlador programable Twido”, Schneider Electric - España, 2008. Se puede encontrar en la página:

[http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/8BCE16728CD626878825757C002C333D/\\$File/cat%E1logo%20twido%202008.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/8BCE16728CD626878825757C002C333D/$File/cat%E1logo%20twido%202008.pdf)

- 12) Guía “Altistar 48 Telemecanique, Arrancadores ralentizadores progresivos”, Schneider Electric, 2001. Se puede encontrar en la página:

<http://www.extranet.schneider-electric.com.mx/opencms/opencms/SchneiderElectric/modules/Productos/resources/Telemecanique/documents/ATS48guia.pdf>

- 13) Catalogo “Human/machine Interfaces”, Schneider Electric, 2006. Se puede encontrar en la página:

http://www.downloadcentre.net/pdf_downloads/telemecanique/Human_Machine_Interfaces_The_essential_guide_DIA5ED2040301EN.pdf

Páginas de internet:

- 14) Conceptos de las redes industriales: http://es.wikipedia.org/wiki/Red_industrial

- 15) Beneficios de Ethernet para sistemas de medición y control distribuidos:

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/5999>

- 16) Protocolo Modbus:

http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Te_mma%207.pdf

- 17) “Ethernet TCP/IP protocol”: <http://www.anybus.com/technologies/modbustcp.shtml>

- 18) “Modbus FAQ: About the Protocol”: <http://www.modbus.org/faq.php>