

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño del sistema de control de la estación de bombeo en RECOPE El Alto de Ochomogo.

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Elaborado por:

Aarón Caballero Valerín

200221036

Cartago, 19 de Abril del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

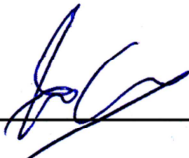
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



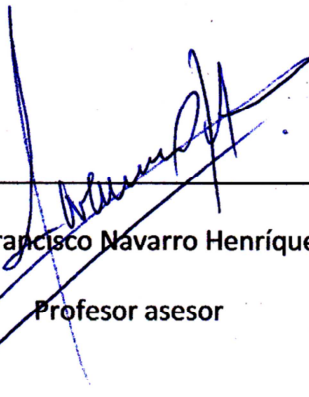
Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector



Ing. Francisco Navarro Henríquez

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

19 de Abril del 2012, Cartago, Costa Rica.

Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Costa Rica

19 de Abril del 2012



Aarón Josué Caballero Valerín

Céd: 3-0395-0864

Resumen

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE S.A.), ubicada en la Estación del Alto de Ochomogo, en Cartago, cuenta con sistemas de monitoreo y control. La ejecución del monitoreo y control se da mediante un controlador programable PLC-5, el cual es el encargado de realizar todas las tareas que se necesitan para el óptimo funcionamiento de la Estación.

El PLC-5 se instaló hace aproximadamente 25 años, por esta razón la compañía desea migrar a tecnologías más modernas, por medio de dispositivos programables más robustos y más modernos, como es el caso del PLC ControlLogix.

El Diseño del sistema de monitoreo y control de la Estación de bombeo El Alto de Ochomogo se desarrolló, mediante las herramientas de software de la compañía Rockwell: RSLogix 5000, RSLinx y RSView32.

Esta nueva implementación reforzará las medidas de seguridad, se podrá dar un óptimo mantenimiento del equipo y contará con una nueva normativa de programación.

Palabras Claves: ControlLogix, RSLogix 5000, RSLinx y RSView3232.

Abstract

The Costa Rican refining plant of oil (RECOPE S.A), in the Alto de Ochomogo station is composed by a control system and monitoring of all the installations inside of the campus. This control and monitoring is provided by a programmable controller which is the PLC-5, this control is responsible for performing all tasks required for the optimal functioning of the activities that are generated in the plant.

The PLC-5 is a device that was implemented about 25 years ago, for this reason, we want to implement new technologies, programmable devices through more robust and more modern, such as ControlLogix PLC.

The Systems Design of monitoring and control of the Station of pumping in the Alto de Ochomogo was developed by software tools company Rockwell RSLogix 5000, RSLinx and RSView32.

This new implementation will reinforce the security measures can provide optimum equipment maintenance and will feature a new programming rules.

Key Words: ControlLogix, RSLogix 5000, RSLinx y RSView3232.
Dedicatoria

A mis abuelos, mis padres y hermanos que a partir de todo el esfuerzo y dedicación quiero dedicarles todos los triunfos y éxitos que se han ido generando durante el lapso de mi vida, ha sido gracias a ustedes.

Agradecimiento

Primeramente, deseo darle gracias a Dios, por guiarme en el camino de la vida y darme la oportunidad de crecer como una persona de buenos principios.

A mis padres y abuelos quienes me inculcaron valores y buenos consejos para afrontar los retos que se presentan en el transcurso de la vida.

A mis compañeros de Universidad y amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado durante mi formación académica.

Agradezco a todo el personal de la Unidad de Instrumentación del plantel, El Alto de Ochomogo, por ayudarme a crecer tanto a nivel profesional y personal.

A mi profesor tutor por la retroalimentación brindada en la elaboración del proyecto, la paciencia y la motivación.

En especial a mi abuelita Tita, quien desde el cielo me observa y deseo retribuirle el sacrificio, el cariño y el amor dado con este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

1.	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	14
2.	CAPÍTULO 2: META Y OBJETIVOS.....	16
2.1	Meta	16
2.2	Objetivo general.....	16
2.3	Objetivos específicos.....	16
3.	CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO.....	18
3.1	Instrumentación.....	18
3.1.1	Sensores de Temperaturas RTD.....	18
3.1.2	Termocuplas.	18
3.1.3	Interruptores de nivel.	18
3.1.4	Sensores de densidad.....	19
3.1.5	Sensores de flujo.....	19
3.1.6	Moto válvulas.....	19
3.1.7	Sensores de presión	20
3.2	Booters	20
3.3	Motores	20
3.4	PCV	21
3.5	Computador de caudal	21
3.6	PLC ControlLoxig	21
3.6.1	Hardware	21
3.6.2	Módulos de entradas y salidas.....	22
3.6.3	Módulos de comunicación.....	22
3.6.4	Software	23
3.7	Protocolo de comunicación Modbus	25
3.8	Protocolo de comunicación ControlNet.....	27
3.9	Maestra de válvulas.....	28
4.	CAPÍTULO 4: PROCESO METODOLÓGICO	29
4.1	Reconocimiento y definición del problema	29
4.2	Obtención y análisis de información.....	30
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.	37
4.4	Implementación de la solución.....	37
4.4.1	Investigación de los módulos del ControlLogix.....	37

4.4.2	Investigación del control PID para las PCV.	39
4.4.3	Investigación de los softwares de programación.	40
4.5	Reevaluación y rediseño.	41
5.	Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	42
5.1	Descripción del hardware.	42
5.1.1	Diagrama de primer nivel.	42
5.1.2	Diagrama de segundo nivel.	43
5.1.3	Diagramas de tercer nivel.	45
5.2	Descripción del software	68
5.2.1	RSlogix 5000	68
5.2.2	RSLinx.	90
5.2.3	RSView32.	92
6.	Capítulo 6: Análisis de Resultados	94
6.1	Instrumentos.....	94
6.2	Sistema de Alarmas.....	98
6.3	Operación del equipo.	99
7.	Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	101
7.1	Conclusiones.....	101
7.2	Recomendaciones	102
	BIBLIOGRAFÍA.....	103
	APENDICES.....	106
A.1	Glosario, abreviaturas y simbología.....	106
A.2	Información sobre la empresa/institución	107
A.2.1	Descripción de la empresa	107
A.2.2	Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto	108
A.3	Ilustraciones del equipo e instrumentos de medición.	109
	ANEXOS	114
B.1	Hojas de Datos de los módulos.....	114
B.2	La distribución de los módulos en el chasis serie B.	119
B.3	Terminales de bloques removibles específica.	121
B.4	Listado de dispositivos conectados a los módulos del PLC ControlLogix.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Función de la Booster.	20
Figura 3.2 Comunicación de maestro a esclavos.....	26
Figura 3.3 Comunicación con ControlNet.....	28
Figura 4.1 Distribución de los módulos en el chasis 1 del PLC-5.....	30
Figura 4.2 Distribución de los módulos en el chasis 2 del PLC-5.....	31
Figura 5.1 Diagrama de primer nivel.	42
Figura 5.2 Diagrama de segundo nivel.	43
Figura 5.3 Comunicación entre el PLC y la PC.	45
Figura 5.4 Terminal de boques removibles para los módulos.....	46
Figura 5.5 Módulos 1756-IR6I colocado en el rack 0, grupo 7.	47
Figura 5.6 Módulos 1756-IR6I ubicado en el rack 0, grupo 8.	48
Figura 5.7 Módulos 1756-IR6I puesto en el rack 0, grupo 9.	49
Figura 5.8 Módulos 1756-IF16 colocado en el rack 0, grupo 11.....	50
Figura 5.9 Módulos 1756-OF4 ubicado en el rack 0, grupo 13.....	51
Figura 5.10 Módulos 1756-OF4 puesto en el rack 0, grupo 14.	52
Figura 5.11 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 6 parte 1.....	53
Figura 5.12 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 6 parte 2.....	54
Figura 5.13 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 7 parte 1.....	55
Figura 5.14 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 7 parte 2.....	56
Figura 5.15 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 8 parte 1.....	57
Figura 5.16 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 8 parte 2.....	58
Figura 5.17 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 9 parte 1.....	59
Figura 5.18 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 9 parte 2.....	60
Figura 5.19 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 10 parte 1.....	61
Figura 5.20 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 10 parte 2.....	62
Figura 5.21 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 12.	63
Figura 5.22 Módulos 1756-OA16I colocado en el rack 1, grupo 14 parte 1.	64
Figura 5.23 Módulos 1756-OA16I colocado en el rack 1, grupo 14 parte 2.	65
Figura 5.24 Módulos 1756-OA16I ubicado en el rack 1, grupo 15 parte 1.	66
Figura 5.25 Módulos 1756-OA16I puesto en el rack 1, grupo 15 parte 2.	67
Figura 5.26 Configuración del Procesador.....	68
Figura 5.27 Configuración del Protocolo de comunicación DF-1.....	69
Figura 5.28 Configuración de la velocidad de transmisión de los datos.....	69
Figura 5.29 Configuración de las alarmas del módulo 1756-IR6I.....	70
Figura 5.30 Modo de configuración del 1756-IF16.....	71
Figura 5.31 Configuración de las señales que reciben corriente.....	71
Figura 5.32 Configuración de los nodos para la comunicación vía ControlNet.....	72
Figura 5.33 Enlace de comunicación vía ControlNet.....	73
Figura 5.34 Número de revisión de los módulos.	73
Figura 5.35 Configuración del módulo MVI56-MCM.	74
Figura 5.36 Diagrama de Bloque estándares de programación.	74

Figura 5.37 Dato definido para entradas analógicas.....	76
Figura 5.38 Dato definido para entradas discretas.....	76
Figura 5.39 Dato definido para salidas analógicas.....	76
Figura 5.40 Dato definido para salidas discretas.....	77
Figura 5.41 Dato definido para las moto válvulas.....	77
Figura 5.42 Bloque de Mapeo de Entradas.....	78
Figura 5.43 Mapeo de una imagen de entrada a una entrada física analógica.....	79
Figura 5.44 Mapeo de una imagen de entrada a una entrada física discreta.....	79
Figura 5.45 Alarma por falla en el canal.....	79
Figura 5.46 Bloque de Mapeo de Salidas.....	80
Figura 5.47 Mapeo de una salida física analógica a una imagen de salida.....	80
Figura 5.48 Mapeo de una salida física discreta a una imagen de salida.....	80
Figura 5.49 Bloque de Mapeo de Salidas.....	81
Figura 5.50 Alarma por cada instrumento.....	82
Figura 5.51 Generación de alarma HiHi.....	83
Figura 5.52 Dato del HMI genera el arranque del motor.....	84
Figura 5.53 Bloque principal.....	84
Figura 5.54 Diagrama de flujo del funcionamiento de un motor.....	85
Figura 5.55 Diagrama de flujo del funcionamiento de la booster.....	86
Figura 5.56 Sistema a implementar el control.....	88
Figura 5.57 Diagrama de bloques del sistema de control de la PCV.....	88
Figura 5.58 Sistema de control del PIDE.....	89
Figura 5.59 Configuración de las constantes de control en el PIDE.....	90
Figura 5.60 Creación del enlace de comunicación mediante protocolo DF-1.....	90
Figura 5.61 Enlace de comunicación con RSLogix 5000.....	91
Figura 5.62 Enlace de comunicación con RSLinx.....	91
Figura 5.63 Configuración del enlace del RSLogix 5000 con RSView32.....	92
Figura 5.64 Listado de alarmas.....	93
Figura 5.65 Interface principal creada en RSView32.....	93
Figura 6.1 Gráfico que corresponde a la relación entre la corriente y la presión.....	96
Figura 6.2 Tag del instrumento de nivel LSH_001.....	97
Figura 6.3 Activación de la alarma del instrumento LSH_010 situada en el tanque 116.....	98
Figura 6.4 Motor MP-001 operando.....	99
Figura 6.5 Motor MP-001 detenido.....	100
Figura 6.6 Tiempo de operación.....	100
Figura A.1 Poliducto de línea 1, 2 y 3 ubicado dentro del plantel el Alto de Ochoмого.....	108
Figura A.2 Sensor RTD.....	109
Figura A.3 Termocupla tipo J.....	109
Figura A.4 Transmisor de nivel.....	109
Figura A.5 Interruptor de bajo y alto nivel.....	109
Figura A.6 Sensores de densidad.....	110
Figura A.7 Sensor de flujo.....	110
Figura A.8 Moto Válvula.....	110

Figura A.9 Sensor de presión.....	111
Figura A.10 Booster.	111
Figura A.11 Motor.....	111
Figura A.12 PCV.....	111
Figura A.13 Computador de caudal.....	112
Figura A.14 Módulo de entradas analógicas.....	112
Figura A.15 Módulo de comunicación.	112
Figura A.16 Módulo de la fuente de alimentación.....	112
Figura A.17 Módulo controlador.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Módulos del PLC 5 con entradas y salidas analógicas.....	32
Tabla 4.2 Módulos del PLC 5 con entradas y salidas digitales.....	32
Tabla 4.3 Módulos del PLC 5 con salidas digital AC.	33
Tabla 4.4 Rack 0, Slot 2, Módulo 1771-IR 6 Entradas Analógicas RTD.	33
Tabla 4.5 Rack 0, Slot 1 Módulo 1771-IR 6 Entradas Analógicas RTD.	33
Tabla 4.6 Rack 0, Slot 3 Módulo 1771-IXE 8 Entradas Analógicas flotantes para Termocupla.....	33
Tabla 4.7 Rack 0, Slot 5 Módulo 1771-IFE 16 Entradas Analógicas	34
Tabla 4.8 Rack 0, Slot 7 Módulo 1771-OFE2 4 Salidas Analógicas Diferenciales.....	34
Tabla 4.9 Rack 1, Slot 0 Módulo 1771-OFE2 4 Salidas Analógicas Diferenciales.....	34
Tabla 4.10 Rack 2, Slot 0 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digital.....	34
Tabla 4.11 Rack 2, Slot 1 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales	34
Tabla 4.12 Rack 2, Slot 2 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales	35
Tabla 4.13 Rack 2, Slot 3 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales	35
Tabla 4.14 Rack 2, Slot # 4 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales	35
Tabla 4.15 Rack 3, Slot # 1 Módulo 1771-IBD16 16 Entradas Digitales.....	35
Tabla 4.16 Rack 3, Slot # 5 Módulo 1771-OD16 16 Salidas Digitales	36
Tabla 4.17 Rack 3, Slot # 6 Módulo 1771-OD16 16 Salidas Digitales	36
Tabla 4.18 Tags relacionado al instrumento.	36
Tabla 4.19 Módulos para el ControlLogix con entradas y salidas analógicas.....	38
Tabla 4.20 Módulos para el ControlLogix con entradas y salidas digitales.....	38
Tabla 4.21 Configuraciones típicas de los controladores	40
Tabla 5.1 Cantidad de instrumentos que interactúan con el ControlLogix.	44
Tabla 5.2 Tags del plantel El Alto de Ochomogo.	75
Tabla 6.1 Temperaturas del sensor RTD.	94
Tabla 6.2 Relación entre la corriente y la presión.	95

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 *Problema existente e importancia de la solución.*

El departamento de la Unidad de Instrumentación de RECOPE, desea migrar a un controlador programable lógico ControlLogix, debido a que no se le puede dar el adecuado mantenimiento al PLC-5 instalado en el plantel El Alto de Ochomogo, ya que la empresa encargada de producir los repuestos discontinuó su fabricación.

Además se requiere por parte de la compañía, una nueva etapa de estandarización de todos los planteles con que cuenta RECOPE en Costa Rica, por esté motivo el programa instalado en el PLC-5 no califica con dicha estandarización.

El poliducto (redes de tubería), que se encuentra en el plantel El Alto de Ochomogo está conformado por dos válvulas de control de presión las cuales se denominan como PCV. Cuando la compañía adquirió estas válvulas ya contaba con sus lazos de control, por esta razón dichos lazos no estaban incluidos en el controlador programable lógico PLC-5.

Como parte de la estandarización se desea incluir los lazos de control de las dos válvulas PCV en el dispositivo programable ControlLogix para su monitorización y control.

1.2 Solución Seleccionada

El diseño de la solución del problema expuesto, se puede abarcar de la siguiente manera:

- a. Realizar una investigación de los módulos que conforman el PLC-5.
- b. Crear un listado de los dispositivos que están interactuando con los módulos del PLC-5.
- c. Por medio de la investigación, se procede a obtener los módulos equivalentes que se van a implementar en la migración del PLC ControlLogix.
- d. Mediante diagramas eléctricos, se realiza la distribución de los diferentes dispositivos que van conectados a los módulos del PLC ControlLogix.
- e. Crear la etapa de la estandarización, la cual se aplica al programa principal del PLC ControlLogix.
- f. El programa del PLC ControlLogix se implementa mediante tres herramientas de software: RSLogix 5000, RSLinx y RSView32.
- g. Desarrollar la etapa de control automático de las dos válvulas PCV en el programa principal del PLC ControlLogix.
- h. Generar una interfaz para manipular los procesos que se llevan a cabo en el plantel.

CAPÍTULO 2: META Y OBJETIVOS

2.1 Meta

Realizar la migración de un controlador lógico programable PLC-5 a un PLC ControlLogix , el cual incluye la implementación de todos las tareas que se generan en el plantel El Alto de Ochomogo, donde se cumpla con todos los estándares de programación, normativas que conforman el monitoreo y control del plantel.

2.2 Objetivo general

Integrar un sistema de monitoreo y control mediante un prototipo que cumpla con los estándares de programación, normativas de seguridad y diseños que se llevan a cabo en la estación de bombeo El Alto de Ochomogo; tanto para las válvulas de presión PCV, el dispositivo PLC (controlador lógico programable), protocolos de comunicación y los diferentes equipos que interactúan en la toma de decisiones de los procesos y las tareas que se generan en el funcionamiento del plantel.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1.1 Investigar los procesos y las funciones que se llevan a cabo dentro de la estación de bombeo El Alto de Ochomogo.

2.3.1.2 Implementar los módulos de funcionamiento del PLC ControlLogix de las entradas y las salidas analógicas o discretas del accionamiento, detección y desactivación en los equipos, herramientas y maquinarias empleadas.

2.3.1.3 Diseñar un nuevo programa de software, que permita la integración del sistema de control de la estación de bombeo, El Alto de Ochomogo.

2.3.1.4 Modelar los lazos de control de las válvulas PCV para incluir este proceso como una función del controlador lógico programable (PLC).

2.3.1.5 Diseñar una interface de la estación, mediante un programa de software de monitorización de procesos industriales.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Instrumentación

En esta sección, se describen los diferentes tipos de instrumentos de medición que interactúan directamente con el PLC.

3.1.1 Sensores de Temperaturas RTD.

Este tipo de sensor RTD (Resistive Temperature Detector), tiene como principal característica la variación de la resistividad del metal, según a la temperatura que es sometido el instrumento. El tipo de RTD que se utiliza en la empresa es de tres hilos y el encapsulado que se emplea se denomina punta de prueba. La señal de salida que genera este tipo de instrumentó es analógica.

3.1.2 Termocuplas.

Es un sensor de temperatura que está compuesto por dos tipos de metales, el cual permite medir la variación de su FEM (Fuerza electromotriz). Estos sensores se clasifican según los dos tipos de conductores metálicos que componen el instrumento. En la compañía, se utiliza la termocupla de tipo J el cual está conformado por los conductores Fe y CuNi, además es de dos hilos. La señal de salida que genera este tipo de instrumento es analógica.

3.1.3 Interruptores de nivel.

Los interruptores de nivel se subdividen en tres tipos: el primero corresponde a la característica del alto nivel de líquido, es de la marca S.O.R. modelo 733-F4C-C-AS-N76-YYTTB7; el segundo son los transmisores de nivel marca Krohne, modelo optiflex 1300 c y por último, el interruptor que

corresponde tanto para el bajo nivel, como para el alto nivel de la marca DWYER, modelo L6EPB-SS3A.

La forma de operar los interruptores de alto nivel es de la siguiente manera: cuando el nivel del líquido es mayor al nivel que se ajusto en el instrumento, se acciona un interruptor que genera una señal digital. El mismo principio se aplica a los transmisores de nivel y los interruptores de bajo y alto nivel.

3.1.4 Sensores de densidad.

Los sensores de densidad son de la marca ULTRAFLUX y modelo MINISONI. Su principio de medición es por medio de ondas de sonido, las cuales muestrean la velocidad del fluido y los valores de la densidad del producto que se encuentran en las tuberías. Este genera una señal de salida analógica.

3.1.5 Sensores de flujo

Los sensores de flujo de la marca KROHNE, modelo UFM 3030K, miden la velocidad con la que el líquido viaja por la tubería. Esto se realiza por medio de haces de luz, los cuales se reflejan en la tubería y con base a esto se obtiene una diferencia de tiempo; lo que permite calcular la cantidad de flujo de la materia prima. Los sensores de flujo producen una señal de salida analógica.

3.1.6 Moto válvulas.

La marca de las moto válvulas es LIMITORQUE modelo MX, las cuales tienen como principal función poder controlar automáticamente el torque de la válvula, permitiendo cerrar, abrir o generar el valor de torque óptimo para que fluya la cantidad de producto que requerimos en la tubería.

3.1.7 Sensores de presión

Los sensores de presión son de la marca ABB y su modelo es 264HSSSBA1, son los encargados de medir la cantidad de presión que hay en la tubería. Este tipo de sensores genera una señal analógica.

3.2 *Booters*

Este equipo es el responsable de suministrar la adecuada presión de líquido para la bomba del motor, ya que la presión del líquido que viene del tanque no es la suficiente para que el motor se accione adecuadamente. Este tipo de funcionamiento lo podemos observar en la figura 3.1.

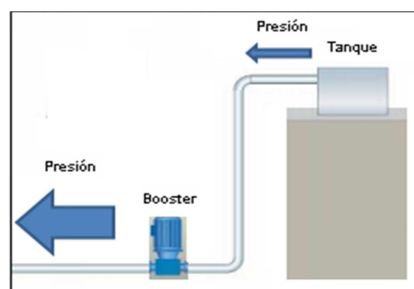


Figura 3.1 Función de la Booster.

3.3 *Motores*

El motor es de la marca Mitsubishi Electric, el tipo es XF-FH, sus características principales son: 125 HP, 140 A, 440 V y RPM 3350. La función de los motores es impulsar la materia prima por el poliducto, para que éste se pueda distribuir a otro plantel.

3.4 PCV

Las válvulas de control de presión PVC están diseñadas para aplicaciones industriales con altos niveles de presión, son de la marca FISHER. Las PCV regulan la cantidad de presión que se necesita en la tubería, por medio de un lazo de control.

3.5 Computador de caudal

El computador de caudal es el encargado de obtener la información de los diferentes equipos o dispositivos que interactúan con él y por medio de esta información realiza una calibración de los datos que corresponden al flujo. El computador de caudal, es de la marca EMERSON, modelo FloBoss S600.

3.6 PLC ControlLogix

El PLC ControlLogix® es un dispositivo programable lógico de la empresa Allen-Bradley, el cual está conformado por una máquina de control con interacción de software de programación y compatibilidad de diferentes protocolos de comunicación.

3.6.1 Hardware

El hardware está conformado por los módulos que interactúan con el PLC ControlLogix.

3.6.2 Módulos de entradas y salidas.

Los módulos de entradas y salidas son dispositivos que reciben o entregan señales, tanto discretas como analógicas. Estas señales son proporcionadas según el tipo de instrumentos que están conectados directamente al módulo. En el mercado hay una gran gama de módulos que interactúan con diferentes dispositivos tanto para voltajes como para corrientes. Esto se da según la aplicación que se requiera utilizar, en el caso de la ejecución del proyecto se utilizó los siguientes módulos de entradas y salidas: 1756-IR6I, 1756-OF4, 1756-IB16 y 1756-OA16I.

3.6.3 Módulos de comunicación

Son módulos que se comunican con diferentes equipos por medio de protocolos. En el caso de la implementación del proyecto, se emplea el módulo de comunicación de la compañía ProSoft Communication, modelo MVI56-MCM, donde su protocolo de comunicación es vía Modbus, el cual cuenta con dos salidas de comunicación de este tipo.

3.6.3.1 Fuente de alimentación.

Es el dispositivo que suministra la energía a todos los módulos de entradas, salidas, comunicación o controlador, los cuales se hallan en un mismo chasis. Este dispositivo es el modelo 1756-PA75/B, el cual se alimenta de 120 AC y tiene como tensión de salida 24 CD que son suministradas a los diferentes módulos.

3.6.3.2 El controlador

El controlador es el módulo más importante de todos, ya que ejecuta la interacción con otros módulos, ya sean de comunicación o entradas y salidas. Su principal característica es la toma de decisiones que se ejecutan por medio de los programas, los cuales se descargan en la memoria del controlador.

El modelo de controlador es el 1756-L61B, el cual tiene diferentes puertos de comunicación, para que se descargue la aplicación del programa que se ha desarrollado. Este se da por medio de una herramienta de software que ésta instalado en un computador. Para la descarga del programa, se utiliza el puerto RS-232 del módulo del controlador y se usa el protocolo de comunicación DF-1.

El tipo de protocolo DF-1 es de punto-punto, que acepta las transmisiones de varios dispositivos en ambas direcciones. Las características más importantes de este protocolo son los siguientes:

- Controla el flujo de datos.
- Detecta errores en la señal transmitida y los vuelve a enviar sin errores.
- La velocidad de transmisión en el puerto RS-232, es de 19200 Bps.

3.6.4 Software

Para que el PLC ControlLogix pueda llevar a cabo las aplicaciones que se desea implementar, se deben utilizar diferentes herramientas de software, las cuales tienen sus propias particularidades específicas.

3.6.4.1 RSLogix 5000

Es la herramienta de software que permite programar las distintas arquitecturas de los controladores de la familia Logix5500/55/61/63 ControlLoxig, el cual representa la nueva generación de los productos de la compañía Allen-Bradley. En este caso se tiene el módulo 1756-L61 serie B que corresponde a la familia Loxig5561, éste tiene la aplicación de supervisar las diferentes tareas o funciones que están instalados en el controlador.

El RSLogix 5000 es un lenguaje de programación basado en DOS (Disk Operating System) y en su entorno de programación tiene cuatro lenguajes que son: el de escalera "ladder", el de texto estructurado "structured text", el de esquemas de funciones secuenciales "sequential function chart" y el de las funciones generadas por bloques "functions blocks". Los cuatro lenguajes de programación pueden ser utilizados en una sola aplicación, por lo que el programador tiene la opción de adaptarse a las necesidades que se requiere para ejecutar la solución proyectada.

Otra de las particularidades importantes sobre la funcionalidad de este paquete de software, es su forma de organizar el control de las diferentes aplicaciones que se utilizan, dando un ambiente amigable al programar mediante la interface con la que se cuenta.

Esta herramienta incluye el manejo de los datos creados directamente por el software, e incluso, se tiene la opción de ser creados por el usuario; por consiguiente, aporta una mayor manipulación de la transferencia de información de datos en la aplicación que se desea generar mediante la opción de los tags (etiquetas).

Uno de los aspectos más importantes es el lenguaje de programación del software RSLogix 5000, el cual es muy similar a su antecesor el RSLogix 5. Se debe tomar en cuenta que el RSLogix 5000 es una herramienta más robusta y que puede realizar aplicaciones que con el otro software no se pueden implementar.

3.6.4.2 RSLinx

Es el encargado de la configuración y supervisión de las comunicaciones entre el controlador Allen -Bradley y los diferentes paquetes de software de la compañía Rockwell, ya sea el RSLogix 5000 o el RSView32.

3.6.4.3 RSView32

Para llevar a cabo la interface se necesita de un paquete de software, en el caso de la empresa se utiliza el RSView32 de la compañía Rockwell, donde su principal característica es el desarrollo del HMI (interfaz hombre máquina). Con esta herramienta se pueden crear y ejecutar las diferentes aplicaciones del control; además, cuenta con la adquisición de los distintos datos para su respectiva monitorización.

Una de las características importantes de este software es su compatibilidad con los dispositivos de la familia Rockwell, ya que permite fácil interacción de los datos, donde cualquier programa realizado en el software RSLogix 5000, puede ser exportado a esta aplicación sin ningún inconveniente.

Este software incluye pantallas de gráficos que se actualizan en tiempo real, imágenes en movimiento y un historial de los incidentes que son causados en el proceso, el cual va a mostrar el grado de prioridad de los incidentes. También tiene acceso a las áreas restringidas mediante las claves de seguridad.

3.7 *Protocolo de comunicación Modbus*

Este protocolo de comunicación fue desarrollado por la compañía norteamericana MODICON, a principios de los años 80. Su fácil manipulación en el área de las comunicaciones ha generado que en nuestra época sea el más utilizado en los sistemas de automatización y control.

La red que soporta este tipo de protocolo Modbus está basado en Ethernet, RS-485 y RS-232. Los dispositivos más comunes donde se implementan estos protocolos son: controladores lógicos programables, sensores, motores, equipo físico de entrada y salida.

El equipo que recibe la información mediante el protocolo Modbus, se le denomina maestro y los equipos que envían la información, se les llaman esclavos. En una red de comunicación puede haber como máximo 247 esclavos. En la figura 3.2 se observa un diagrama de bloque de tres dispositivos conectados como esclavos, a un solo bloque del maestro. Su comunicación es tipo punto a punto. Esto significa que si el maestro solicita alguna información, el esclavo debe responderle.

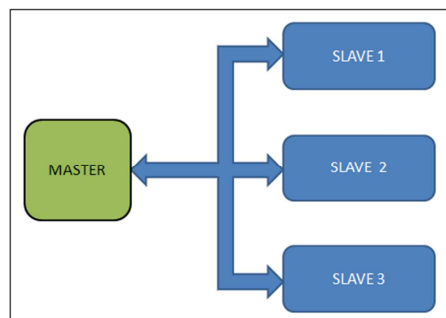


Figura 3.2 Comunicación de maestro a esclavos.

El modo de envío de los datos, se puede ejecutar mediante dos modos: el ASCII y la RTU. En el modo ASCII, envía los datos por medio del código hexadecimal de dos caracteres; en el caso del modo RTU, la transferencia se lleva a cabo mediante el código binario de 8 bits.

Cada esclavo tiene un mapa Modbus, el cual viene predeterminado por el fabricante o en algunas ocasiones el usuario lo puede definir mediante una configuración del dispositivo. Éste está compuesto por un listado de registros de los diferentes equipos que están conectados al dispositivo, ya sean motores, moto válvulas, sensores de temperatura o presión, el cual almacena los datos generados por dichos dispositivos.

3.8 *Protocolo de comunicación ControlNet.*

Es un protocolo de comunicación de red abierta que se utiliza en el campo de control automático, entre sus principales funciones esta el establecer el flujo de datos entre diferentes dispositivos de entradas y salidas por medio de la creación de nodos.

La red de comunicación ControlNet está conformada por nodos que son permitidos hasta un máximo de 99, estos pueden cubrir una distancia de un kilómetro por cada uno.

El flujo de datos tanto de entrada como de salida, se ejecuta con un solo cable coaxial RG-6 con conectores BNC, lo que genera una mayor funcionalidad en el sistema, debido a que proporciona el flujo de datos en tiempo real, porque cuenta con todo el ancho de banda del cable.

El funcionamiento de la red ControlNet se da por medio de múltiple acceso, puesto que cada nodo que es creado en esta red tiene un espacio de tiempo para enviar la información. Éste se rige mediante el algoritmo denominado CTDMA (múltiple acceso en el dominio del tiempo).

ControlNet tiene una característica particular en el campo de redes de comunicación, ya que permite la conexión a un solo maestro en la red de varias consolas que no son específicamente iguales, como se indica en la figura 3.3.

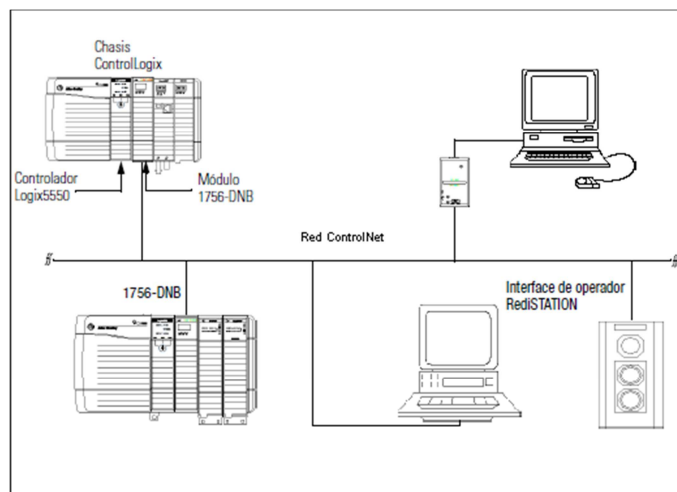


Figura 3.3 Comunicación con ControlNet.

3.9 Maestra de válvulas.

La maestra de válvulas es el dispositivo donde se conectan todas las moto válvulas, por consiguiente es la encargada de gobernar sus funciones. Ésta le envía información sobre el estado de las moto válvulas al PLC, el cual verifica si se está abriendo o cerrando la moto válvula.

CAPÍTULO 4: PROCESO METODOLÓGICO

En este capítulo se abarcará en forma detalla todos los pasos que se debe seguir para obtener la solución del problema.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Como parte de la investigación previa, se realizó una reunión con el Ingeniero Sr. Dennis Sánchez Fallas quien dio a conocer los problemas con los que cuenta el monitoreo y control de la estación, donde esté sistema es obsoleto no se le podía dar el adecuado mantenimiento. Además, la empresa que generaba los repuestos ya no los fabricaba. Esto en relación con los módulos y el controlador del PLC-5 que están instalados.

El ingeniero explicó que la solución óptima a tomar por parte de la compañía y el personal del área de mantenimiento de la unidad de instrumentación, es migrar a una nueva tecnología de controlador lógico programable, que fuera de la misma marca del modelo del PLC que está colocado en la estación; ya que, estos equipos están certificados para ser manipulados en diferentes ambientes de trabajos industriales que se llevan en el campo. Asimismo, la compañía que produce este tipo de equipo lo tiene debidamente certificado por lo que cumple con todos los estándares y normativas.

De la misma forma, profundizo en el tema de los estándares de programación, principalmente en el que se aplica a al PLC-5 mediante el software RSLogix 5. Esté programa no tiene implementado los estándares de programación, lo cual genera distintas formas de programación de las tareas que se ejecutaran en el equipo o en los instrumento.

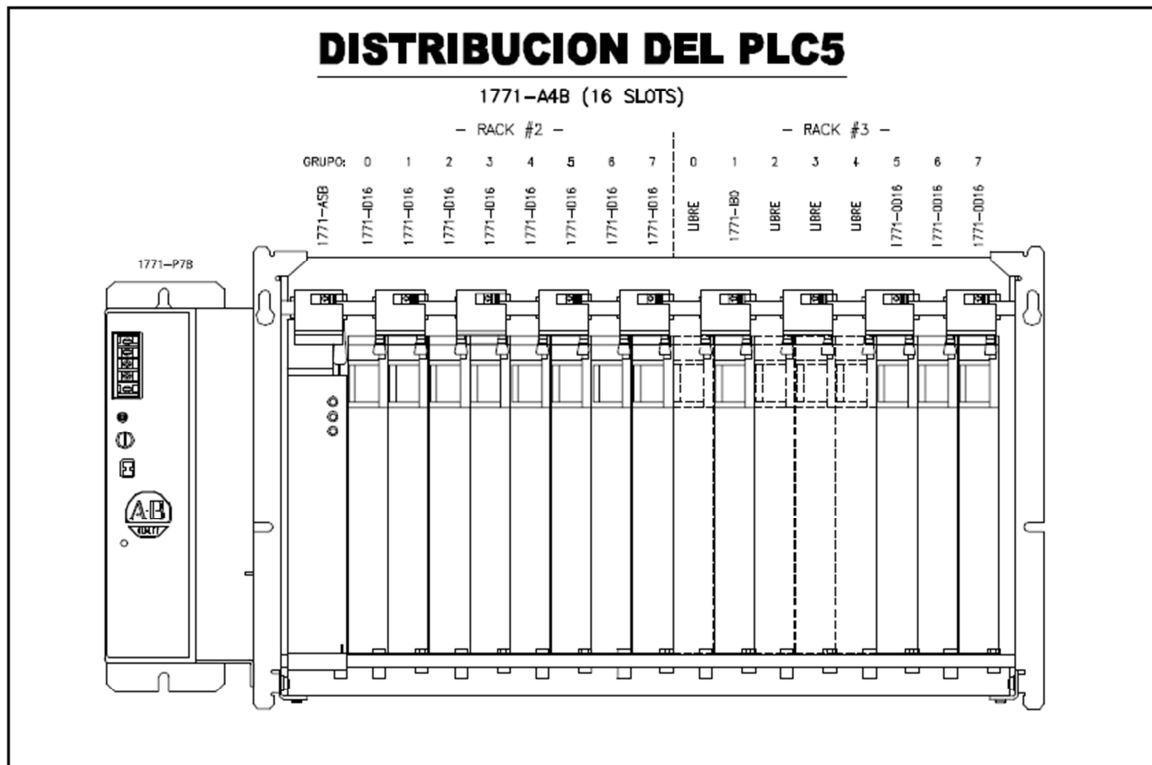


Figura 4.2 Distribución de los módulos en el chasis 2 del PLC-5.²

Este escrito cuenta con una descripción muy detallada de los módulos, el cual permitió la obtención de información de cada instrumento que está conectado con su respectivo módulo.

Por medio de este documento se llevó a cabo una investigación de las características principales de los módulos, adquirido de la página de Allen-Bradley donde se encuentran los distintos manuales.

A continuación se nombrarán los módulos que conforman el PLC-5:

- 1771-IR: RTD de entradas analógicas.
- 1771-IXE: Termocupla de entrada analógica.
- 1771-IFE: Entradas analógica.
- 1771-OFE2: Salidas analógicas.
- 1771-ID16: Entradas discretas.

² Tomado del documento: PROYECTO: #2315-07D1 RECOPE EL ALTO.

- 1771-OD16: Salidas discretas.
- 1771-ASB: Módulos para la comunicación de los dispositivos de entrada y salida que se encuentran en diferentes chasis.
- 1771-P7B: Fuente de poder.

En el caso de los módulos de entradas y salidas se crearon tablas para tener una descripción más pormenorizada de estos dispositivos, los cuales se subdividieron en tres grupos: el primer grupo describe las entradas y las salidas analógicas, el segundo las entradas y las salidas digitales y el último las salidas digitales de AC.

Tabla 4.1 Módulos del PLC 5 con entradas y salidas analógicas.

Serie del módulo	Número de entradas y salidas	Formato de los datos	Rango de Voltaje	Rango de corriente	Corriente de carga	Eficiencia del canal
1771-IR RTD Entrada	6 RTD (Tres-cables)	Binario natural, BCD para la actual temperatura o lecturas de Ohm	100 Ω platino 100 Ω de cobre o de otro tipo		800 mA	<ul style="list-style-type: none"> • 50 ms/8 canal • 16 bits (0.1°C/0.1°F/bit)
1771-IXE Termocupla Entrada (mV)	8 entradas flotantes diferenciales	Binario natural, BCD para la actual temperatura o lecturas de mili voltios	Tipo E, J, K, R, S, T ±99.99 mV		750 mA	<ul style="list-style-type: none"> • 50 ms/8 canal • 15 bits + sign (1.0 °C / 1.0 °F/ bit)
1771-IFE Entradas	8 entradas diferenciales o 16 sencillas	Binario natural, BCD escalable ±9999	0...5V DC 1...5 DC ±5V DC ±10V DC	4...20 mA 0...20 mA ±20 mA	750 mA	<ul style="list-style-type: none"> • 18 ms/8 canal; 36 ms/16 canal • 12 bits + signo
1771-OFE2 Salidas	4 salidas aisladas diferenciales (1000V)	Binario natural, BCD escalable ±9999		4...20 mA	1.5 A	<ul style="list-style-type: none"> • 8.0 ms/4 canal (BCD); 1.6 ms/4 canal (Binario) • 12 bits

Tabla 4.2 Módulos del PLC 5 con entradas y salidas digitales.

Serie del módulo	Número de Entradas	Voltaje	Rango de operación del voltaje	Delay de la señal	Corriente máxima en Off-State	Corriente de carga	Aplicaciones
1771-ID16 AC/DC Entrada	16	120V AC/DC	77...138V AC 105...138V DC	on = 1 ms off AC = 9 o 18 ms off DC = 9 ms	4.0 mA AC 0.8 mA DC	75 mA	Propósito general 120V AC/DC, EI circuito aislado, multi-fase
1771-IBD DC Entradas	16	10...60V DC (Carga de la fuente)	10...30V	on = 1.3 (±0.1) ms off = 1.3 (±0.1) ms	2.0 mA	130 mA	Compatible con: dry-contact switches, transmisores electromecánicos y paneles de "switches"

Tabla 4.3 Módulos del PLC 5 con salidas digital AC.

Serie del módulo	Voltaje	Rango de operación del voltaje	Corriente continua por salida máxima	Corriente por módulo máxima	Número de Salidas	Corriente de carga	Aplicaciones
1771-OD16 Salida AC	120V AC	74...138V	2 A	8 A	16	200 mA	Los circuitos aislados, múltiples solenoides y los transformadores

Con base en la información anterior, se crearon las siguientes tablas para cada uno de los módulos de entradas y salidas, donde se describen los diferentes instrumentos de medición que se encuentran conectados directamente al módulo y sus características principales.

Tabla 4.4 Rack 0, Slot 2, Módulo 1771-IR 6 Entradas Analógicas RTD.

Numero de Entrada	Dispositivo Conectado	Resistencia del metal
0	MP-001 Devanado R del motor (TE10)	100 Ω platino
1	MP-001 Devanado S del motor (TE11)	100 Ω platino
2	MP-001 Devanado T del motor (TE12)	100 Ω platino
3	Cojinete exterior MP-001 (TE13)	100 Ω platino
4	Cojinete interior del MP-001 (TE9)	100 Ω platino

Tabla 4.5 Rack 0, Slot 1 Módulo 1771-IR 6 Entradas Analógicas RTD.

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Resistencia del metal
0	MP-002 Devanado R del motor (TE18)	100 Ω platino
1	MP-002 Devanado S del motor (TE19)	100 Ω platino
2	MP-002 Devanado T del motor (TE20)	100 Ω platino
3	Cojinete exterior del MP-002 (TE21)	100 Ω platino
4	Cojinete interior del MP-002 (TE17)	100 Ω platino
5	Temperatura del densitómetro Línea 3 (TE22)	100 Ω platino

Tabla 4.6 Rack 0, Slot 3 Módulo 1771-IXE 8 Entradas Analógicas flotantes para Termocupla.

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	MP-001 Caja de bomba Termocupla J (TE7)	± 99.99 mV
1	MP-001 Cojinete Exterior Bomba Termocupla J (TE6)	± 99.99 mV
2	MP-001 Cojinete Interior Bomba Termocupla J (TE8)	± 99.99 mV
4	MP-002 Caja de bomba Termocupla J (TE15)	± 99.99 mV
5	MP-002 Cojinete Exterior Bomba Termocupla J (TE14)	± 99.99 mV
6	MP-002 Cojinete Interior Bomba Termocupla J (TE16)	± 99.99 mV

Tabla 4.7 Rack 0, Slot 5 Módulo 1771-IFE 16 Entradas Analógicas

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Corriente
0	Presión de entrada Línea 1 (PT-1)	4-20 mA
1	Presión de entrada Línea 2 (PT-2)	4-20 mA
2	Presión de descarga Línea 3 (PT-7)	4-20 mA
10	Sumidero 1 (LT_SUM1)	4-20 mA
11	Sumidero 2 (LT_SUM2)	4-20 mA

Tabla 4.8 Rack 0, Slot 7 Módulo 1771-OFE2 4 Salidas Analógicas Diferenciales

Número de Salida	Dispositivo Conectado	Rango de Corriente
0	Caudal Línea 1	4-20 mA
1	Densidad Línea 1	4-20 mA
2	Caudal Línea 2	4-20 mA
3	Densidad Línea 2	4-20 mA

Tabla 4.9 Rack 1, Slot 0 Módulo 1771-OFE2 4 Salidas Analógicas Diferenciales

Número de Salida	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Caudal Línea 3	4-20 mA
1	Densidad Línea 3	4-20 mA
2	Señal de Control Válvula Entrada L1	4-20 mA
3	Señal de Control Válvula Entrada L2	4-20 mA

Tabla 4.10 Rack 2, Slot 0 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digital

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
1	Selector Manual/Automático En Automático(MP-001)	120V AC
2	Baja presión succión MP-001 (PSL6)	120V AC
3	Falla de sello MP-001 (LSH6)	120V AC
4	Sobrecarga MP-001	120V AC
5	Operando Bomba MP-001	120V AC
6	Detenida bomba MP-001	120V AC

Tabla 4.11 Rack 2, Slot 1 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Operando BP-001	120V AC
1	Detenida BP-001	120V AC
12	Manual/Automático MP-002 (MP-002)	120V AC
13	Baja presión succión MP-002 (PSL5)	120V AC
14	Falla de sello MP-002 (LSH5)	120V AC
15	Sobrecarga MP-002	120V AC
16	Operando Bomba MP-002	120V AC
17	Detenida bomba MP-002	120V AC

Tabla 4.12 Rack 2, Slot 2 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
10	Operando bomba BP-002	120V AC
11	Detenida bomba BP-002	120V AC

Tabla 4.13 Rack 2, Slot 3 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Operando bomba sumidero SP-1	120V AC
1	Detenida bomba sumidero SP-1	120V AC
4	Alta presión entregada Línea 1 (PSH1)	120V AC
5	Cochino entrando Línea 1 (YS-1)	120V AC
13	Operando bomba de sumidero	120V AC
14	Detenida bomba de sumidero	120V AC
17	Alta presión entrada Línea 2 (PSH2)	120V AC

Tabla 4.14 Rack 2, Slot # 4 Módulo 1771-ID16 16 Entradas Digitales

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Cochino entrando Línea 2 (YS-2)	120V AC
10	Alta presión descarga Línea 3 (PSH7)	120V AC
11	Cochino saliendo Línea 3 (YS-3)	120V AC
12	Disparo interruptor termomagnético	120V AC
13	Baja presión aire de instrumentos(PSH8)	120V AC

Tabla 4.15 Rack 3, Slot # 1 Módulo 1771-IBD16 16 Entradas Digitales

Número de Entrada	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	LSH Tanque 101(CIT2604 Citel DL18024)	24 V DC
2	LSH Tanque 102(CIT2608 Citel DL18024)	24 V DC
3	LSH Tanque 106(CIT2608 Citel DL18024)	24 V DC
4	LSH Tanque 103(CIT2612 Citel DL18024)	24 V DC
5	LSH Tanque 104(CIT2612 Citel DL18024)	24 V DC
6	LSH Tanque 105(CIT2616 Citel DL18024)	24 V DC
7	LSH Tanque 115(CIT2616 Citel DL18024)	24 V DC
10	LSH Tanque 120(CIT2620 Citel DL18024)	24 V DC
11	LSH Tanque 109(CIT2620 Citel DL18024)	24 V DC
12	LSH Tanque 110(CIT2624 Citel DL18024)	24 V DC
13	LSH Tanque 107(CIT2624 Citel DL18024)	24 V DC
14	LSH Tanque 108(CIT2628 Citel DL18024)	24 V DC
15	LSH Tanque 119(CIT2628 Citel DL18024)	24 V DC
16	LSH Tanque 111(CIT2632 Citel DL18024)	24 V DC
17	LSH Tanque 116(CIT2632 Citel DL18024)	24 V DC

Tabla 4.16 Rack 3, Slot # 5 Módulo 1771-OD16 16 Salidas Digitales

Número de Salida	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Relé de paro MP-001	120V AC
1	Relé de arranque MP-001	120V AC
2	Válvula venteo cámara bomba MP-001	120V AC
11	Arranque/Paro BP-001	120V AC

Tabla 4.17 Rack 3, Slot # 6 Módulo 1771-OD16 16 Salidas Digitales

Número de Salida	Dispositivo Conectado	Rango de Voltaje
0	Relé de paro MP-002.	120V AC
1	Relé de arranque MP-002.	120V AC
2	Válvula venteo cámara bomba MP-002	120V AC
11	Arranque/Paro BP-002	120V AC
14	Disparo Línea 1	120V AC
15	Disparo Línea 2	120V AC
16	Alarma auditiva estación	120V AC

En las tablas anteriores se observa que cada dispositivo cuenta con un código descriptivo según el instrumentó de medición, el cual es relacionado mediante un tag (etiqueta) establecido por la empresa. A continuación se desglosa el significado de cada uno de los tags en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Tags relacionado al instrumento.

Tags	Descripción
TE	Elemento de temperatura
PT	Transmisor de presión
LT	Transmisor de nivel
LSH	Interruptor de alto nivel
PSL	Interruptor de baja presión
PSH	Interruptor de alta presión
MP	Motor-Bomba
YS	Interruptor de paso de cochina

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.

Por medio de una reunión que se realizó con el asesor de la compañía el Ingeniero Dennis Sánchez, se discutió cómo abordar la solución del problema, ya que él cuenta con mayor experiencia en el desarrollo de proyectos similares que ha llevado a cabo en RECOPE.

Las recomendaciones que me formuló son las posteriores:

- Tener conocimiento del modo de operación y del funcionamiento de la estación.
- Generar un listado de los del PLC-5 y buscar los equivalentes para el nuevo PLC ControlLogix.
- Realizar un mapeo de todas las entradas y las salidas del ControlLogix, para generar los tags de cada dispositivo conectado a éste.
- En el caso del programa, estudiar el lenguaje de programación de las aplicaciones ya generadas en el PLC-5, para definir los procesos que se deben proponer en el programa.
- Tener en cuenta cumplir con los estándares de programación.
- Con respecto al lenguaje de programación, se deberá: investigar sobre las herramientas de software que se van a utilizar antes de crear el programa.

4.4 Implementación de la solución.

4.4.1 Investigación de los módulos del ControlLogix.

Por medio de la información adquirida de los módulos del PLC-5, se obtuvieron los módulos equivalentes para el ControlLogix. La relación entre los módulos se logro por medio de los datos que se encuentran en la página web de la compañía Allen-Brabley.

Para los módulos equivalentes de entradas y salidas que se van a utilizar en la implementación de la solución del proyecto, se realizaron las siguientes tablas, donde se colocan las cualidades específicas de cada módulo.

Tabla 4.19 Módulos para el ControlLogix con entradas y salidas analógicas.

Serie del módulo	Número de Entradas y Salidas	Rango	Resolución	El bloque de terminal removible
1756-IR6I Analógico RTD Thermocouple	6 entradas individuales aisladas RTD	1...487 W 2...1000 W 4...2000 W 8...4020 W	16 bits 1...487 W: 7.7 mW/bit 2...1000 W: 15 mW/bit 4...2000 W: 30 mW/bit 8...4020 W: 60 mW/bit	1756-TBNH 1756-TBSH
1756-IF16 Entradas Analógicas	16 entradas sencillas o 8 diferenciales o 4 diferenciales de alta velocidad	±10.5V 0...10.5V 0...5.25V 0...21 mA	16 bits 10.5V: 343 mV/bit 0...10.5V: 171 mV/bit 0...5.25V: 86 mV/bit 0...21 mA: 0.34 mA/bit	1756-TBCH 1756-TBS6H
1756-OF4 Salidas Analógicas	4 salidas de voltaje o corriente	±10.4V 0...21 mA	Voltaje: 15 bits 10.5V, 320 mV/bit Corriente: 15 bits 21mA, 650 nA/bit	1756-TBNH 1756-TBSH

Tabla 4.20 Módulos para el ControlLogix con entradas y salidas digitales.

Serie del módulo	Número de Entradas y Salidas	Voltaje	Rango de operación del voltaje	El bloque de terminal removible
1756-IB16 Entradas digitales DC	16 entradas (8 punto/grupo)	12/24V DC sink	10...31.2V DC	1756-TBNH 1756-TBSH
1756-OA16I Salidas digitales AC	16 entradas individuales aisladas	120/240V AC	74...265V AC	1756-TBCH 1756-TBS6H

En el caso de las comunicaciones vía Modbus se utilizó el módulo MVI56-MCM.

Con respecto a la comunicación entre un chasis y otro, se recurrió al módulo 1756-CNB, el cual se conecta mediante el protocolo ControlNet.

Para el tipo de chasis serie B, es necesario colocar una fuente de poder, la cual es 1756-PA75/B y su rango de operación del voltaje entre 85 y 256V AC.

4.4.2 Investigación del control PID para las PCV.

En el desarrollo del lazo de control PID de las válvulas de control de presión PCV, se acudió al documento del autor Gregory K. McMillan titulado Tuning and Control Loop Performance, donde una de sus principales características se basa en el control de flujos.

Mediante las siguientes ecuaciones ya establecidas en el documento antes mencionado, se obtuvo la parte derivativa, integral y proporcional del control PID.

$$kp = \frac{100}{PB} * E \quad (4.1)$$

$$ki = \frac{100}{PB} * \frac{1}{T_i} * \int E dt \quad (4.2)$$

$$kd = \frac{100}{PB} * T_d * \frac{dE}{dt} \quad (4.3)$$

Donde:

PB = Banda proporcional (%).

E = Error.

T_i = Tiempo integral.

T_d = Tiempo derivativo.

Para conseguir los valores predeterminados en las ecuaciones anteriores, se empleo los valores ya establecidos de la siguiente tabla, la cual se logró del mismo escrito.

Tabla 4.21 Configuraciones típicas de los controladores

Tipo de lazo	PB (%)	T_i (r/m)	T_d (m)
Flujo	100-500	10-50	Ninguno
Líquido con presión	100-500	10-50	Ninguno
Gas con presión	1-50	2-10	0.02-0.1
Nivel	1-50	4-20	0.01-0.05
Temperatura	10-100	0.02-1	0.5-20
Cromatografía	200-800	0.01-0.1	Ninguno

4.4.3 Investigación de los softwares de programación.

Para familiarizarse con las tres softwares de programación de la compañía Rockwell Automatic, se tuvo que buscar tutoriales para la utilización de dichas herramientas.

En el caso particular del software de programación RSLogix 5000, se emplearán los siguientes documentos: Instrucciones generales de controladores Logix5000™ y Procedimientos comunes de los controladores Logix5000™.

Para el software RSLinx se obtuvo los subsiguientes escritos: Principios básicos de EtherNet/IP y Intro to ENetIP Allen Bradley.

La creación de la interface se generó por medio del software RSView32 y se utilizó el documento: Guía de inicio con RSView32 - Getting Results Guide.

Todos los escritos mencionados anteriormente en este inciso son descargados de la página oficial de la firma Rockwell Automatic.

4.5 *Reevaluación y rediseño.*

A partir del trabajo realizado en el presente proyecto, se llevará a cabo el nombramiento de los nuevos tag usados en la propuesta, el rediseño se da porque este tipo de implementación se va a realizar en todos los planteles de RECOPE. Éste está respaldado con el documento Standards and Practices for instrumentation, donde se logró el tag específico de cada instrumento o equipo.

Se deberá de crear los estándares de programación y estos se deberán aplicar en todos los demás planteles de RECOPE para futuros proyectos relacionados con PLC.

Asimismo, en la implementación de la interface, se generará una igual o semejante, a la que ya está en los PLC-5 para que los operadores que manipulan dicha herramienta se familiaricen y ejecuten las funciones correspondientes.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En este capítulo se describe en forma detallada la proyección de la solución implementada en el Diseño del sistema de control de la estación de bombeo en El Alto de Ochomogo.

5.1 Descripción del hardware.

Con base en la implementación de las diferentes herramientas de hardware que se van a utilizar, la descripción detallada de la estructura y la implementación de éste, se subdividió el problema en diferentes diagramas de bloques, que van de lo mas general a lo más específico, para de esta manera obtener la solución del problema.

5.1.1 Diagrama de primer nivel.

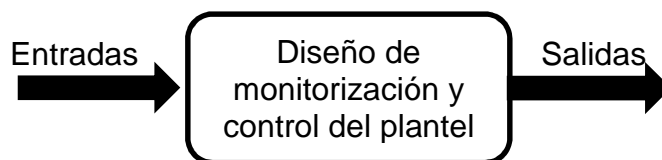


Figura 5.1 Diagrama de primer nivel.

En la figura 5.1 se da a conocer la implementación del diseño del diagrama de primer nivel, el cual consiste en un bloque principal, donde se generan las aplicaciones principales o tareas para el funcionamiento óptimo del proyecto.

Con respecto a las señales de entradas, éstas entregan información al bloque principal, para la toma de decisiones de las diferentes tareas que son para el funcionamiento del plantel. Las señales de entradas están conformadas por los diferentes equipos de instrumentación que se conectan al PLC ControlLogix, ya sean analógicas, discretas y de comunicación, las cuales dan a conocer la información de su operación.

En el caso de las señales de salidas, son generadas para la intervención de los diferentes equipos que se ubican en el plantel, ya sean para efectos de control de las válvulas PCV, como también en la toma de decisiones del funcionamiento adecuado de la instrumentación, principalmente basados en la seguridad. Las señales de salidas están conformadas por señales analógicas, discretas y de comunicación.

5.1.2 Diagrama de segundo nivel.



Figura 5.2 Diagrama de segundo nivel.

En el diagrama de segundo nivel que se observa en la figura 5.2, se subdividió en tres grandes bloques, los cuales se van a describir a continuación:

5.1.2.1 Instrumentación.

Se ha desarrollado un listado del equipo de instrumentos que se utilizó en la implementación del proyecto. En la tabla 5.1 se muestra el instrumento con su respectivo tag.

Además, se cuenta con los siguientes equipos: dos PCV (válvulas de presión de presión), dos booster y dos motores eléctricos. Estos se describen mediante los tags: PCV-001 y PCV-002 para las dos válvulas de presión, MP-001 y MP-002 para los dos motores eléctricos y BP-001 o BP-002 para las dos boosters.

Tabla 5.1 Cantidad de instrumentos que interactúan con el ControlLogix.

Instrumento	Tag	Cantidad
Elemento de sensor de temperatura de los devanados del motor 1.	TE_MOTE1	3
Elemento de sensor de temperatura de los devanados del motor 2.	TE_MOTE2	3
Elemento de sensor de temperatura.	TE	11
Transmisor de presión.	PT	3
Transmisor de nivel.	LT	2
Interruptor de presión baja.	PSL	2
Interruptor de nivel.	LS	2
Interruptor de presión alta.	PSH	4
Cochino en la Línea.	YS	2
Interruptor de alto nivel.	LSH	15
Densidad en la línea.	DFR	3
Flujo en la línea.	FJR	3

5.1.2.2 Bloque ControlLogix.

El bloque de ControlLogix que se muestra en la figura 5.4 y 5.5 está conformado por todos los módulos que se van a emplear en el desarrollo de la implementación, los cuales son:

- 1 módulos 1756-L61 el cual es el procesador.
- 2 módulos 1756-CNB para comunicación vía ControlNet.
- 3 módulos 1756-IR6I de entradas analógicas para las RTD.
- 1 módulos 1756-IFE16 de entradas analógicas.
- 2 módulos 1756-OF4 de salidas analógicas.
- 6 módulos 1756-IB16 de entradas digitales.
- 2 módulos 1756-OA16I de salidas digitales.

- 2 módulos 1756-PA75/B de fuentes de poder.
- 1 módulo MVI56-MCM para la comunicación vía Modbus.

En el anexo B.2 se señala la distribución de los módulos en el chasis serie B de la compañía Rockwell, adaptado específicamente para el PLC ControlLogix.

La comunicación entre los dos chasis se lleva a cabo por medio del protocolo ControlNet mediante un cable coaxial RG-6.

5.1.2.3 Bloque PC.

En el bloque de la PC, que es un computador donde van instaladas todas las herramientas de software que se van a implementar en el desarrollo de la solución del trabajo, debe haber un tipo de comunicación entre el PLC ControlLogix y la PC, dicha comunicación se da por medio de un cable RS-232, con protocolo DF-1 entre el módulo 1756-L61 y el puerto RS-232 de la PC.

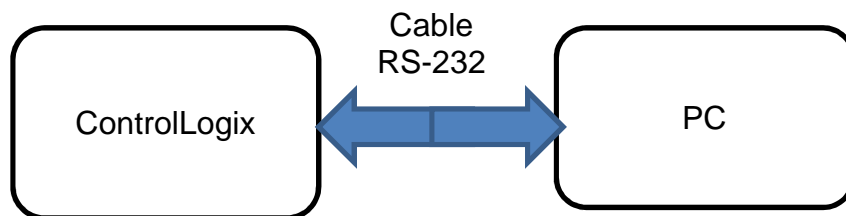


Figura 5.3 Comunicación entre el PLC y la PC.

5.1.3 Diagramas de tercer nivel.

Estos diagramas se particularizan por la conexión eléctrica de los módulos del PLC, con sus respectivos instrumentos de medición caracterizados con el tag específico del equipo.

Para éstos hay un nuevo tag que se creó para los dispositivos genéricos, los cuales son nombrados con la asignatura XS.

Asimismo, cada tag del equipo tiene una descripción detallada de la característica o función que el instrumentó está realizando.

La forma de conectar los dispositivos a los diferentes módulos se ejecuta con las hojas de datos que se encuentran en el Anexo B.1.

Cada módulo tiene una terminal de bloques removibles específica, como se observa en la figura 5.4. Las distintas clases de bloques se colocan en el Anexo B.2.

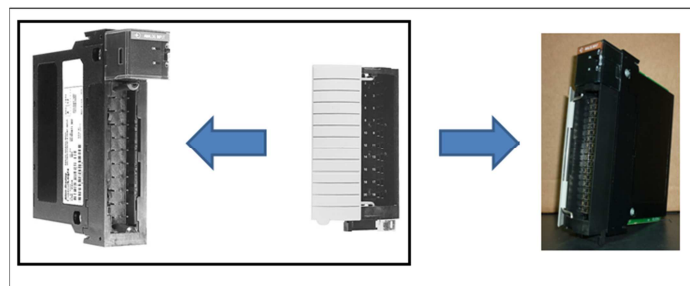


Figura 5.4 Terminal de boques removibles para los módulos.

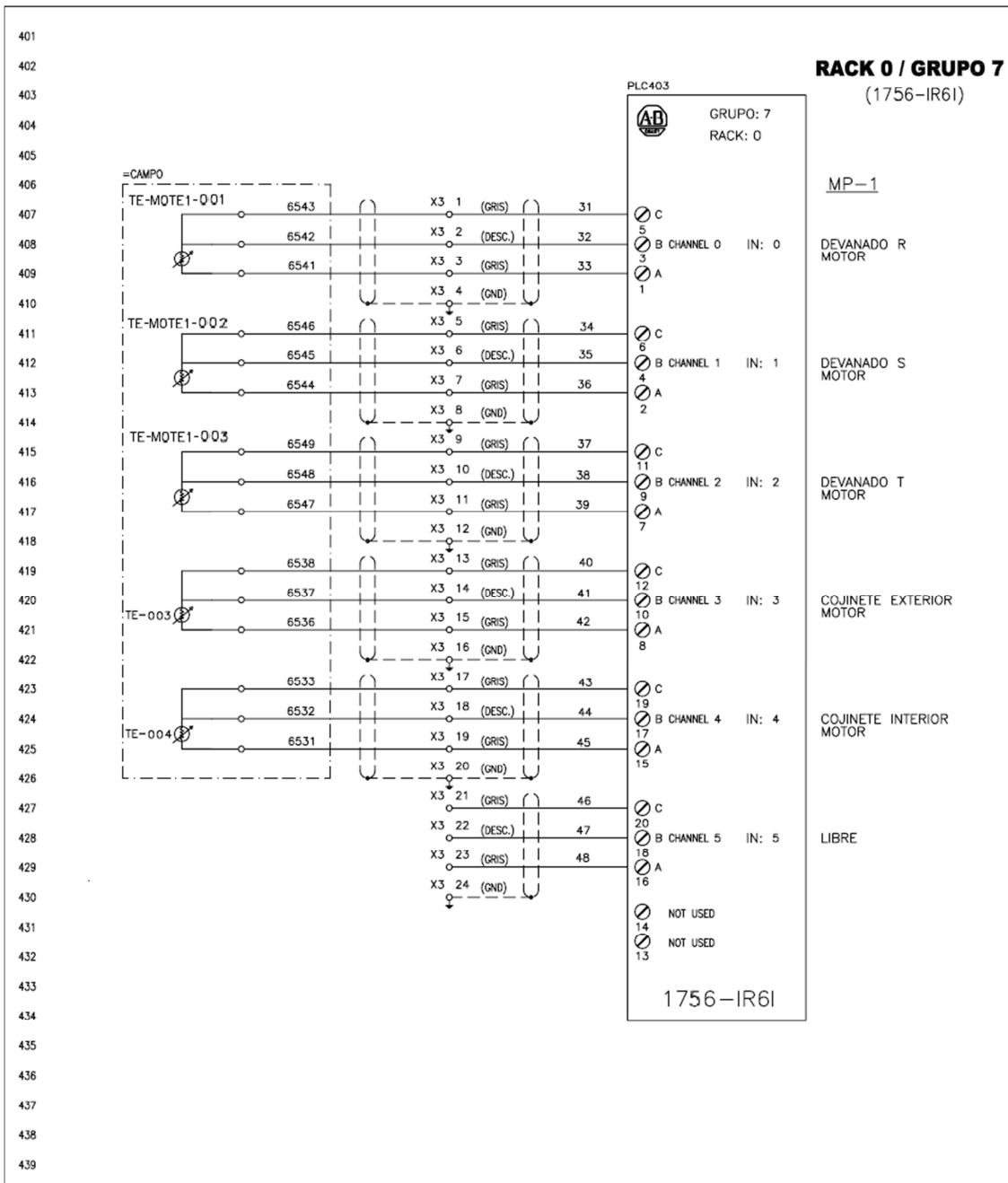


Figura 5.5 Módulos 1756-IR6I colocado en el rack 0, grupo 7.

En la figura 5.5 se indica el módulo 1756-IR6I, el cual es el encargado de recibir las señales analógicas de los instrumentos RTD. Su función es la monitorización de los dispositivos de temperatura del motor MP-001, que están colocados en los tres devanados del motor R, S y T, además en el cojinete interior y exterior del motor MP-001.

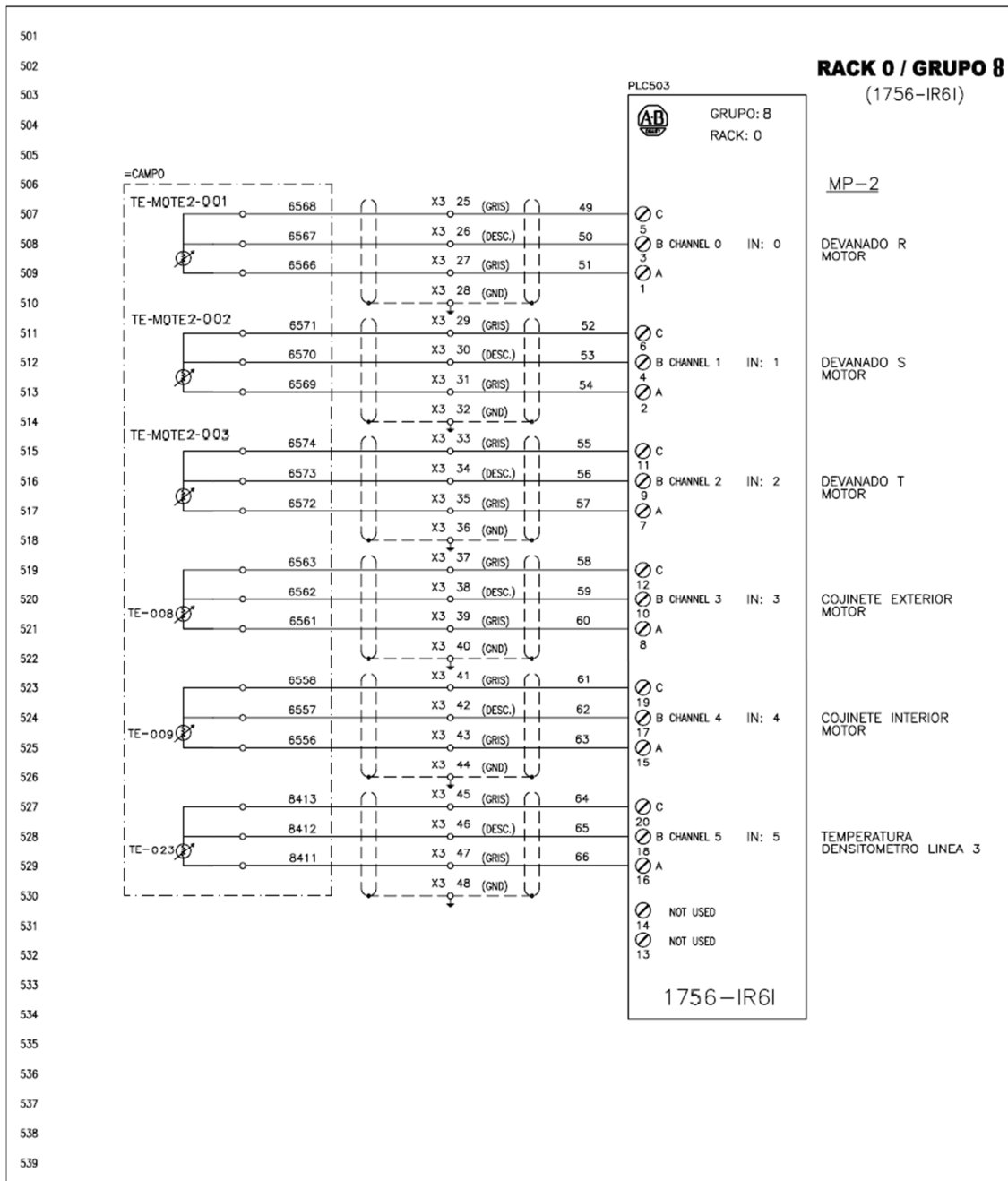


Figura 5.6 Módulos 1756-IR6I ubicado en el rack 0, grupo 8.

El módulo que se muestra en la figura 5.6 realiza exactamente la misma función del anterior, sólo que éste es específico del motor MP-002 y su única diferencia es la presencia de una señal analógica más, la cual censa la temperatura del densitómetro situado en la Línea 3 del plantel.

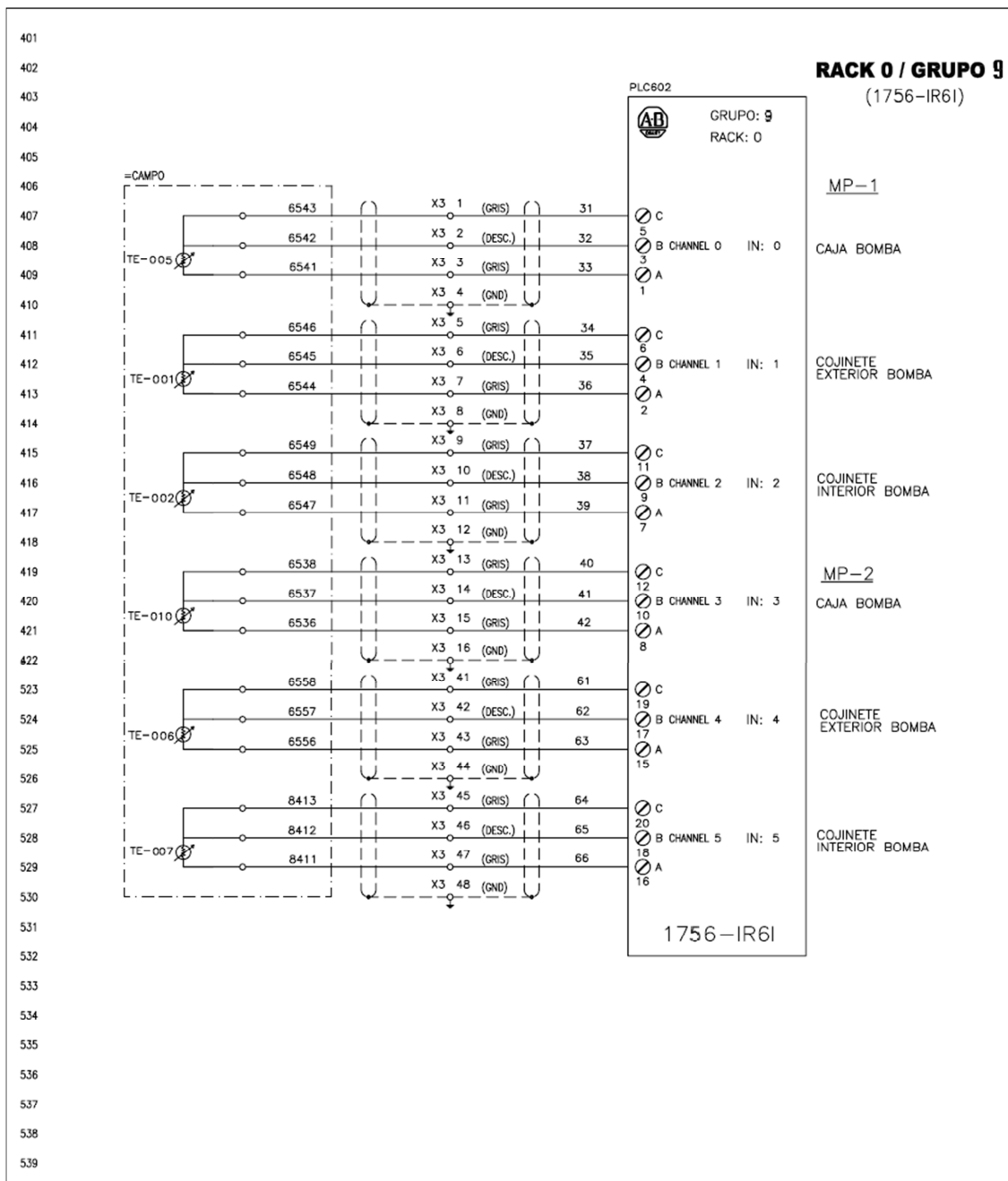


Figura 5.7 Módulos 1756-IR6I puesto en el rack 0, grupo 9.

Este módulo obtiene las señales analógicas de las temperaturas de la bomba de los dos motores, estos sensores están situados en la caja de bomba, el cojinete interior y el cojinete exterior, como se observa en la figura 5.7. La medición de las diferentes temperaturas se realiza mediante RTD.

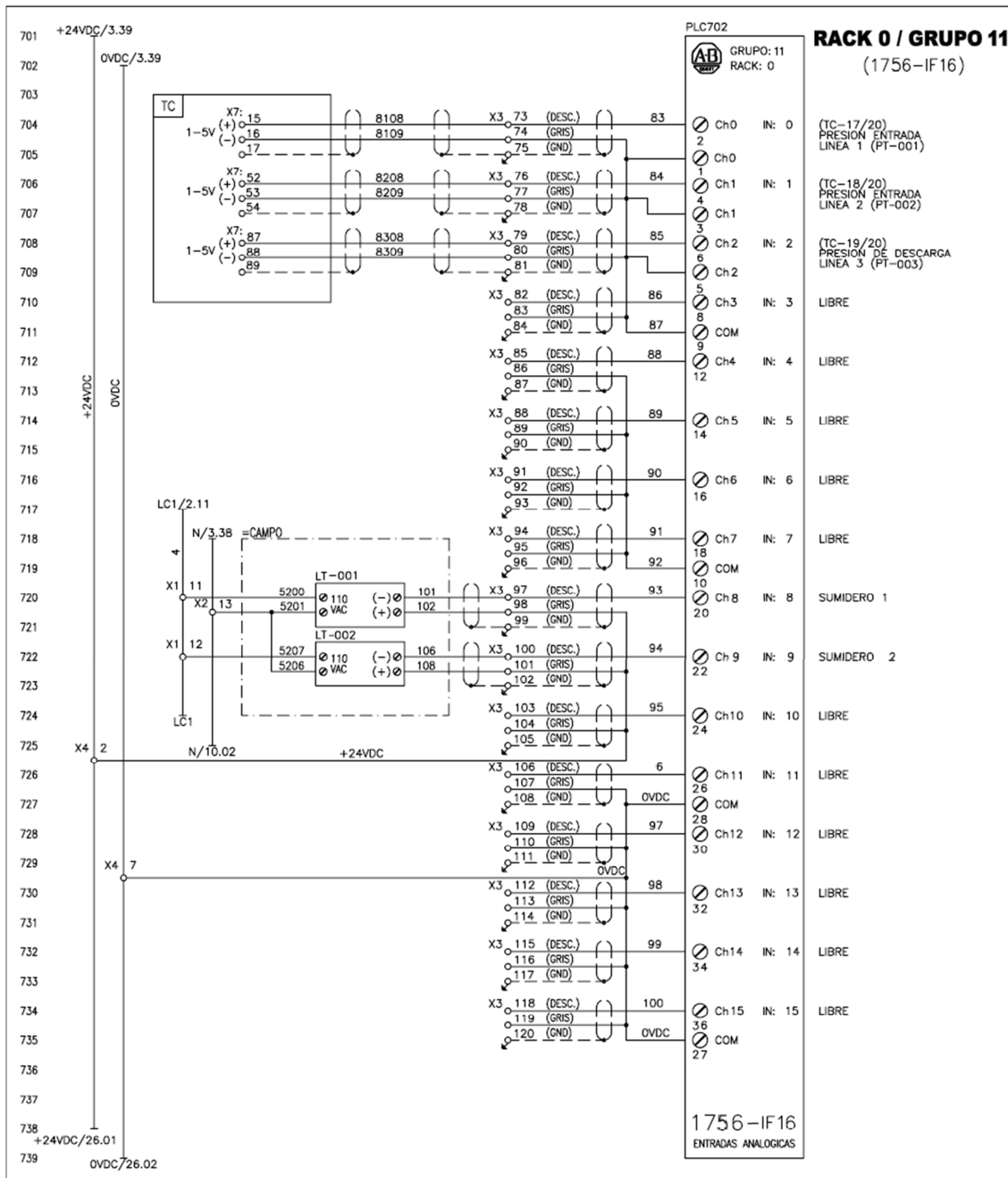


Figura 5.8 Módulos 1756-IF16 colocado en el rack 0, grupo 11.

El módulo de la figura 5.8 obtiene las señales de entrada analógicas de la presión de la línea 1 y 2 como también el nivel de los sumideros 1 y 2.

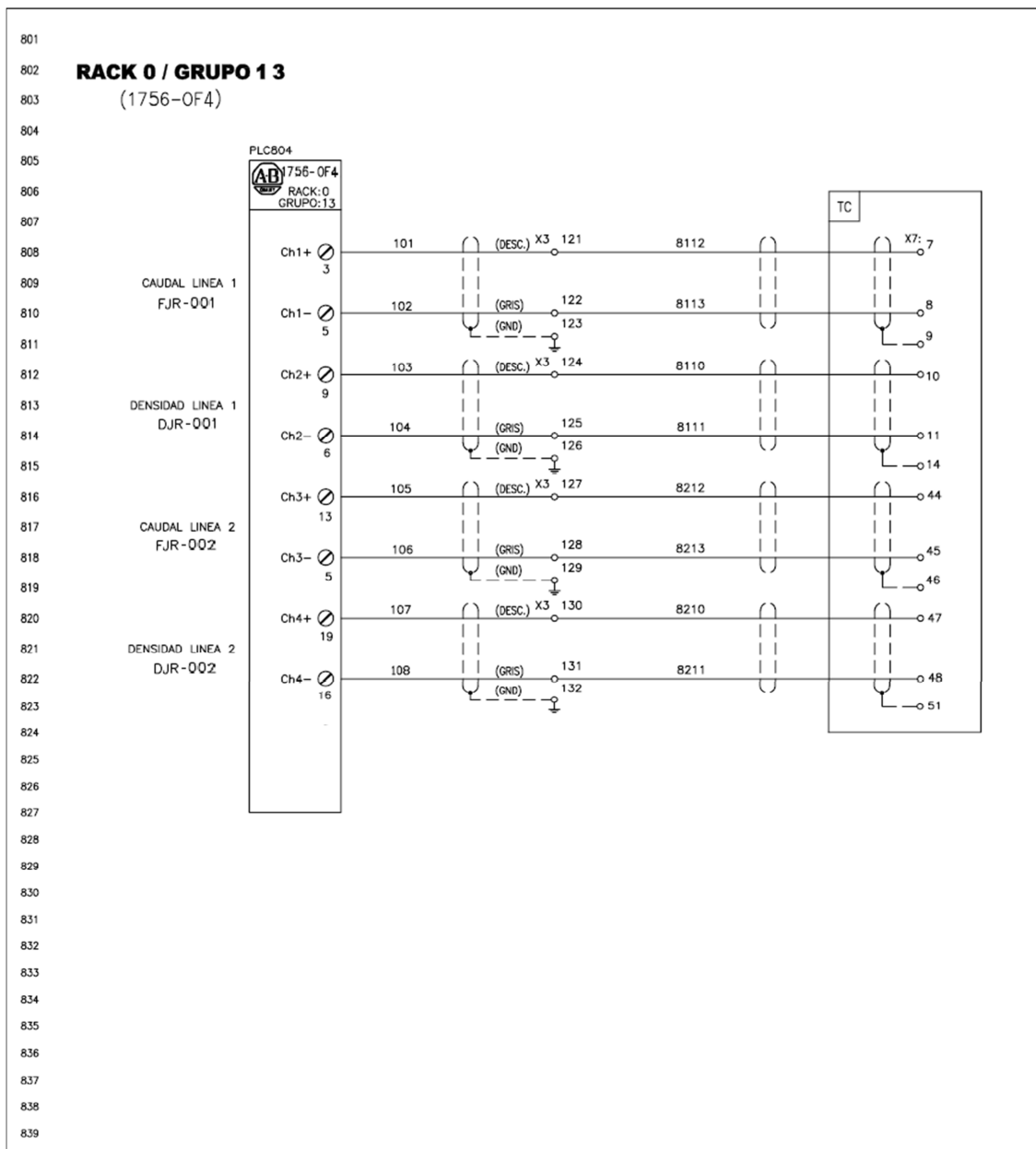


Figura 5.9 Módulos 1756-OF4 ubicado en el rack 0, grupo 13.

El módulo 1756-OF4 de la figura 5.9, tiene cuatro canales de salida, señales que serán enviadas a un tablero de control, según la densidad y el caudal que hay en la línea 1 y 2.

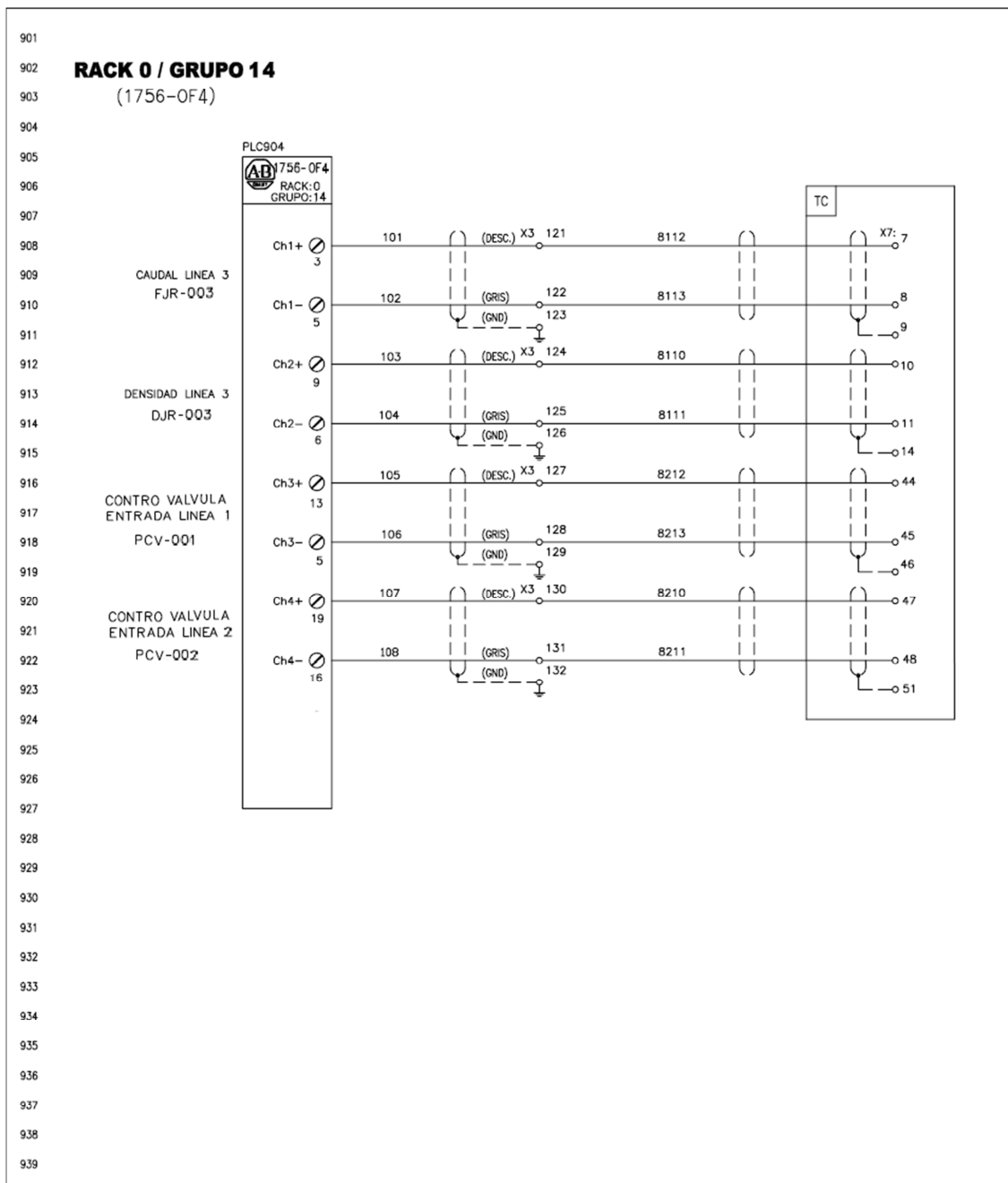


Figura 5.10 Módulos 1756-OF4 puesto en el rack 0, grupo 14.

El módulo 1756-OF4 de la figura 5.10, cuenta con 4 canales de salidas analógicas, donde dos de éstos canales son para enviar la información a un tablero el cual muestra la densidad y el flujo de la línea 3; por consiguiente los otros dos canales sirven para el control de la válvula de entrada de la PCV-001 y PCV-002.

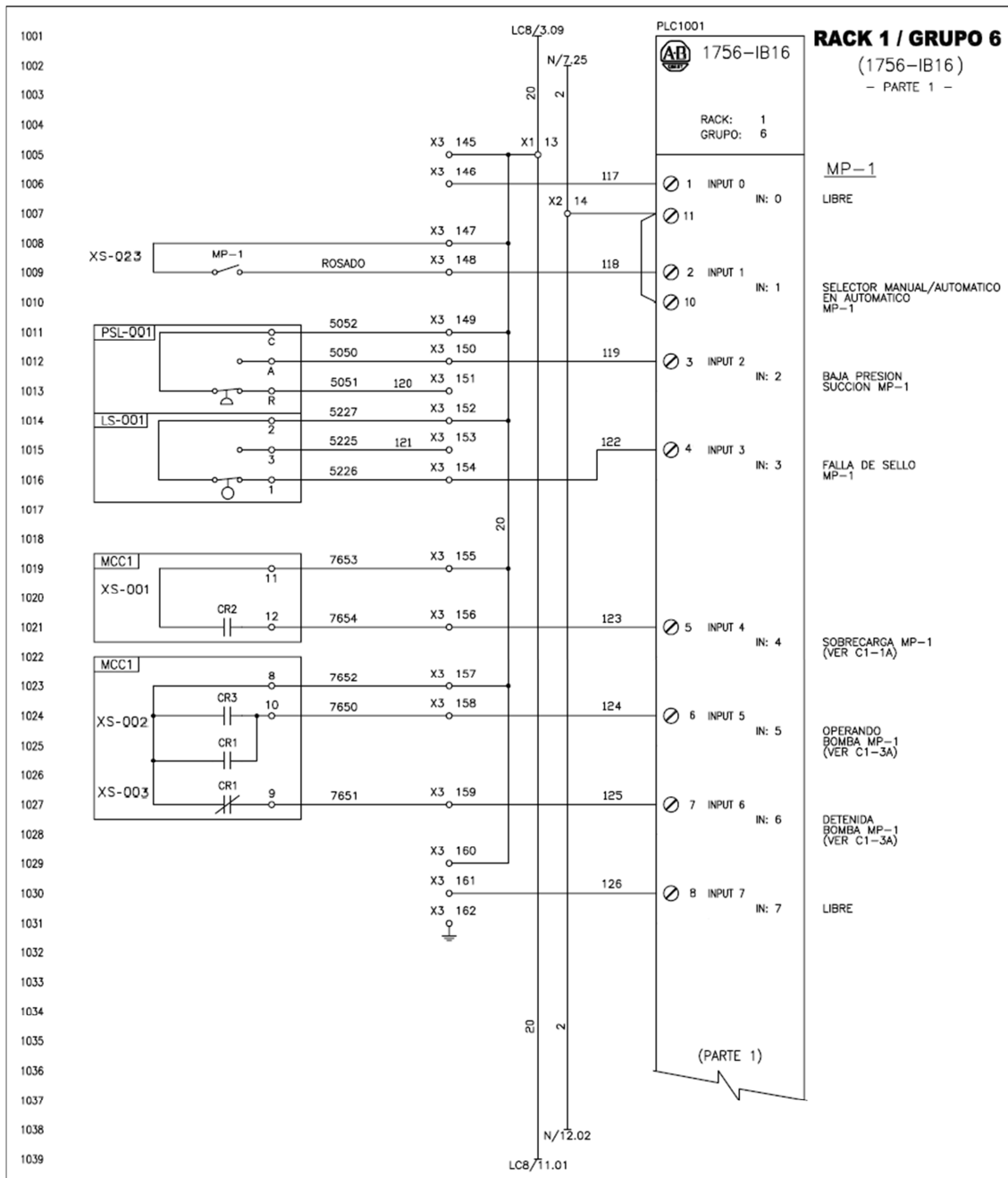


Figura 5.11 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 6 parte 1.

El módulo 1756-IB16 que se muestra en la figura 5.11 y 5.12, obtiene las señales discretas de entradas de los equipos, que velan por el óptimo funcionamiento del motor MP-001, las cuales se describen en las mismas.

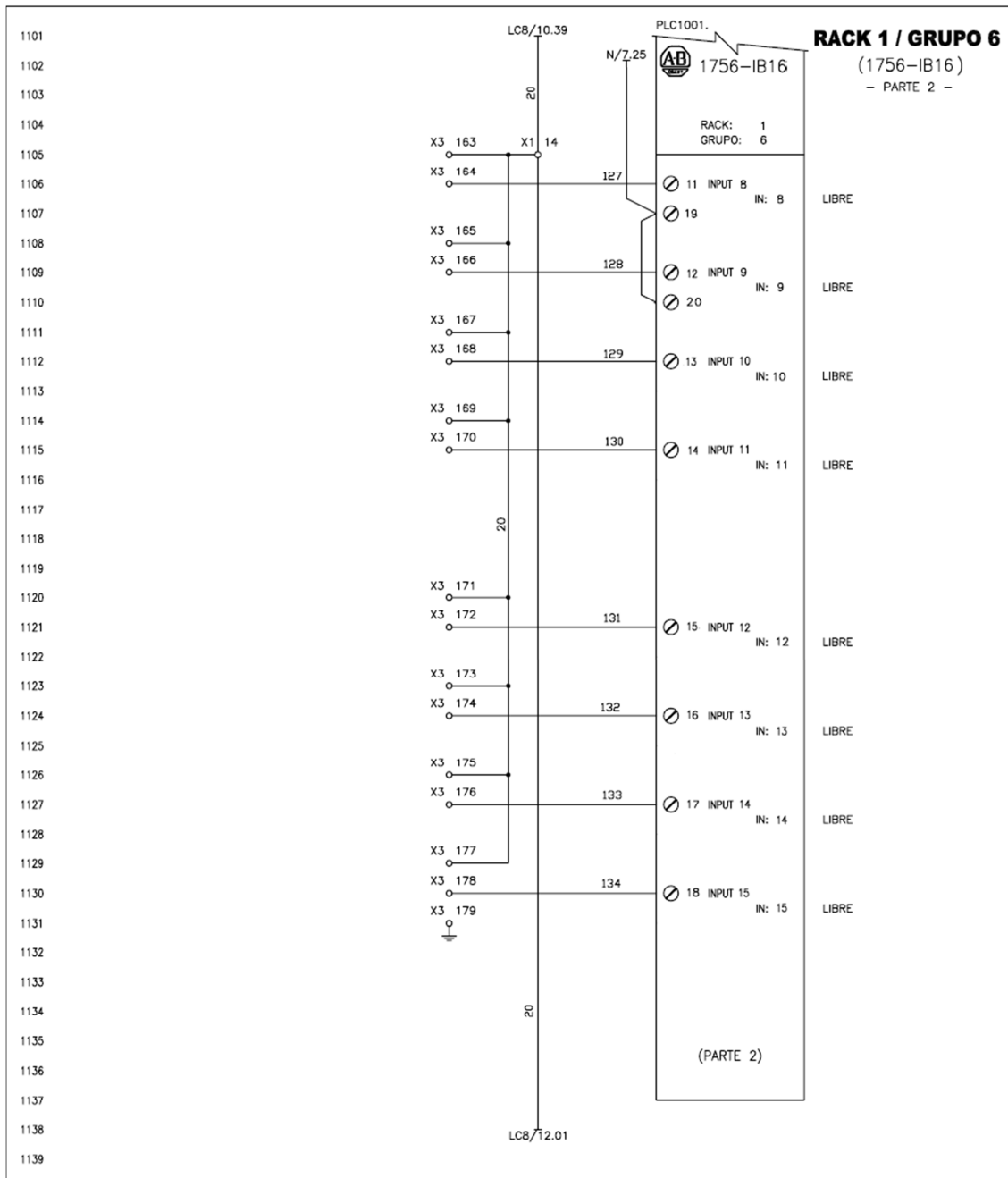


Figura 5.12 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 6 parte 2.

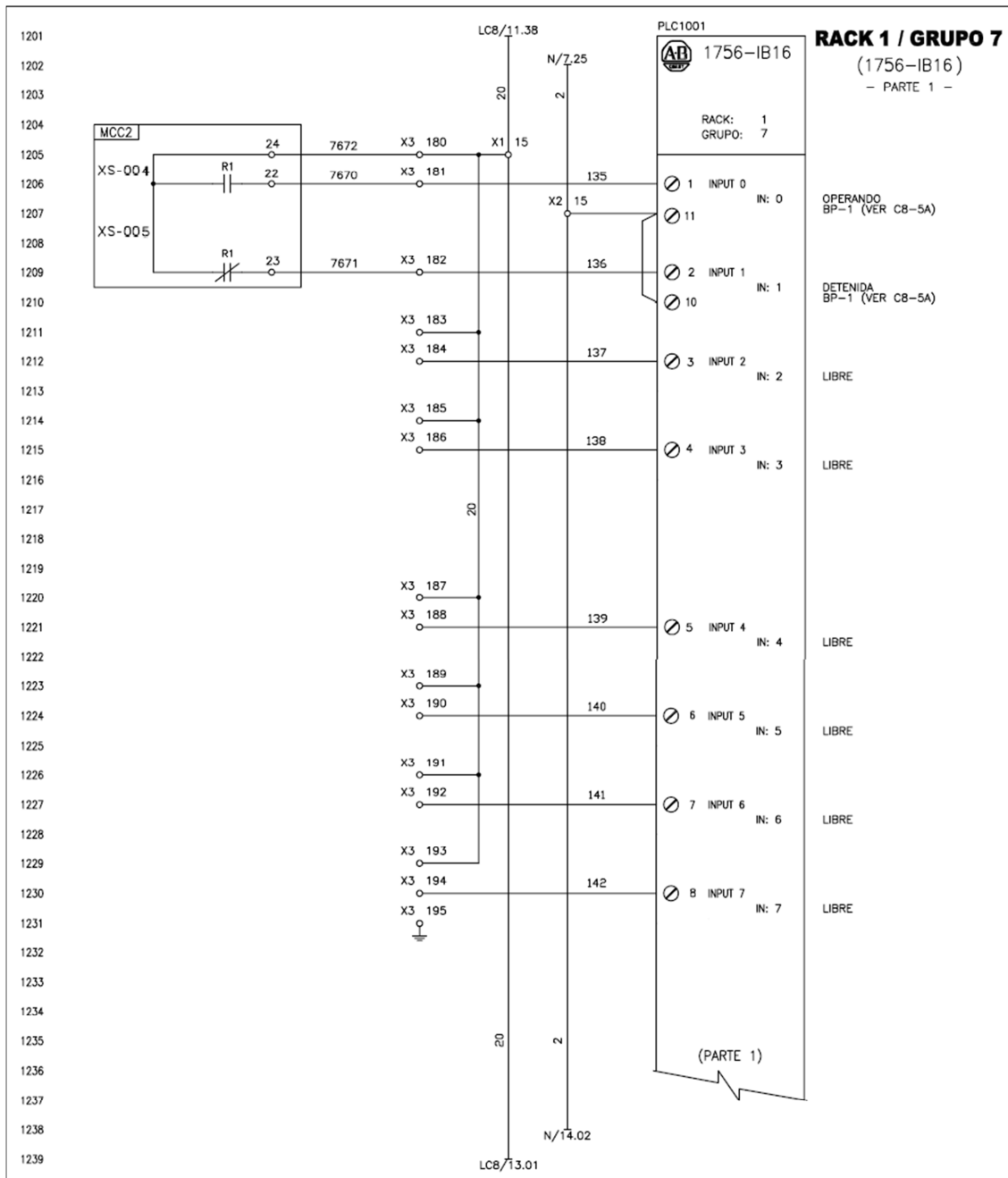


Figura 5.13 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 7 parte 1.

El módulo 1756-IB16 que se muestra en la figura 5.13 y 5.14, obtiene las señales discretas de entradas de los equipos que velan por el óptimo funcionamiento del motor MP-002, las cuales se describen en dichas figuras. También, éste recibe las señales de la booster BP-001, dónde se describe el estado de operación de la misma.

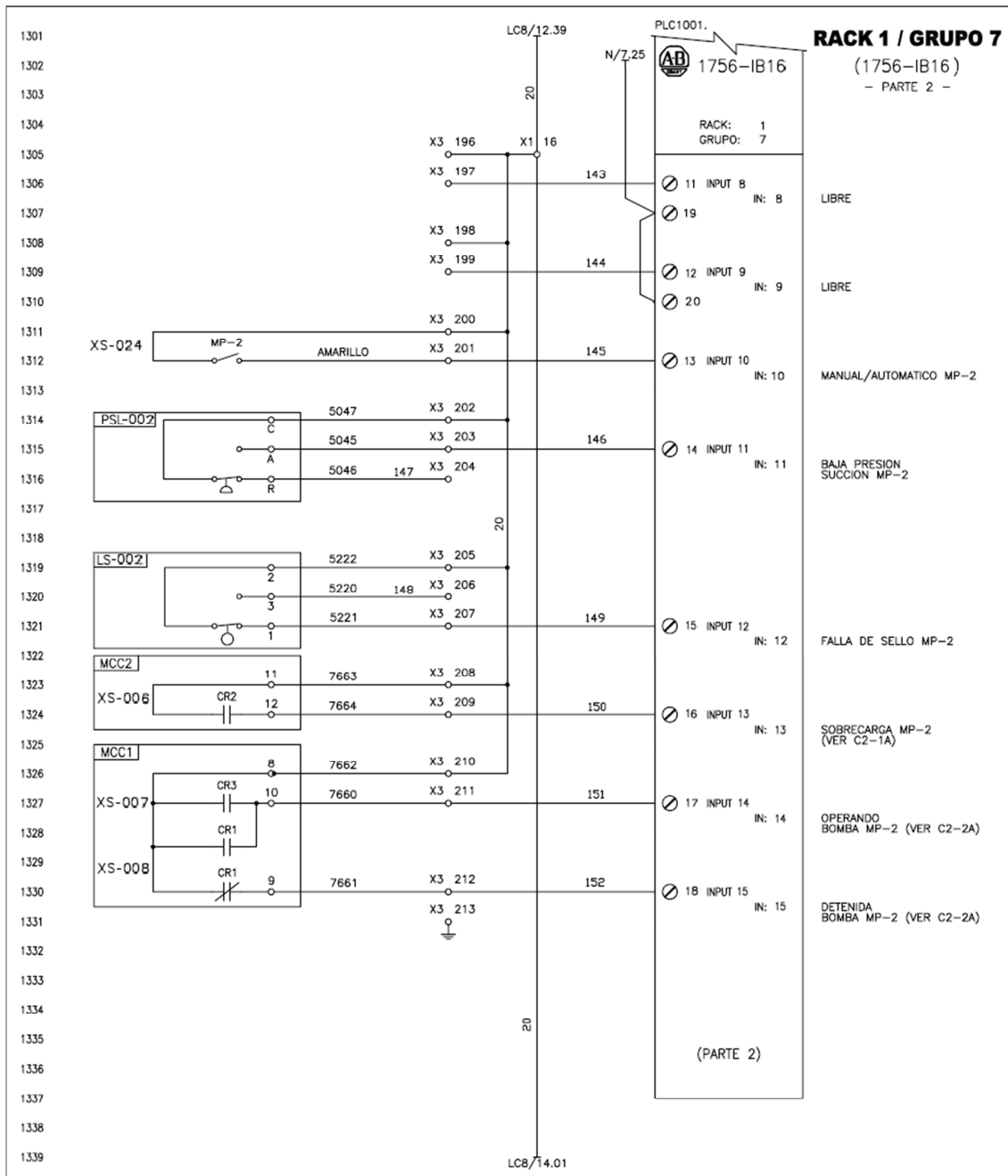


Figura 5.14 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 7 parte 2.

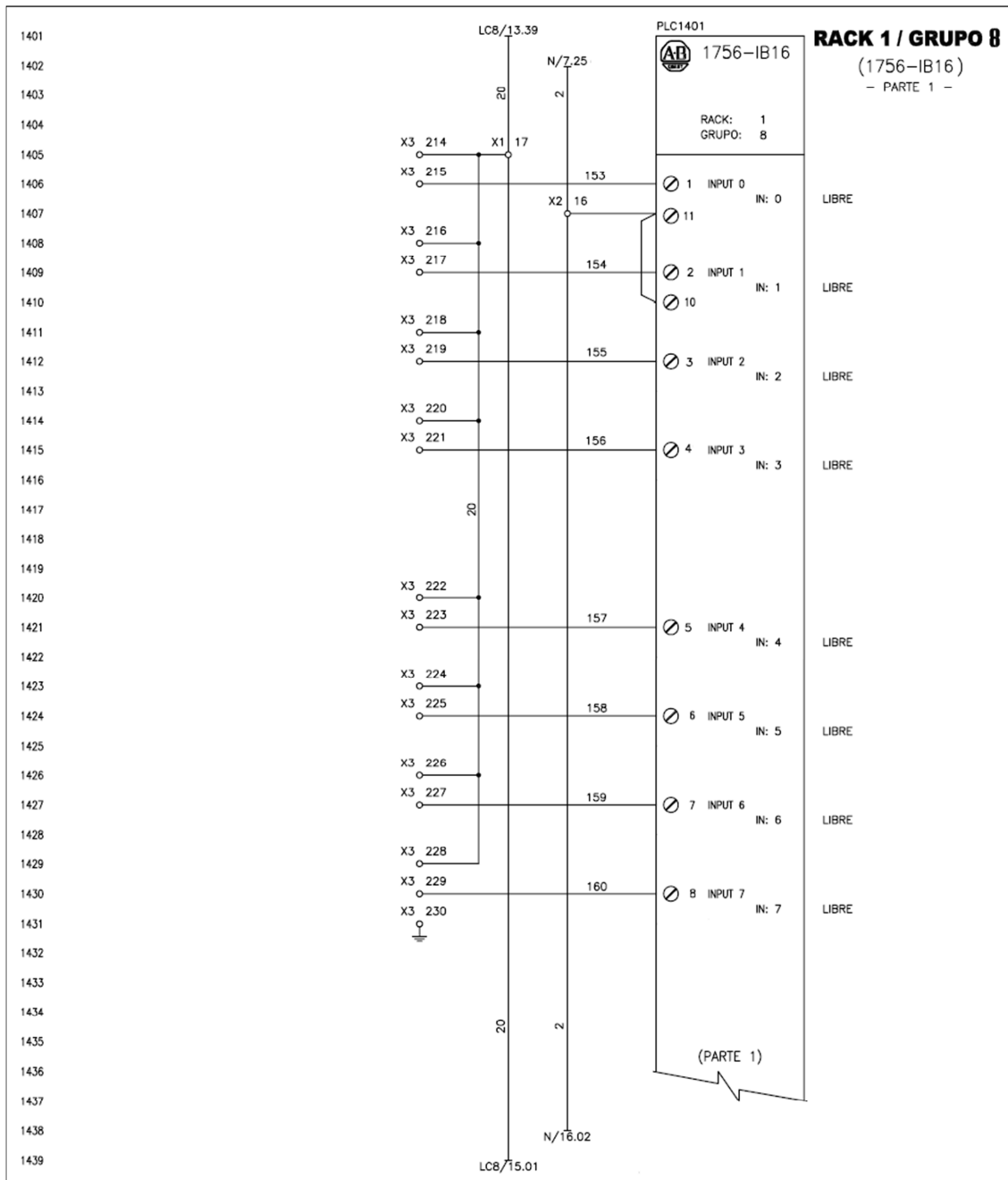


Figura 5.15 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 8 parte 1.

El módulo 1756-IB16, el cual se indica en la figura 5.15 y 5.16, obtiene las señales discretas de entradas de la booster BP-002, para saber si está operando o está detenida.

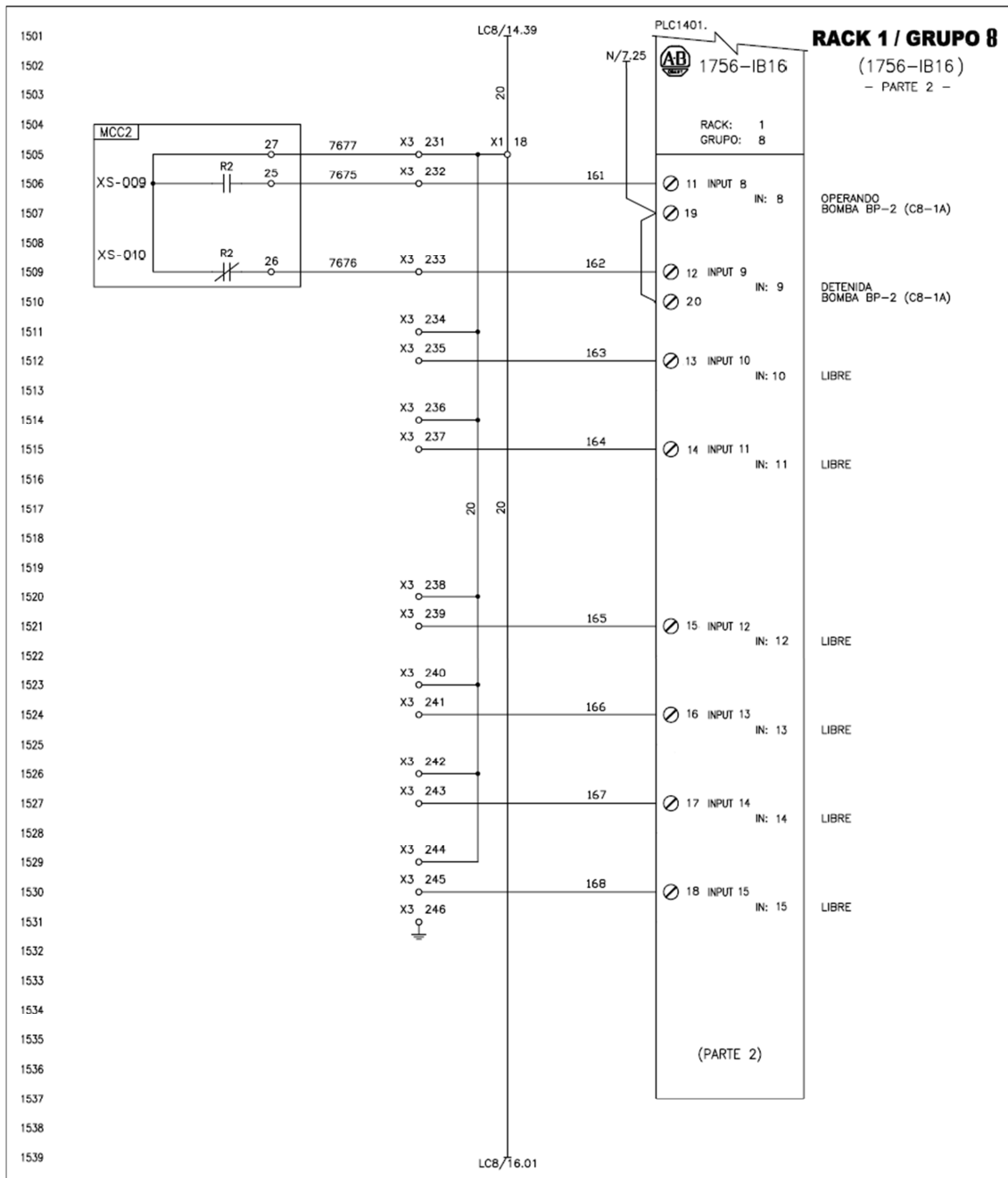


Figura 5.16 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 8 parte 2.

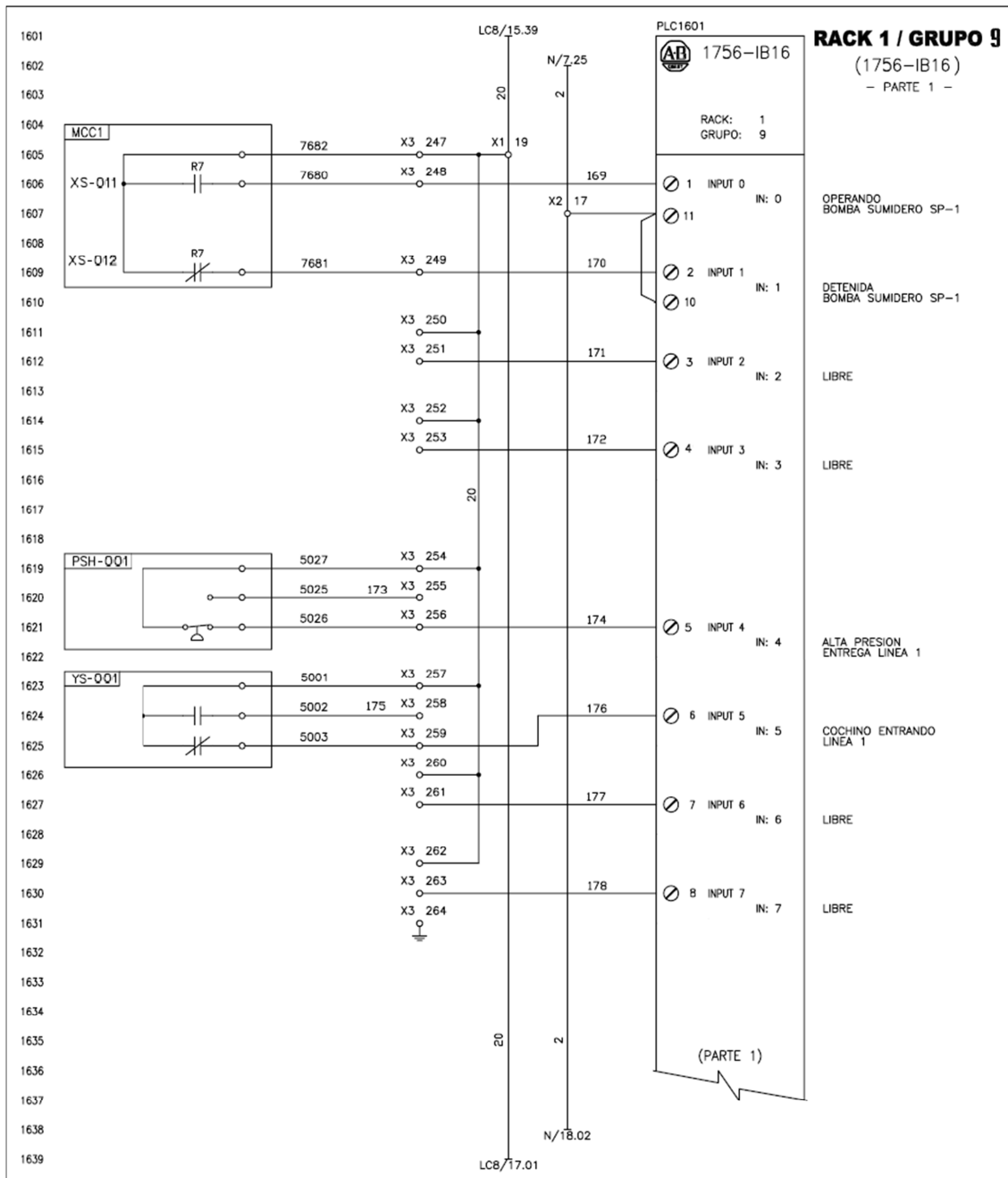


Figura 5.17 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 9 parte 1.

El módulo 1756-IB16, el cual se denota en la figura 5.17 y 5.18, recibe las señales de entradas discretas que describen si hay alta presión en la línea 1 o 2; como también si el sumidero 1 y 2 están operando o están detenidos. Además da a conocer si el cochino está entrado en la línea 1.

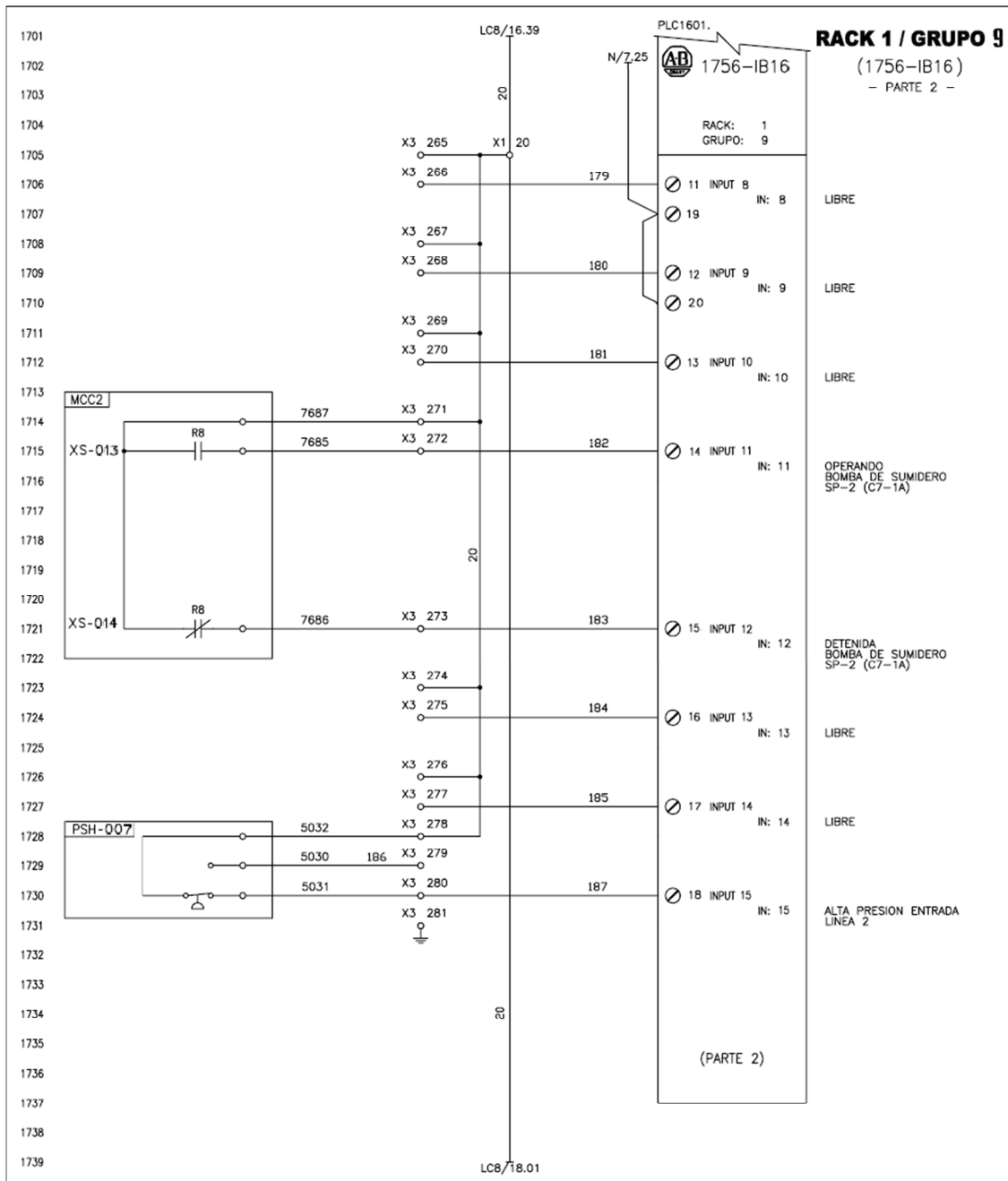


Figura 5.18 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 9 parte 2.

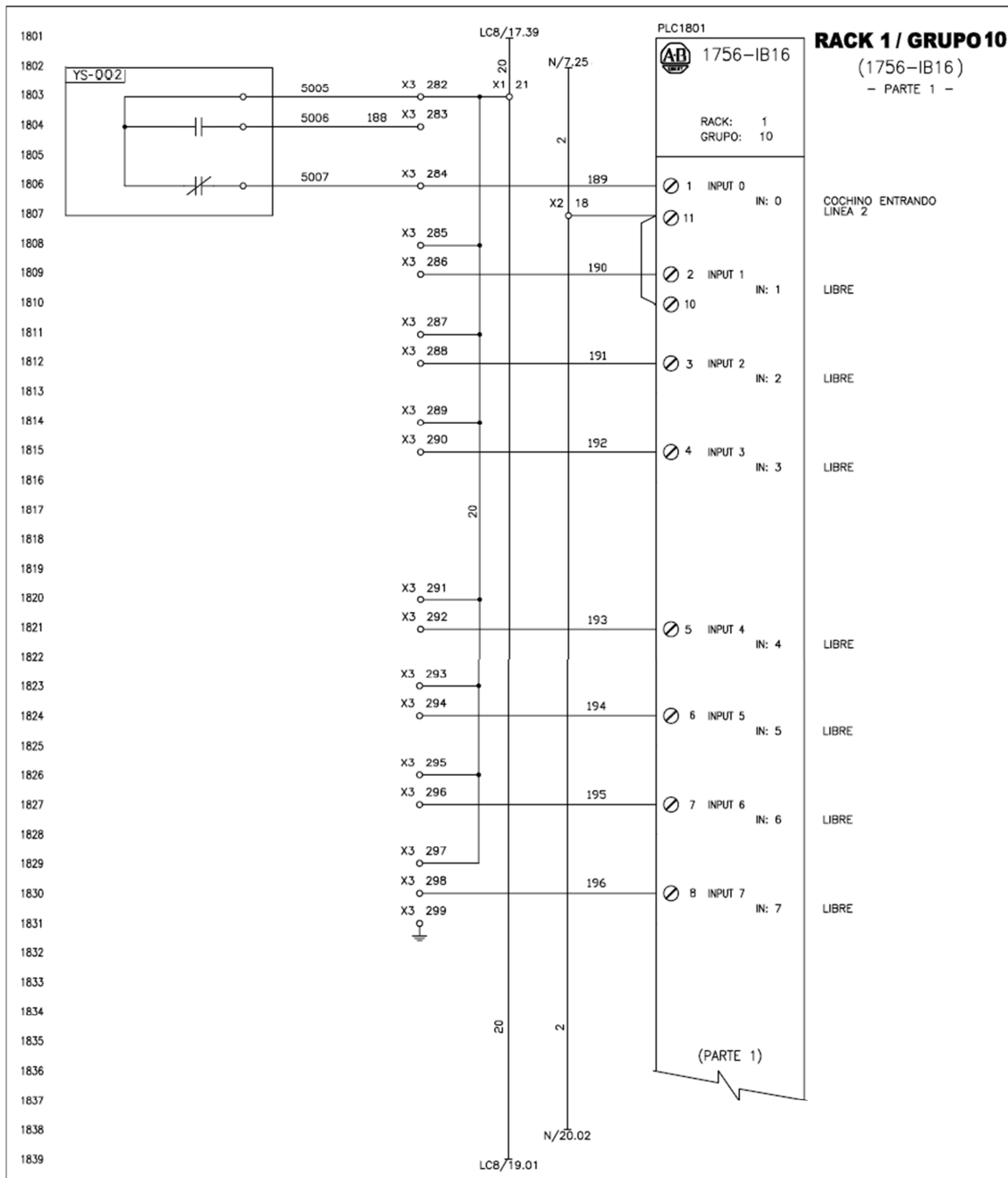


Figura 5.19 Módulos 1756-IB16 puesto en el rack 1, grupo 10 parte 1.

El módulo 1756-IB16, el cual se muestra en la figura 5.19 y 5.20, obtiene las señales de entradas discretas que describen si hay alta presión en la línea 3 o baja presión de descarga en los instrumentos, además si existe un disparo termomagnético. Permite conocer si el cochino está entrando en la línea 2 o está saliendo en la 3.

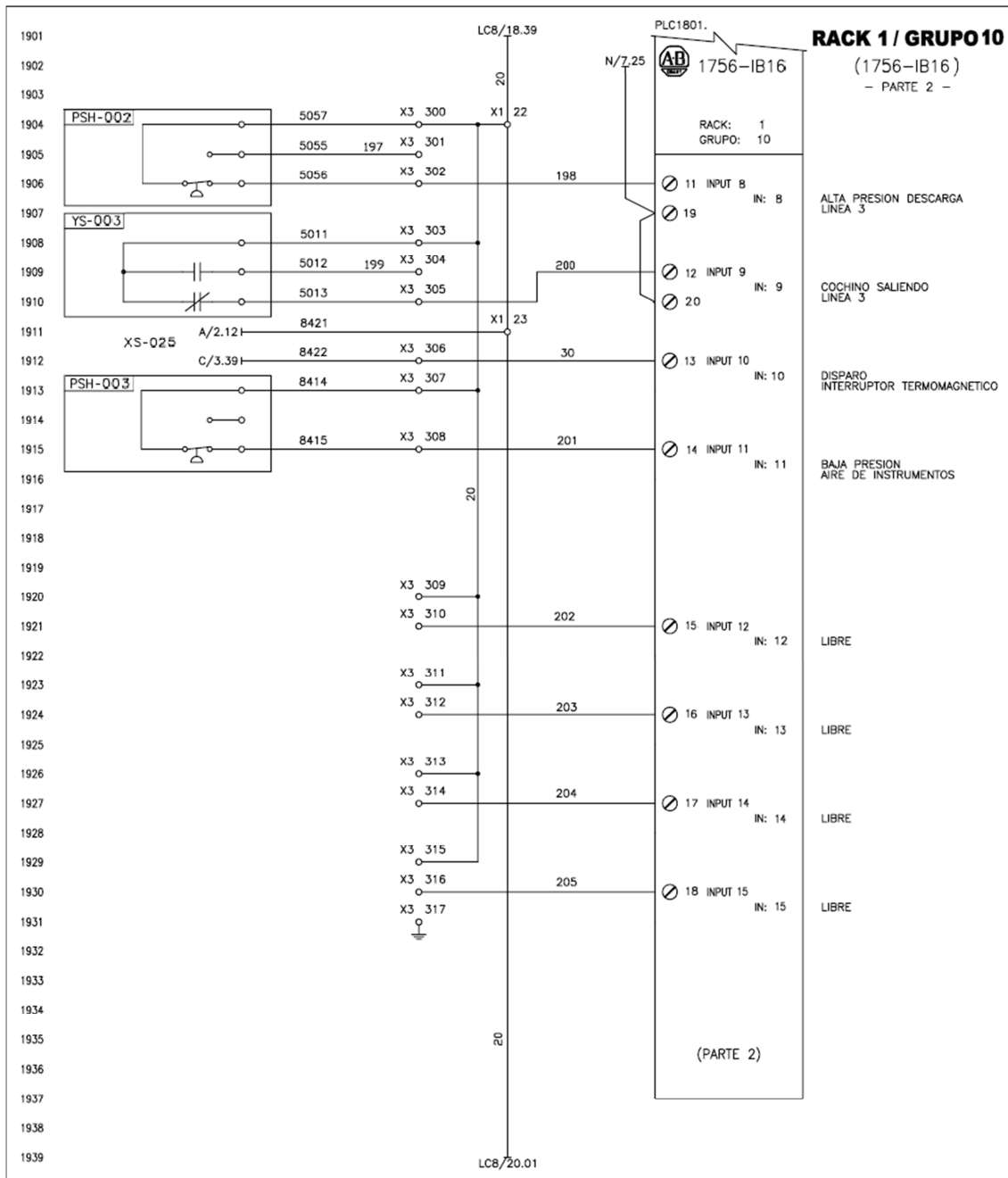


Figura 5.20 Módulos 1756-IB16 colocado en el rack 1, grupo 10 parte 2.

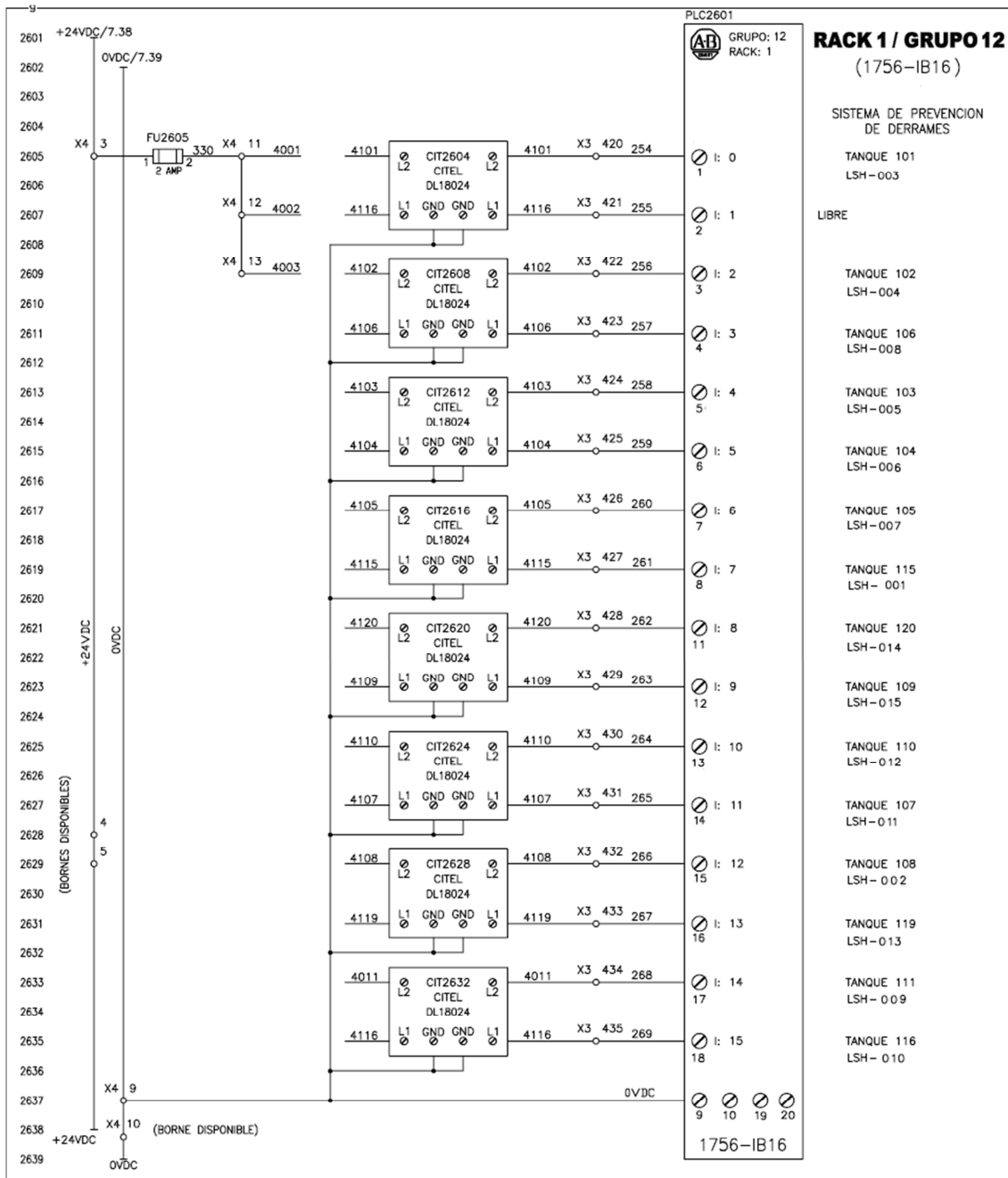


Figura 5.21 Módulos 1756-IB16 ubicado en el rack 1, grupo 12.

El módulo 1756-IB16, con entradas de señales discretas es el encargado de observar si hay un alto nivel en los 15 tanques de almacenamiento, como se indica en la figura 5.21.

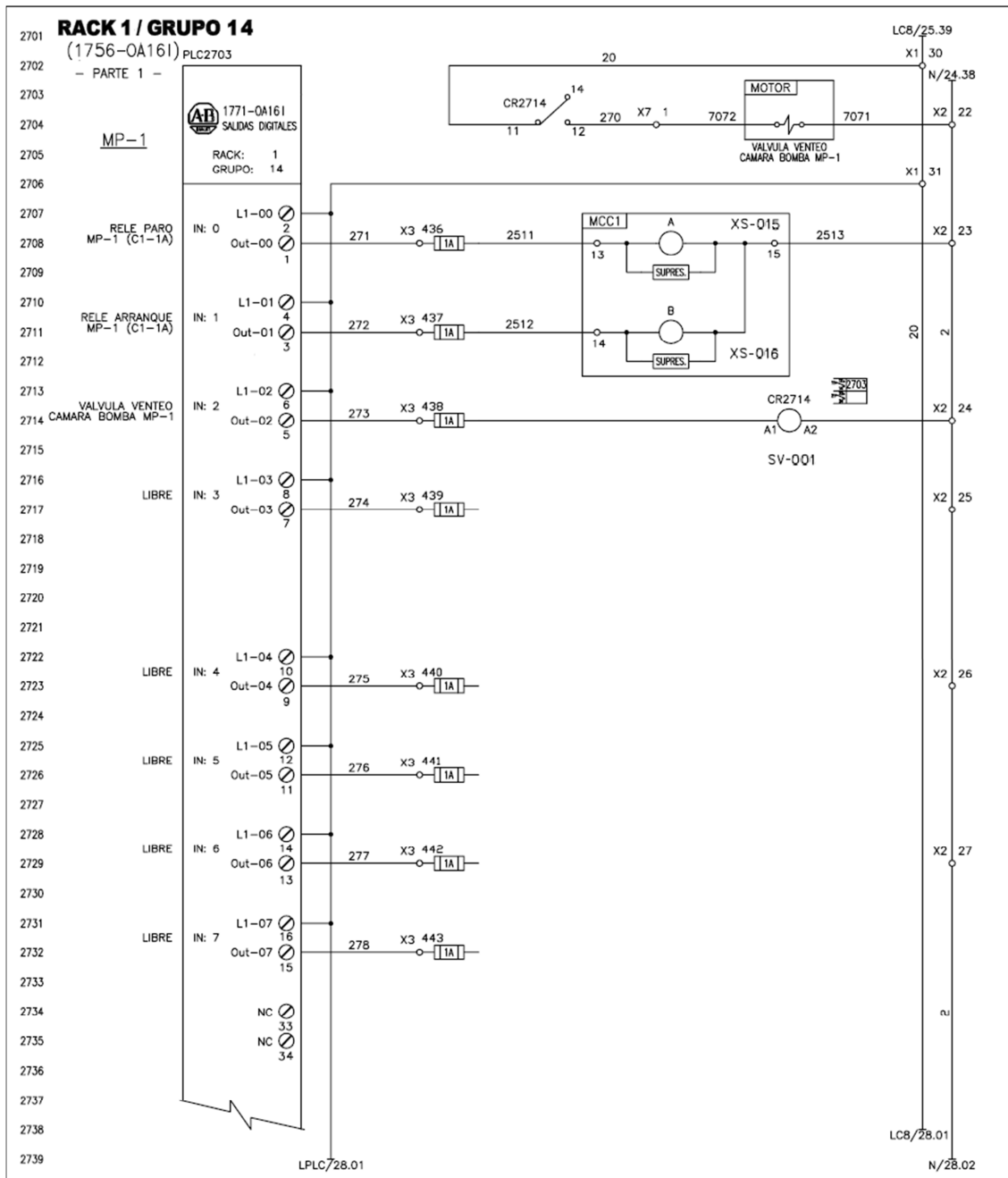


Figura 5.22 Módulos 1756-0A16I colocado en el rack 1, grupo 14 parte 1.

El módulo 1756-0A16I de la figura 5.22 y 5.23, es el responsable de enviar las señales de salida discreta a los diferentes dispositivos como en el caso del arranque, paro o activación de la válvula de venteo del motor MP-001 y del arranque o paro de la booster BP-001.

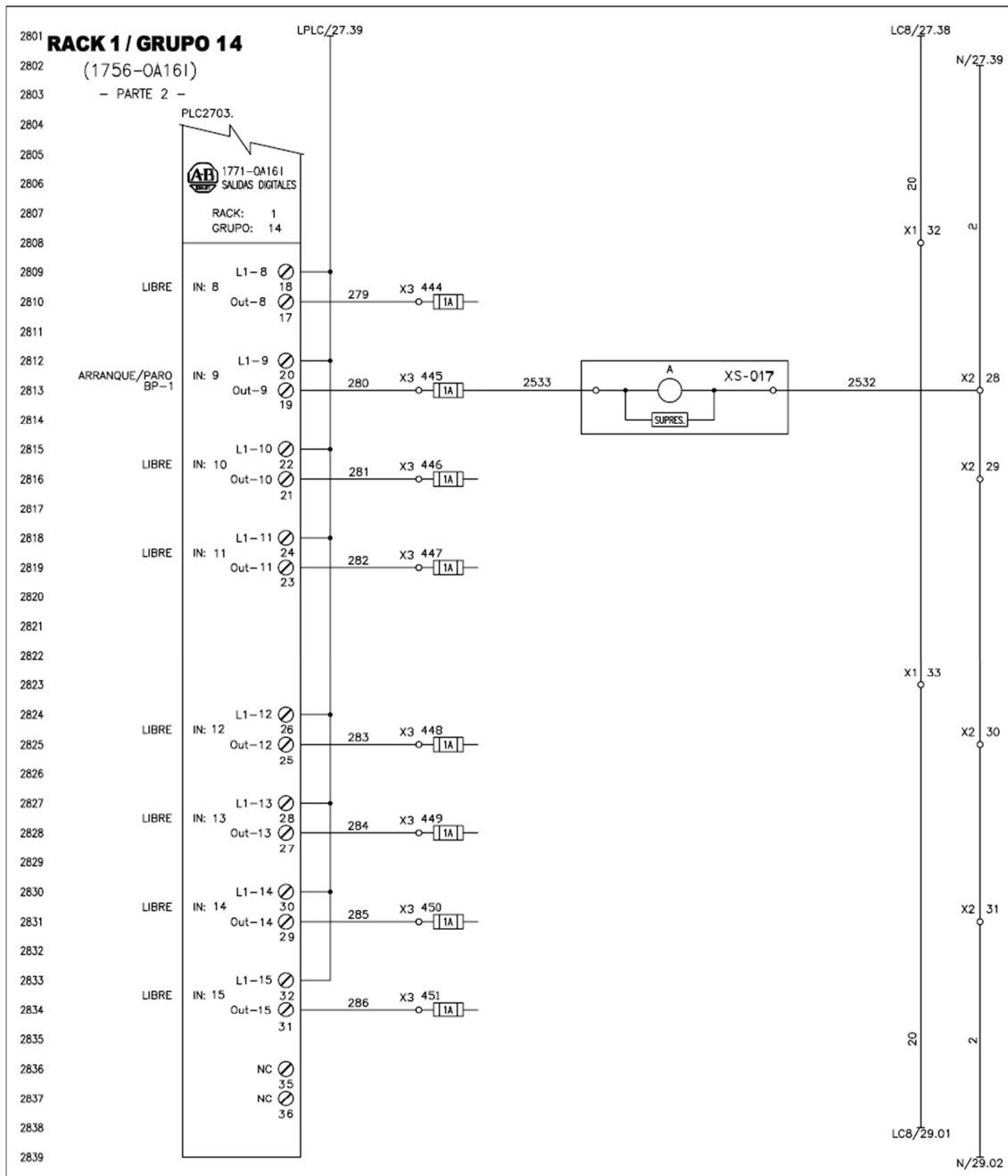


Figura 5.23 Módulos 1756-OA16I colocado en el rack 1, grupo 14 parte 2.

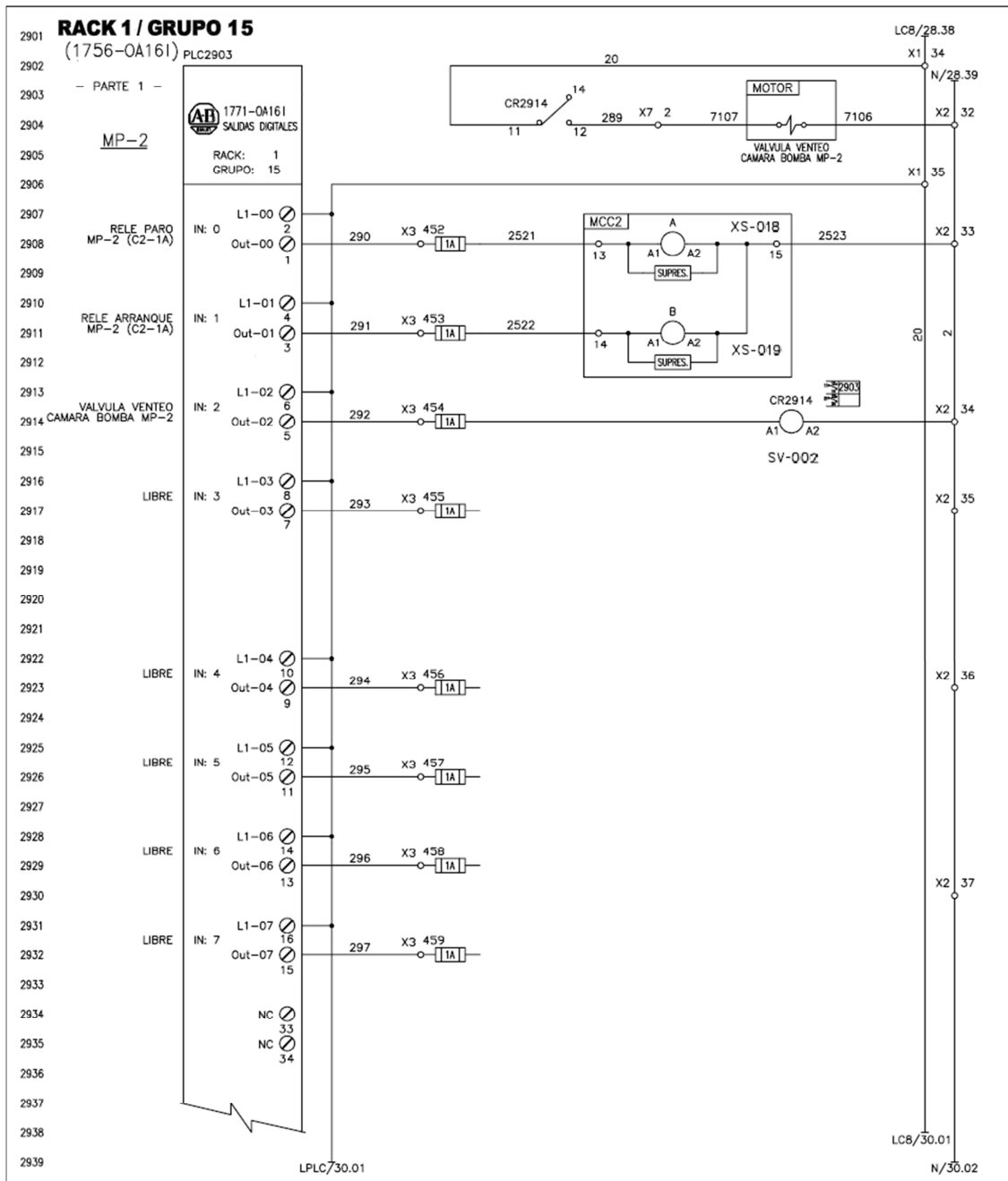


Figura 5.24 Módulos 1756-OA16I ubicado en el rack 1, grupo 15 parte 1.

El módulo 1756-OA16I de la figura 5.24 y 5.25, es el responsable de enviar las señales de salida discreta a los diferentes dispositivos como en el caso del arranque, paro o activación de la válvula de venteo del motor MP-002, y del arranque o paro de la booster BP-001. Además, el disparo de la línea 1 y la 2, como también el accionamiento de la alama auditiva de la estación.

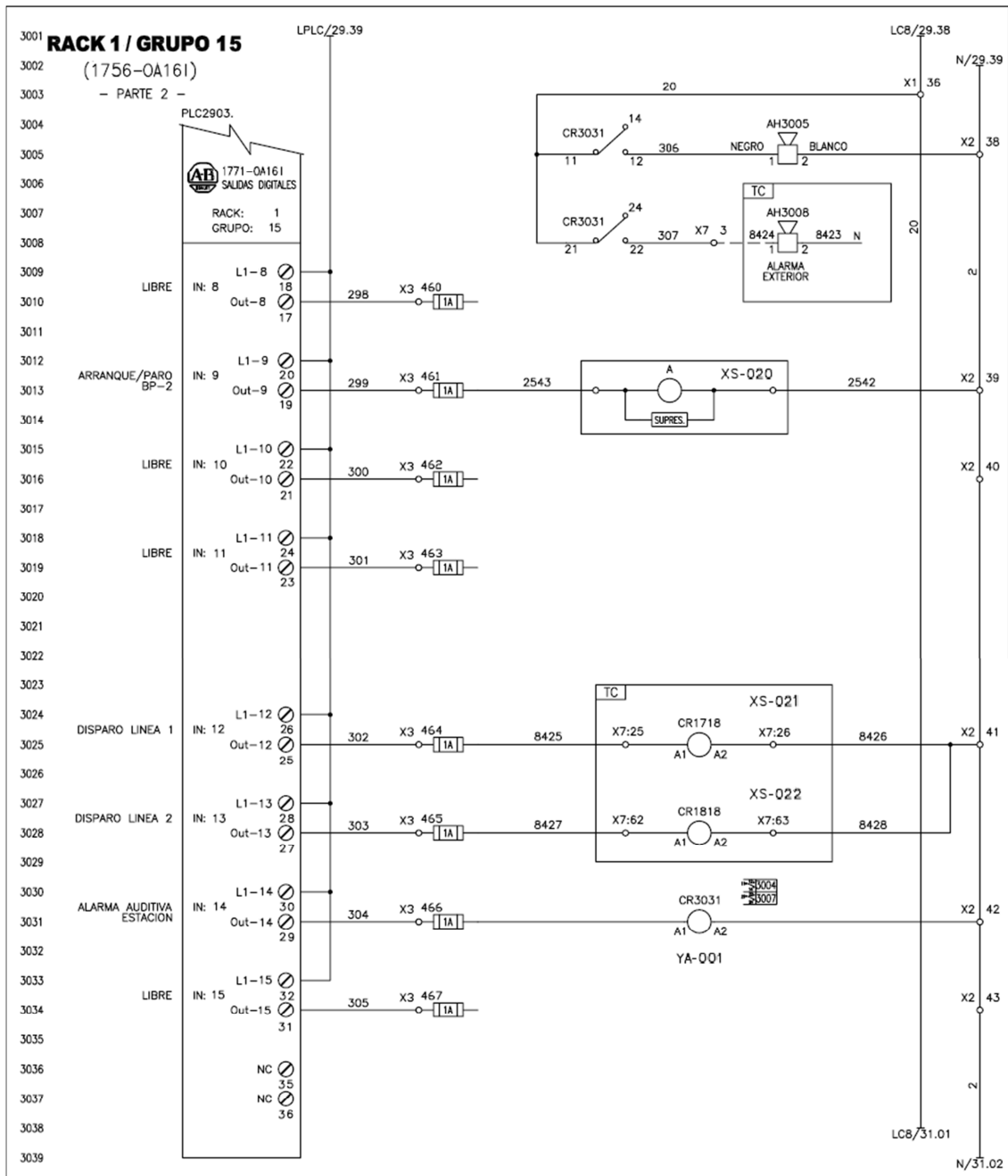


Figura 5.25 Módulos 1756-OA16I puesto en el rack 1, grupo 15 parte 2.

En el anexo B.3 se muestra el listado de los dispositivos que están conectados a los módulos del PLC ControlLogix.

5.2 Descripción del software

Para el desarrollo de las aplicaciones del software se utiliza tres herramientas mencionadas en el inciso 3.6.4.1, 3.6.4.2 y 3.6.4.3.

5.2.1 RSLogix 5000

5.2.1.1 Configuración de módulos.

En esta sección se da a conocer la configuración de cada uno de los módulos; según la aplicación que se desea implementar.

5.2.1.1.1 Módulo 1756-L61.

La configuración del procesador, se indica en la figura 5.26, en la casilla “Chassis Type” se debe de colocar la siguiente asignación: “1756-A17 17-Slot ControlLogix Chassis”. Además el procesador se ubicó en el “slot” 0 o grupo 0, como se había observado en el anexo B.2 y al presionar el botón “OK” se configura el procesador.

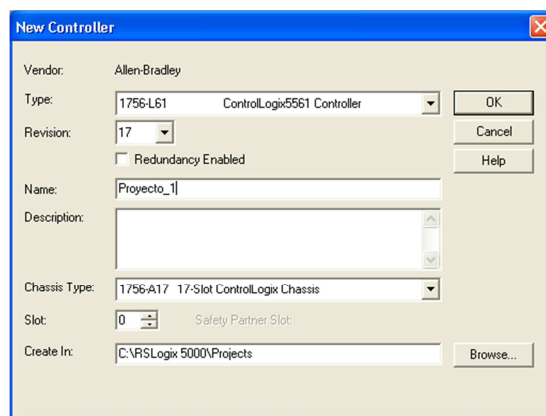


Figura 5.26 Configuración del Procesador.

En el Módulo 1756-L61 se utilizó el protocolo de comunicación DF-1, y éste se configuró desde el procesador como se indica en la figura 5.27.

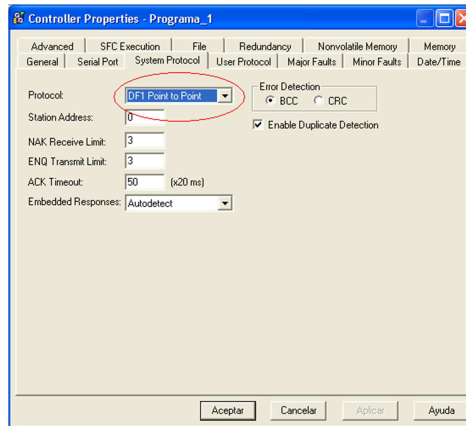


Figura 5.27 Configuración del Protocolo de comunicación DF-1.

Se debe de tomar en cuenta que la velocidad de transmisión de los datos es de 19200 Bps, la cual se configura como se muestra en la figura 5.28.

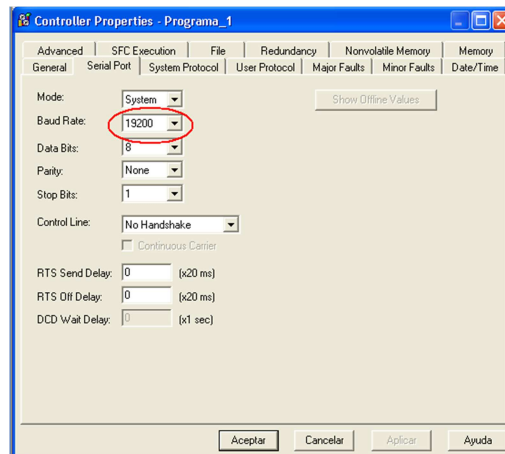


Figura 5.28 Configuración de la velocidad de transmisión de los datos.

5.2.1.1.2 Módulos 1756-IR6I.

A los módulos 1756-IR6I de temperatura, se les nombró como RTD seguido de un dígito. Este dígito corresponde al “slot” o grupo donde se coloca el modulo en el chasis.

La única configuración relevante de este módulo es en las alarmas, las cuales se modifican como se señala en la figura 5.29.

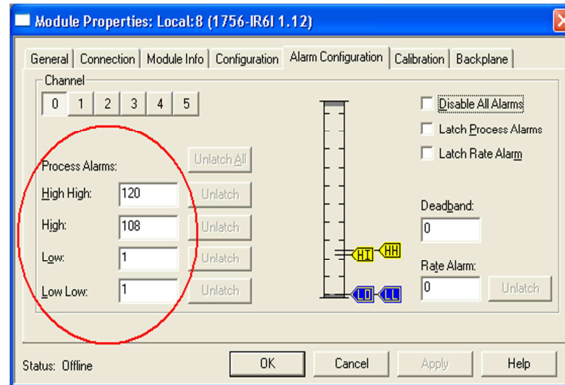


Figura 5.29 Configuración de las alarmas del módulo 1756-IR6I.

5.2.1.1.3 Módulo 1756-IF16

La configuración del módulo 1756-IF16 que corresponde a entradas analógicas, se pueden configurar para recibir señales de voltaje o de corriente. Además tiene dos modos de operar: como diferenciador de dos señales analógicas o por medio de una señal analógica que concierne solo a un dispositivo. Las aplicaciones que se realizaron en el trabajo se enfocaron a recibir señales analógicas de corriente, que están entre el rango de los 4 mA a 20 mA y se implementó el modo de una señal analógica.

En la figura 5.30 se observa la configuración del módulo con su respectivo nombre en la casilla "Description", mientras que en la figura 5.31 se muestra cómo se configura para recibir las señales de corriente y el rango donde esté opera, mediante las casillas "high signal" y "low signal". En el caso de las casillas "high engineering" y "low engineering" corresponden al acondicionamiento de la señal de entrada que obtiene el valor de escala real del instrumento.

Un ejemplo del acondicionamiento de las señales de entradas es el transmisor de presión, cuando esté genera una señal de 4 mA el valor equivale a 0 bar en el instrumento o cuando esté produce una señal de 20 mA equivale a 40 bar.

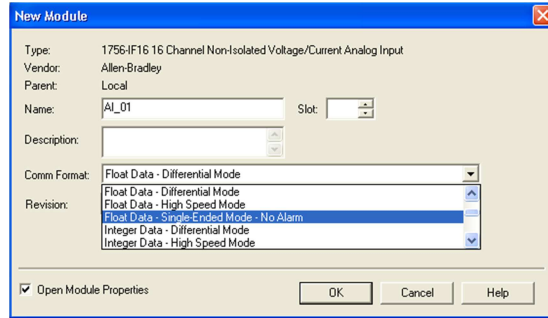


Figura 5.30 Modo de configuración del 1756-IF16.

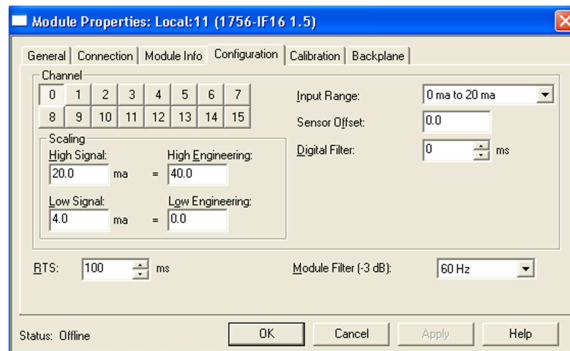


Figura 5.31 Configuración de las señales que reciben corriente.

5.2.1.1.4 Módulo 1756-OF4.

El módulo 1756-OF4 emplea el mismo procedimiento que el del módulo 1756-IF16, se debe considerar que éste módulo genera salidas analógicas y tiene solamente 4 canales.

5.2.1.1.5 Módulos 1756-IB16 y Módulos 1756-OA16I.

Estos módulos no necesitan una configuración específica, en el caso de los módulos 1756-IB16 se nombraron con la asignatura DI seguido de un dígito. Para los módulos 1756-OA16I se les nombro con la asignatura DO acompañado de un dígito. Este digito corresponde al número de “slot” donde está situado el módulo, como se observa en la anexo B.2.

5.2.1.1.6 Módulo 1756-CNB.

La configuración de este módulo es mediante el protocolo de comunicación ControlNet, para esto, se deben crear dos nodos para que se realice la comunicación entre el RACK 1 donde estará el nodo 1 y el RACK 2 donde estará el nodo 2.

Como se muestra en la figura 5.32, es como se debe crear el nodo 1, con el nodo 2 se ejecutará el mismo procedimiento. En la figura 5.33 se observa el enlace de comunicación con el protocolo ControlNet.

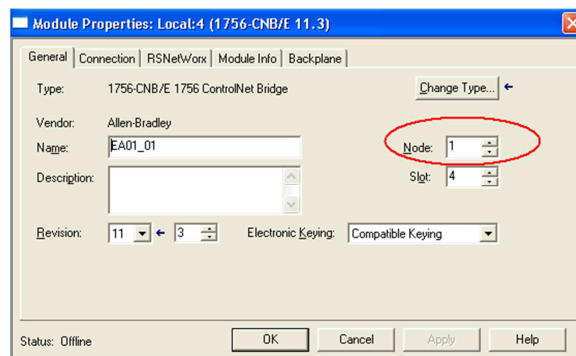


Figura 5.32 Configuración de los nodos para la comunicación vía ControlNet.

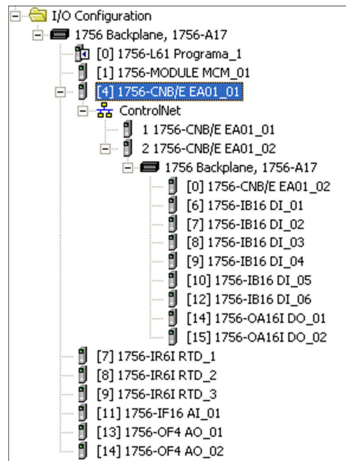


Figura 5.33 Enlace de comunicación vía ControlNet.

Todos los módulos cuentan con una cifra numérica predeterminada que se denomina revisión, la cual se puede observar al costado izquierdo. Este dato es fundamental para la configuración de cualquier módulo, como se indica en la figura 5.34.



Figura 5.34 Número de revisión de los módulos.

5.2.1.1.7 Módulos MVI56-MCM.

En el listado de módulos predeterminados del software RSLogix 5000 no cuenta con el módulo MVI56-MCM, por lo tanto se crea y se configura mediante un módulo genérico como se muestra en la posterior figura 4.35.

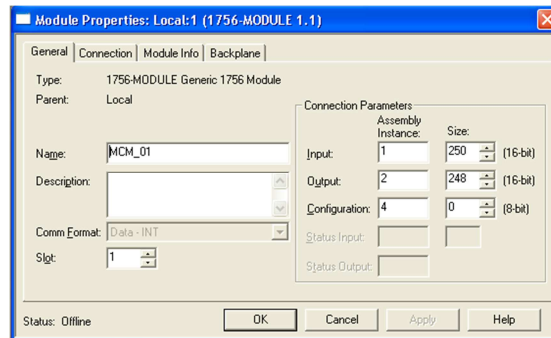


Figura 5.35 Configuración del módulo MVI56-MCM.

5.2.1.2 Estándares de programación en PLC.

Los estándares de programación se crean principalmente para llevar un ordenamiento estructural tanto de las aplicaciones y los procesos del programa. En la figura 5.36 se observa el diagrama de bloques y se da a conocer la estructura principal de cómo trabajar con los estándares de programación.

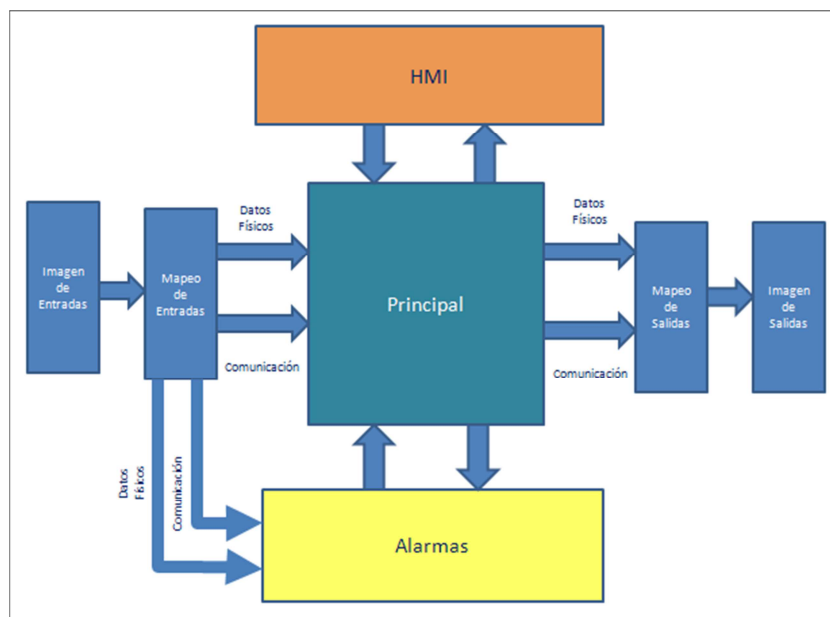


Figura 5.36 Diagrama de Bloque estándares de programación.

En la figura 5.36 se indica distintos bloques, ya sean de Imagen de Entradas, Imagen de Salida, Principal, Alarmas, Mapeo de Entradas, Mapeo de

Salidas y HMI, cada uno tiene una aplicación en el desarrollo del programa que se explicará posteriormente.

5.2.1.2.1 Creación de los Tag.

Antes de especificar la funcionalidad de los bloques, se debe tomar en cuenta que cada dispositivo que interactúa con el PLC, ya sean entradas, salidas o comunicación debe ir con un tag (etiqueta). La asignación específica de los tags se realiza mediante un nombre basado en texto, el cual crea un espacio en memoria en el controlador para almacenar los datos requeridos.

En el desarrollo del programa hay tags con características específicas que se generan mediante la herramienta User-Defined o datos definidos por el usuario, lo que genera automáticamente diferentes funciones específicas que pueden ser utilizados para obtener un mayor control en el desenvolvimiento del programa.

En el plantel El Alto de Ochochomo se han desarrollado los siguientes tags que se muestran en la tabla 5.1. También se agregaron otros tags específicos para la implementación del programa, que se señalan a continuación.

Tabla 5.2 Tags del plantel El Alto de Ochochomo.

Tag	Descripción
MCM	Enlace de comunicación vía Modbus
MV	Moto válvulas
XS	Genéricos.
HMI	Interacción con el HMI del sistema

Los anteriores tags de la tabla 5.1 y 5.2 tienen funciones específicas que se crearon mediante la aplicación de la herramienta User-Defined, ya que éstos están conformados por valores reales, booleanos, temporizadores, alarmas entre otras. En las figuras 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 y 5.41 se especifican los tags creados con la herramienta User-Defined.

Name: Entradas_Analogicas

Description:

Members: Data Type Size: 88 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Valor	REAL	Float	
CH_Alm	BOOL	Decimal	
Timer_CHAIm	TIMER		
Set_Hi	REAL	Float	
Set_HHi	REAL	Float	
Set_Lo	REAL	Float	
Set_LoLo	REAL	Float	
Alm_Hi	BOOL	Decimal	
Alm_HHi	BOOL	Decimal	
Alm_Lo	BOOL	Decimal	
Alm_LoLo	BOOL	Decimal	
T_Lo	TIMER		
T_LoLo	TIMER		
T_Hi	TIMER		
T_HHi	TIMER		

Figura 5.37 Dato definido para entradas analógicas.

Name: Entradas_Discretas

Description:

Members: Data Type Size: 36 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Estado	BOOL	Decimal	
T_CHFalla	TIMER		
Alm_CHFalla	BOOL	Decimal	
T_FiAIm	TIMER		
FiAIm	BOOL	Decimal	

Figura 5.38 Dato definido para entradas discretas.

Name: Salidas_Analogicas

Description:

Members: Data Type Size: 20 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Valor	REAL	Float	
CH_AIm	BOOL	Decimal	
Timer_CHAIm	TIMER		

Figura 5.39 Dato definido para salidas analógicas.

Name: Salidas_Discretas

Description:

Members: Data Type Size: 4 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Estado	BOOL	Decimal	

Figura 5.40 Dato definido para salidas discretas.

Name: /v/alvulas

Description:

Members: Data Type Size: 64 byte(s)

Name	Data Type	Style	Description
Cmd_Apert_HMI	BOOL	Decimal	
Cmd_Cierre_HMI	BOOL	Decimal	
Cmd_Apert_Sec_	BOOL	Decimal	
Cmd_Cierre_Sec_	BOOL	Decimal	
Cmd_Reset_Falla	BOOL	Decimal	
Abierta	BOOL	Decimal	
Cerrada	BOOL	Decimal	
Abriendo	BOOL	Decimal	
Cerrando	BOOL	Decimal	
Discrepancia	BOOL	Decimal	
Auto_Manual	BOOL	Decimal	
Local_Remoto	BOOL	Decimal	
Cdo_Aux_Apert	BOOL	Decimal	
Cdo_Aux_Cierre	BOOL	Decimal	
Cdo_Aux_Apert	BOOL	Decimal	
Cdo_Aux_Cierre	BOOL	Decimal	
Interlock	BOOL	Decimal	
Perm_Cierre	BOOL	Decimal	
Perm_Apert	BOOL	Decimal	
Bypass	BOOL	Decimal	
Alm_TO	BOOL	Decimal	
Alm_Discrepancia	BOOL	Decimal	
Alm_ChFalla	BOOL	Decimal	
T_Cmd_Apertura	TIMER		
T_Cmd_Cierre	TIMER		
T_Falla	TIMER		
T_Pulso_Apertura	TIMER		
T_Pulso_Cierre	TIMER		

Figura 5.41 Dato definido para las moto válvulas.

En el caso de las comunicaciones vía Modbus el software RSlogix 5000 contiene en su biblioteca los tags específicos del módulo MVI56-MCM, solo se deben de importar.

5.2.1.2.2 Bloque de Imagen de Entrada y Salida.

Al utilizar módulos de entradas, salidas y comunicación, en el PLC se crea automáticamente un espacio en la memoria que en el presente estudio se denominan: el bloque Imagen de Entradas y el bloque Imagen de Salidas. Estos se observaban en la figura 5.36.

5.2.1.2.3 Bloque de Entrada.

En el bloque de mapeo de entradas que se señala en la figura 5.42, se realiza el mapeo de los datos que vienen del bloque Imagen de Entrada. Todos estos datos que se van a mapear se dividen en 2 tipos: las entradas físicas y por comunicación. Cada una está conformada por entradas discretas y analógicas, donde cada entrada física tiene su propio tag específico según el instrumento que se definió en el inciso creación de los tag 5.2.1.2.1.

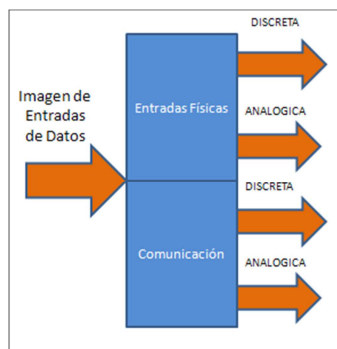


Figura 5.42 Bloque de Mapeo de Entradas.

En la figura 5.43 se muestra como se debe llevar a cabo el mapeo de una entrada física analógica; ésta se describe como Local:7:I.Ch0Data, que significa la variable de la imagen de entrada de datos del módulo que está en la posición 7 del chasis del PLC y que corresponde a una entrada la cual se está mapeando con el tag TE_MOTE_001. Este tag es de tipo User-Defined de Entradas_Analógicas, por lo cual al final del tag se indica con la palabra .Valor.

En la figura 5.44, se muestra el caso del mapeo de una imagen de entrada para una entrada física discreta.

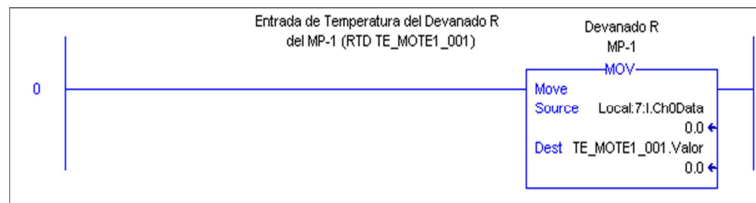


Figura 5.43 Mapeo de una imagen de entrada a una entrada física analógica.

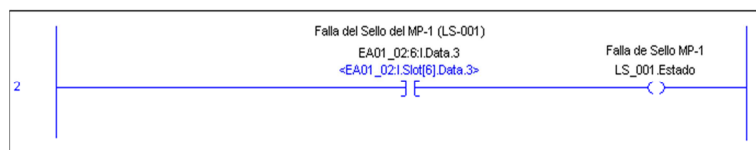


Figura 5.44 Mapeo de una imagen de entrada a una entrada física discreta.

Al realizar el mapeo de las entradas se integró una alarma en el canal de recepción de los datos, esto debido a una posible falla en el cable físico que llega al módulo de entrada o debido a que una de las entradas esté defectuosa. Para que se detecte la falla deben transcurrir 200 milisegundos para que se active la alarma del canal, en la figura 5.45 se indica la alarma con el tag FJR_003.CH_Alm.

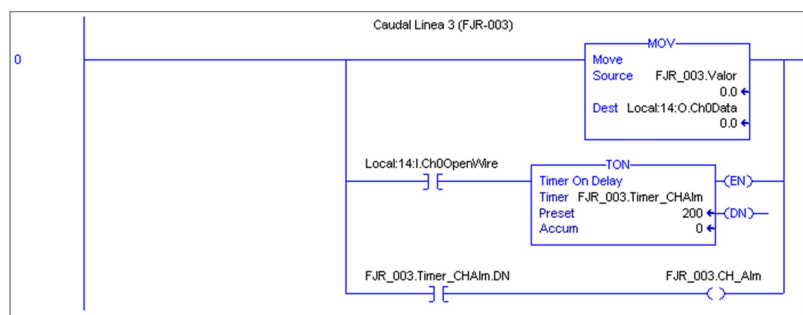


Figura 5.45 Alarma por falla en el canal.

5.2.1.2.4 Bloque de Salidas

Para el bloque de mapeo de salidas que se señala en la figura 5.46 se trabaja de la misma forma que se ejecutó en el bloque de entrada.

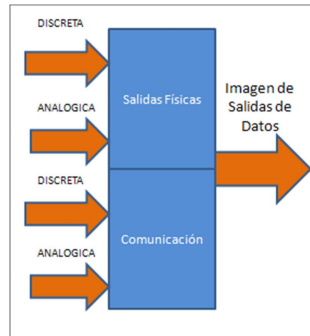


Figura 5.46 Bloque de Mapeo de Salidas.

Hay que tomar en cuenta que en el bloque de mapeo de salidas los datos ya tienen sus tags específicos y éstos van a interactuar con el bloque de imágenes de salidas, que en realidad son las salidas de los módulos ya sean del tipo físico o de comunicación. En la figura 5.47 y 5.48 se indica cómo se realiza el mapeo de una salida física analógica y discreta.

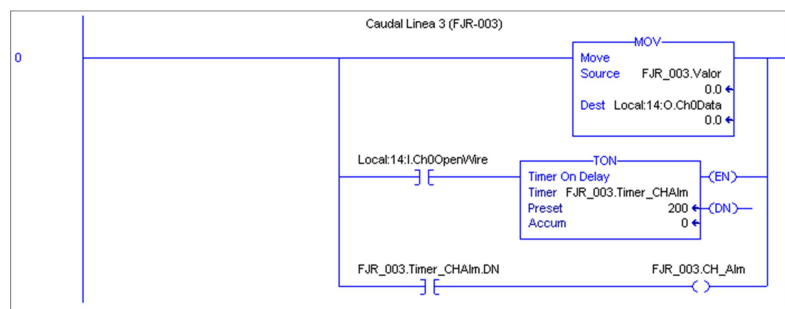


Figura 5.47 Mapeo de una salida física analógica a una imagen de salida.

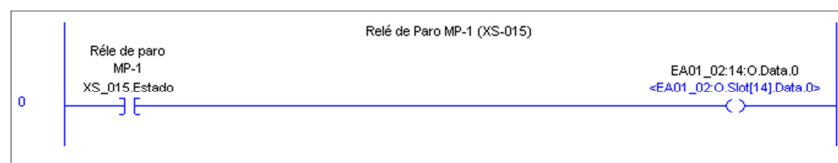


Figura 5.48 Mapeo de una salida física discreta a una imagen de salida.

Como en el bloque de mapeo de entradas, también se generó una alarma para saber el estado físico de la salida del módulo y del cable para la transferencia de datos, ésta se ejecuto únicamente con las entradas analógicas y se muestra en la figura 5.47.

5.2.1.2.5 Bloque de Alarmas

Como su nombre lo especifica son las alarmas encargadas de la instrumentación del equipo instalado en el plantel. Este bloque interactúa directamente con el bloque de mapeo de entradas y el bloque principal del programa como se indica en la figura 5.49.

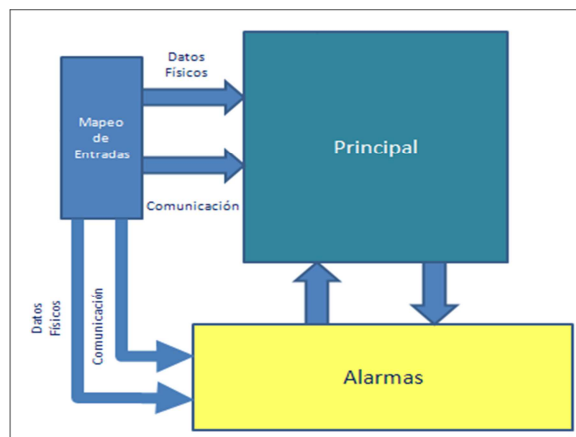


Figura 5.49 Bloque de Mapeo de Salidas.

En este bloque hay dos tipos de alarmas: las de los instrumentos analógicos y las de los instrumentos discretos. Estos tipos de alarmas se implementan en todos los instrumentos que conforman la instrumentación del plantel El Alto de Ochoyogo, como se indica en la figura 5.50, donde hay dos grupos de instrumentos que conforman la carpeta de Alarmas_Analogicas y otra de Alarmas_Discretas.

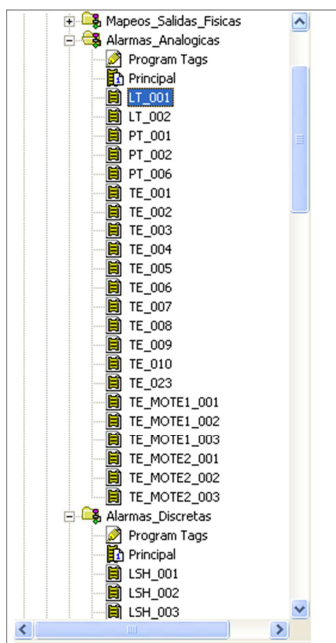


Figura 5.50 Alarma por cada instrumento.

Los instrumentos que generan señales analógicas que se utilizan en el plantel, como se observa en la figura 5.50 son sensores de nivel (LT), temperatura (TE) y presión (PT).

Este tipo de alarmas se produce mediante la comparación de un valor establecido. Si el valor que genera el instrumentó es mayor que el establecido, éste activa la alarma del tipo punto alto (High). Las alarmas de punto alto se dividen en Alm_HiHi y Alm_Hi ya que cada una tiene un rango diferente para la activación de la misma.

Hay otros dos tipos de alarmas que realizan exactamente la misma función que las de punto alto, estas son las de punto bajo (Low), las cuales son Alm_LoLo y Alm_Lo. Su diferencia es que si el valor que genera el instrumento es menor que el establecido, esta alarma se activará.

Mediante la configuración del módulo en la herramienta de software RSLogix 5000, se establece el valor con el cual se deberá de hacer la comparación del valor que provoca el instrumento para la activación de la alarma. Esta configuración del módulo se observó en el inciso 5.2.1.1.2.

En la figura 5.51 se indica cómo se debe de programar este tipo de alarmas, las cuales están compuestas de un tag específico; además, tienen un temporizador el cual se activará solo si el dato que genera el instrumento es mayor al valor establecido. Si este temporizador sobrepasa los 200 milisegundos se activará la alarma PT_001.Alm_HiHi.

Para las alarmas de punto bajo se activa el temporizador sólo si el dato que genera el instrumento es menor al valor establecido.

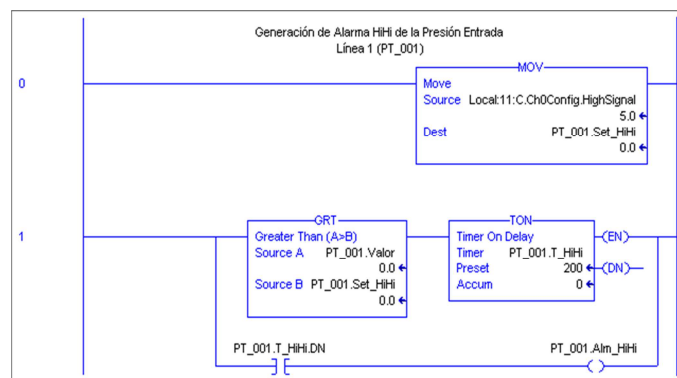


Figura 5.51 Generación de alarma HiHi.

5.2.1.2.6 Bloque HMI

El bloque HMI (Interfaz hombre máquina) es un bloque de datos que interactúa directamente con la interfaz gráfica y la transferencia de los datos que van desde este bloque directamente al principal o del bloque principal al HMI.

Cuando el trasiego de datos va del bloque HMI al principal, se quiere realizar una tarea o un procedimiento. Por otra parte si el flujo de los datos va del bloque principal al HMI, es para dar a conocer información al operador.

Los tag de datos específicos que interactúan con el bloque HMI se nombran siempre al principio como HMI, un ejemplo de esto se señala en la figura 5.52.

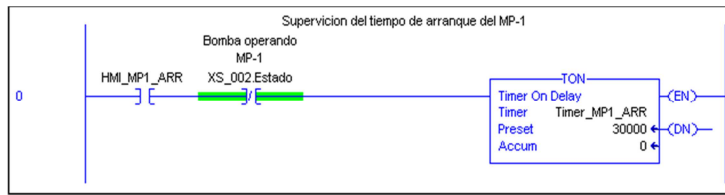


Figura 5.52 Dato del HMI genera el arranque del motor.

5.2.1.2.7 Bloque principal

El bloque principal interactúa con todos los bloques tanto de Entradas, Salidas, Alarmas y HMI, como se muestra en la figura 5.53. Este bloque es el encargado del control de todas las operaciones, tanto del arranque como el paro de los motores y las boosters, de los permisos para el funcionamiento efectivo de los motores y boosters; también de la transferencia de datos de entradas, salidas y accionamiento de alarmas y manejo de la información, los cuales interactúan desde el HMI, por medio de una interfaz gráfica que manipulan los operadores.

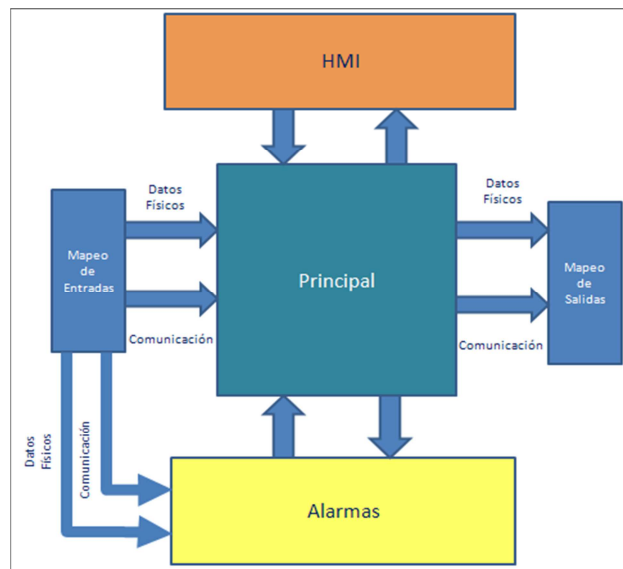


Figura 5.53 Bloque principal.

El bloque principal toma las decisiones para realizar diferentes rutinas en el manejo de las actividades que se llevan a cabo en el plantel, una de éstas es el arranque del motor MP-001 que se señala en la figura 5.52, donde el HMI_MP1_ARR es una señal que viene desde el bloque del HMI, esta señal pasa al bloque principal y en este bloque se ejecutara la decisión correcta si se arranca o no el motor MP-001.

5.2.1.3 Diagramas de flujo.

Para el óptimo funcionamiento de los motores y de las boosters, se generó las siguientes rutinas mediante diagramas de flujo. Se observan en la figura 5.54 y 5.55.

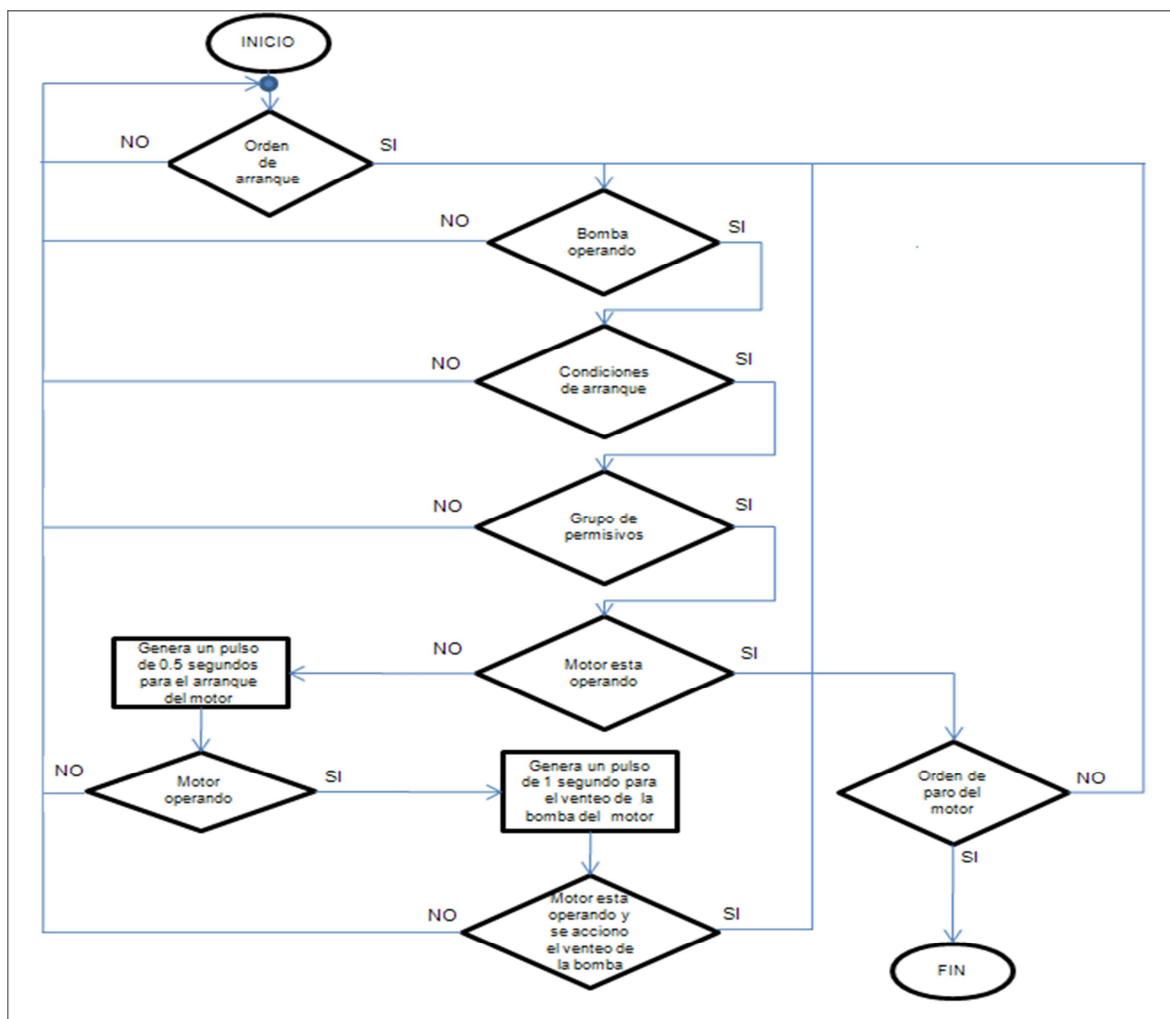


Figura 5.54 Diagrama de flujo del funcionamiento de un motor.

Se debe considerar que los permisos son las condiciones óptimas en las que debe de funcionar el motor, para que opere en excelentes condiciones. El grupo de permisos son los siguientes:

- Temperaturas adecuadas en los cojinetes interior, exterior y en la caja situada en la bomba y en el motor.
- Temperaturas óptimas de los devanados R, S y T del motor.
- No haya una baja succión de presión.
- No se genere una sobrecarga en el motor o una falla en el sello.
- No exista una alta presión en la línea 3.

Una característica importante es el venteo de la bomba, el cual permite el escape del aire si se estuviera acumulado, ya que éste puede causar daños al equipo.

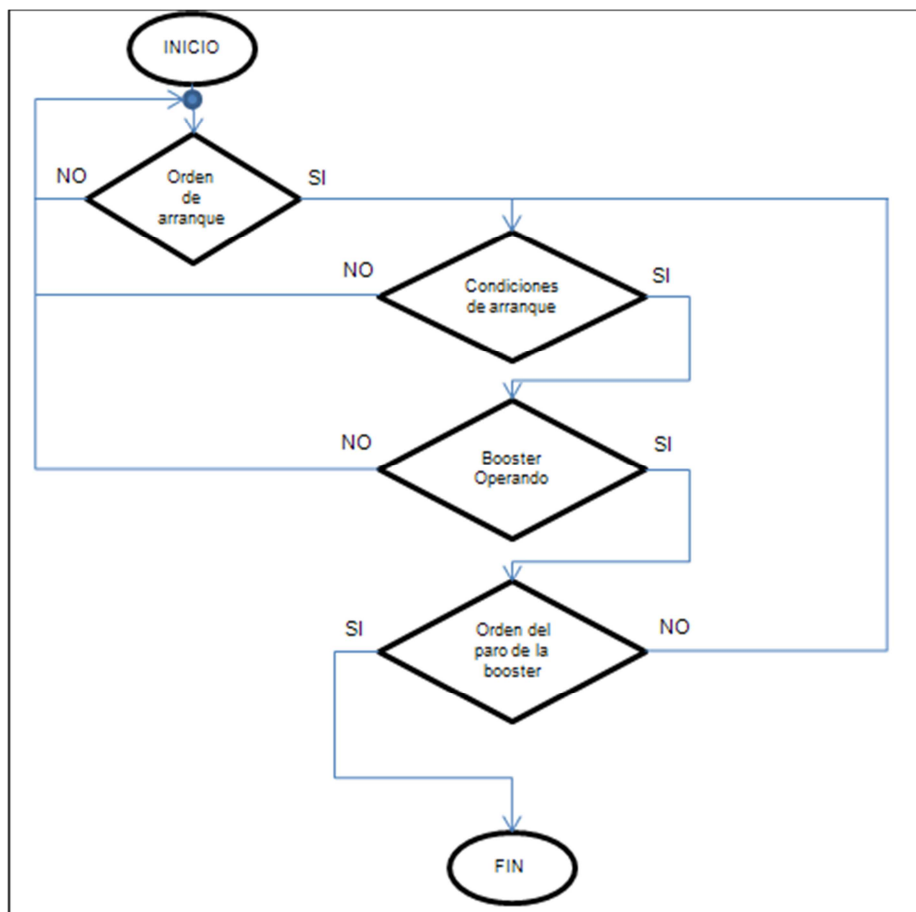


Figura 5.55 Diagrama de flujo del funcionamiento de la booster.

En el caso de estos equipos se produjo una aplicación que genera el tiempo parcial o acumulado, con el fin de conocer cuánto tiempo en total ha estado encendido, desde que se instaló mediante el tiempo acumulado; mientras que el parcial muestra e informa cuánto tiempo ha permanecido operando el equipo desde la última vez que se encendió.

5.2.1.4 Comunicación vía Modbus.

La configuración del módulo MVI56-MCM, que se indicó en el inciso 5.2.1.1.7, donde la implementación de este protocolo de comunicación permite efectuar dos tareas: la primera, que exista una comunicación entre el computador de caudal y el PLC y la segunda, entre el maestro de válvulas y el PLC.

El computador de caudal sólo le envía al PLC la información de los dispositivos que están conectados. Esto se da para realizar la calibración del flujo. En el caso de la maestra de válvulas éste envía y recibe datos o procedimientos que deben ejecutar las 17 moto válvulas al PLC.

La información de los dos equipos será guardada en los registros predeterminados en el módulo de comunicación MVI56-MCM; esto se lleva a cabo con la escritura y la lectura de los mismos. La escritura y la lectura de los registros se ejecutan por medio de un código que se obtuvo de las hojas de datos del módulo de comunicación.

La información que genera cada moto válvula se basa en sus diferentes tareas, ya sea el abrir o cerrar la moto válvula o si ésta se encuentra abriendo o cerrando. Se realizó un código específico para cada moto válvula, ya que además de entregar información de su estado estas también se pueden controlar.

5.2.1.5 Control PID de las PCV.

El software RSLogix 5000 tiene una aplicación de configuración para el control automático, mediante una instrucción PIDE que se utilizará en el sistema que se observa en la figura 5.56, donde se implementará este control. Los instrumentos PCV y PT (transmisor de presión) se encuentran en el plantel El Alto de Ochomogo en Cartago, donde el producto proviene del plantel de Limón y debe pasar por el plantel de Siquirres y el de Turrialba hasta llegar a Cartago.

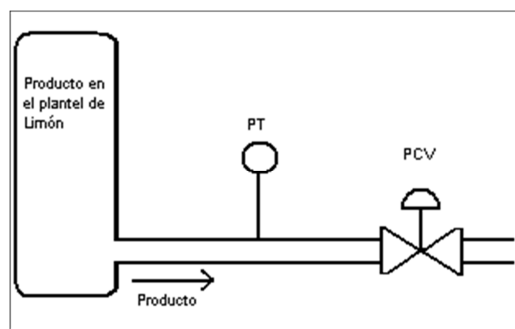


Figura 5.56 Sistema a implementar el control.

Con la figura 5.56, se obtuvo el diagrama de bloques para el sistema, el cual se observa en la figura 5.57.

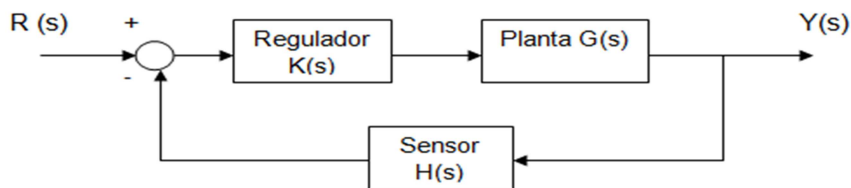


Figura 5.57 Diagrama de bloques del sistema de control de la PCV.

Donde el regulador $K(s)$ es el control PID, el sensor $H(s)$ es el instrumento PT y la planta $G(s)$ es la PCV.

Con base en esto, se generó el control PIDE que se señala en la siguiente figura 5.58.

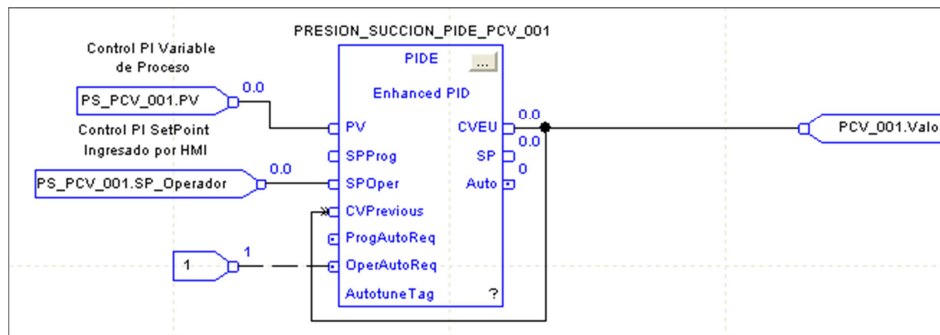


Figura 5.58 Sistema de control del PIDE.

En la figura 5.58, se detalla la variable PS_PCV_001.PV, es en ésta donde se almacenan los datos generados por el instrumento PT (transmisor de presión); mientras que en la PCV_001.Valor, es la señal de control de la válvula PCV.

En la figura 5.59 se coloca la constante derivativa, integral y proporcional del control PID. Para el caso del proyecto al ser un prototipo el cálculo de estas constantes se debe ejecutar con la información recopilada en el inciso 4.4.2; ya que, estas válvulas están instaladas y no pueden ser removidas para obtener los valores experimentales de las constantes del control k_p , k_i , y k_d . Se tienen que seleccionar los valores adecuados de la tabla 4.21, para calcular el valor de las constantes mediante la ecuación 4.1, 4.2 y 4.3, hasta que el sistema se comporte de manera estable.

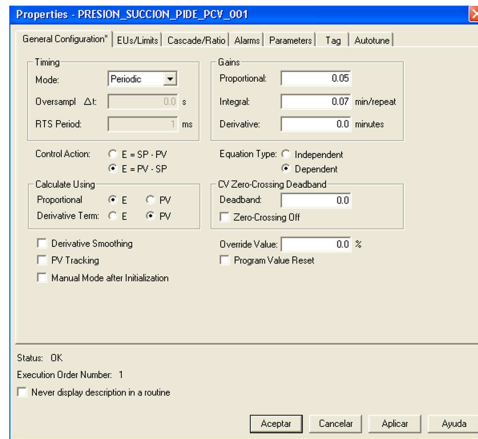


Figura 5.59 Configuración de las constantes de control en el PIDE.

5.2.2 RSLinx.

Es el encargado de la comunicación entre el RSView32 y el RSLogix 5000, además esta permite enlazar el procesador del PLC al software RSLogix 5000, con el objetivo de llevar a cabo la descarga del programa.

En la figura 5.60 se crea la comunicación con el protocolo DF-1, solo se debe presionar el botón Add New y se agrega el dispositivo RS-232 DF1.

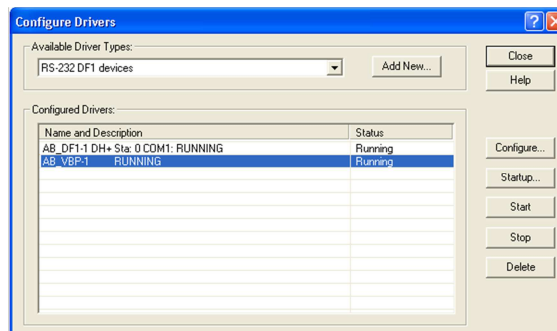


Figura 5.60 Creación del enlace de comunicación mediante protocolo DF-1.

En la figura 5.61 y 5.62, se muestra el enlace de comunicación con las herramientas de software RSLogix 5000 y el RSLinx; además, se observan los módulos físicos que están conectados al PLC. Con respecto a la comunicación del RSView32, está se configura automáticamente con el puerto DF-1.

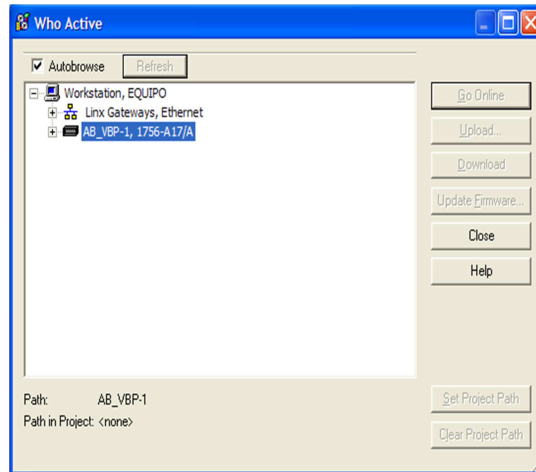


Figura 5.61 Enlace de comunicación con RSLogix 5000.

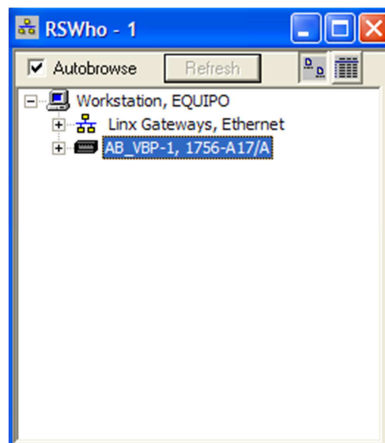


Figura 5.62 Enlace de comunicación con RSLinx.

5.2.3 RSVIEW32.

La interfaz del usuario es creada mediante la herramienta de software RSVIEW32. En RECOPE se cuenta con un prototipo de interfaz en la cual se tuvo que realizar cambios específicos para que éste se adaptara al nuevo programa que se desarrolló.

Para interconectar todas las aplicaciones que se formaron en el programa con la interfaz, se debe de crear la interconexión como se muestra en la figura 5.63, donde se encuentra el tag específico del instrumento en el Address, el cual guarda la información que se quiere observar en la interface. Como es una señal de alarma se ubica en la carpeta ALR; asimismo, en la descripción de la alarma corresponde a muy alta temperatura en la caja de bomba MP-001, como se indica en la figura 5.64

Alm	Tag Name	Type	Description
1	ALRBSUCCMP1	Digital	EAL1.L2.L3.: Disparo Baja Succion Mp-1
2	ALRBSUCCMP2	Digital	EAL1.L2.L3.: Disparo Baja Succion Mp-2
3	ALRMATARRRM1	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. R mot. MP1
4	ALRMATARRRM2	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. R mot. MP2
5	ALRMATARRSM1	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. S mot. MP1
6	ALRMATARRSM2	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. S mot. MP2
7	ALRMATARRTM1	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. T mot. MP1
8	ALRMATARRTM2	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. arr. T mot. MP2
9	ALRMATCAJB1	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. caja bomba MP1
10	ALRMATCAJB2	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta temp. caja bomba MP2
11	ALRMATCEXB1	Digital	EAL1.L2.L3.: Muy alta tem. coj. ext. bom. MP1

Figura 5.63 Configuración del enlace del RSLogix 5000 con RSVIEW32.

Alarm Date	Alarm Time	Tag Description	Ack Time	Operator Name
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 104		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 105		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 106		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 107	1:03:10	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 109	1:03:07	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 110	1:03:09	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 115		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 116		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 119	1:03:09	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 120	1:03:07	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL SUMIDERO L1 ST-1	1:03:07	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL SUMIDERO L2 ST-2	1:03:06	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTA TEMP. CAJA BOMBA MP-1	1:03:06	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTA TEMP. CAJA BOMBA MP-2	1:03:05	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: SOBRE CARGA - ALTA CORRIENTE MP-1	1:03:05	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: SOBRE CARGA - ALTA CORRIENTE MP-2	1:03:04	DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 101		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 102		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTO NIVEL TANQUE 103		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTA PRESION DE DESCARGA L3-90 BAR-		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTA PRESION ENTRADA L1-40 BAR-		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: ALTA PRESION ENTRADA L2-40 BAR-		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: DISP. TERMOMAGNETICO PROT.		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: FALLA DE SELLO MP-1		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: FALLA DE SELLO MP-2		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: BAJA PRES. AIRE DE INSTRUM.		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: SELECTOR MAN-AUT MP-1		DEFAULT
16/12/2011	1:03:02	EALI12.L3: SELECTOR MAN-AUT MP-2		DEFAULT
16/12/2011	1:02:59	EALI12.L3: DENS. CORIOLIS COMP. LINEA 3		DEFAULT
16/12/2011	1:02:59	EALI12.L3: MP-3 DETENIDO		DEFAULT

Figura 5.64 Listado de alarmas

La interfaz principal creada en RSView32 y enlazada con el programa nuevo desarrollado en RSLoxig 5000, se muestra en la figura 5.65.

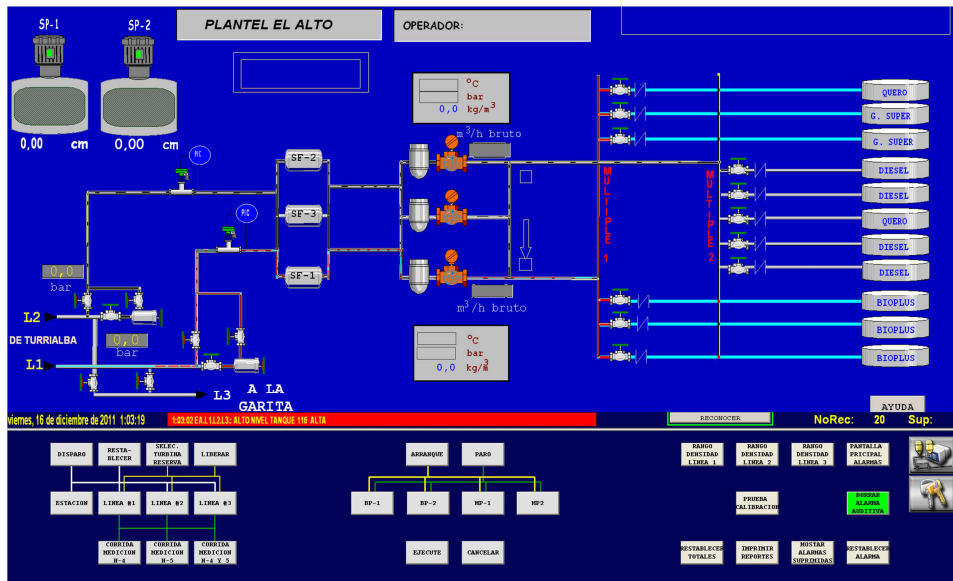


Figura 5.65 Interface principal creada en RSView32.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

Los datos obtenidos del análisis de resultados se lograron mediante la simulación del programa realizado en el laboratorio de electrónica de la Unidad de Instrumentación, el cual cuenta con la mayoría de dispositivos para llevar a cabo la ejecución de las aplicaciones y validar su funcionalidad.

6.1 Instrumentos

Para conseguir los de datos de la instrumentación que va conectada directamente al PLC, ya sean de señales de entradas analógicas o discretas y por tratarse de una cantidad considerable de los mismos se optó por simular dos instrumentos con señales de entradas analógicas: un sensor de temperatura RTD y un transmisor de presión. Para los instrumentos con señales digitales se ejecuto mediante una fuente de poder que entrega 24 V.

El sensor de temperatura RTD se coloco en un equipo denominado: Comparador isotérmico de baño en seco, el cual se utiliza para calentar la RTD. Se lograron los siguientes datos.

Tabla 6.1 Temperaturas del sensor RTD.

Comparador isotérmico (°C).	Temperatura en el programa del PLC	Temperatura en la interfaz del operador.
30	30,587	30,6
31	31,438	31,4
32	32,187	32,2
33	33,754	33,8
34	34,315	34,3
35	35,964	36,0
36	36,294	36,3
37	37,143	37,1
38	38,482	38,5
39	39,725	39,7
40	40,158	40,2

Las temperaturas generadas con el Comparador isotérmico son realmente proporcionales a las que se observan en la interfaz del operador, debido a la exactitud de los datos, ya que el PLC obtiene los valores analógicos con varios decimales, por consiguiente la interfaz muestra los datos redondeados.

En el caso de los transmisores de presión se determina el rango de operación del instrumento, según el proceso que se llevará a cabo el cual se deberá ajustar; luego, este rango es fijado en el PLC como se notó en la figura 5.31.

Por lo que, experimentalmente los valores que entrega el transmisor de presión son proporcionales a la corriente, como se señala en la posterior tabla para un transmisor de presión entre el rango de cero a cuarenta bares.

Tabla 6.2 Relación entre la corriente y la presión.

Corriente (mA)	Presión (bar)
4	0,0
5	2,5
5,88	4,7
7,76	9,4
8,92	12,3
11,08	17,7
11,68	19,2
13	22,5
14,04	25,1
15,84	29,6
16.80	31,9
18.32	35,8
18.96	37,4
20	40,0

La obtención de los valores teóricos demuestra que la relación de la presión es proporcional a la corriente, lo cual provoca una salida lineal que se muestra en la siguiente gráfica.

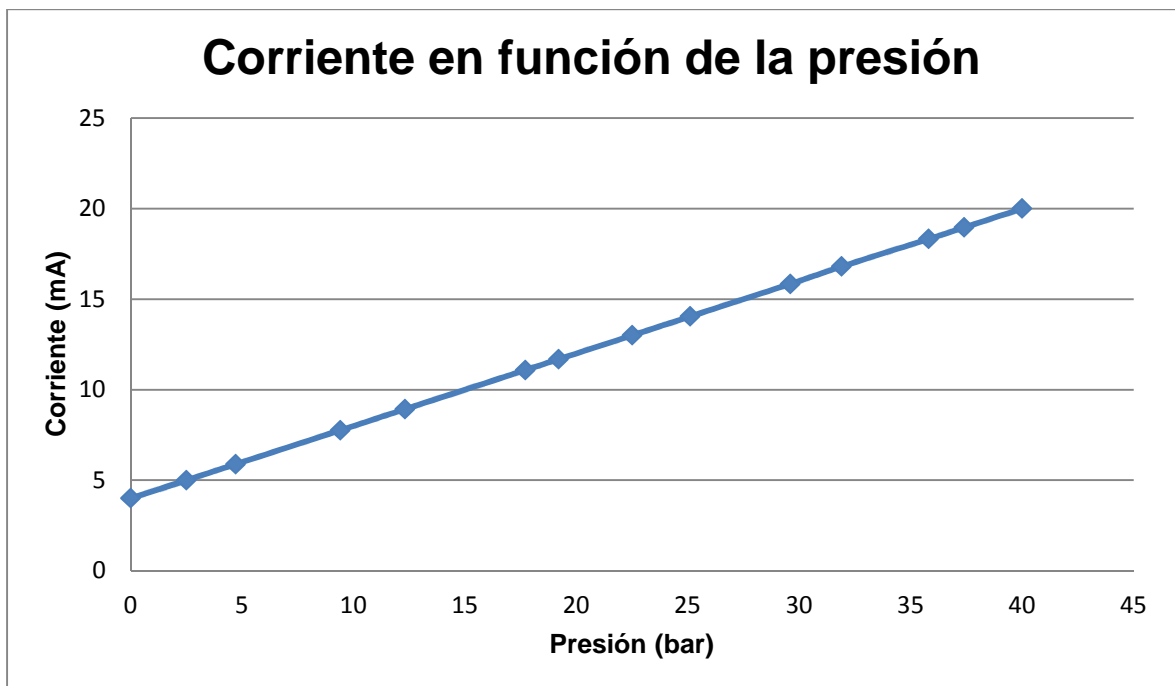


Figura 6.1 Gráfico que corresponde a la relación entre la corriente y la presión.

Como se indica en la figura 6.1, se utiliza todo el rango de operación del instrumento, esto implica que cuando se consigue información de los datos de los instrumentos éstos son más precisos; por lo cual, se alcanzan valores más confiables. Además, la relación entre la corriente y la presión se demuestra mediante la ecuación 6.1 de una línea recta.

$$i = m * p + b \quad (6.1)$$

$$m = 400 \times 10^{-6} \quad (6.2)$$

$$b = 4 \times 10^{-3} \quad (6.3)$$

Donde:

i = corriente (mA).

p = presión (bar).

m = pendiente de la recta.

b = término independiente.

Para la simulación de los instrumentos que generan las señales discretas se utilizó una fuente de poder de 24 V y un tablero de "switch", donde una tensión de 0 V equivale a un cero lógico. Mientras que, una tensión de 24 V equivale a un uno lógico. Las variables creadas en el programa para las señales discretas de cada uno son del tipo Entrada_Discretas, como se denoto en la figura 6.2, donde se señala el valor del tag LSH_010 de un interruptor de alto nivel y el valor booleano correspondiente al instrumento LSH_010, el cual se encuentra en cero; ya que, éste opera con lógica negativa. También se muestra en esta misma figura que la alarma de este instrumento LSH_010.FilAlm está activada, ya que su valor booleano se encuentra en uno.

Name	Value	Force Mask	Style	Data Type
+ LSH_006	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_007	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_008	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_009	{...}	{...}		Entradas_Discretas
- LSH_010	{...}	{...}		Entradas_Discretas
LSH_010.Estado	0		Decimal	BOOL
+ LSH_010.T_CHFalla	{...}	{...}		TIMER
LSH_010.Alm_CHFalla	0		Decimal	BOOL
+ LSH_010.T_FilAlm	{...}	{...}		TIMER
LSH_010.FilAlm	1		Decimal	BOOL
+ LSH_011	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_012	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_013	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_014	{...}	{...}		Entradas_Discretas
+ LSH_015	{...}	{...}		Entradas_Discretas

Figura 6.2 Tag del instrumento de nivel LSH_001.

Asimismo, esto genera un mensaje de alarma en la interfaz del operador como se indica en la figura 6.3.



Figura 6.3 Activación de la alarma del instrumento LSH_010 situada en el tanque 116.

En el comportamiento de los instrumentos, éstos tienen una característica primordial porque son altamente confiables a la hora de generar los datos; ya que, cuentan con un alto grado de exactitud y precisión al estar interactuando directamente con el PLC ControlLogix. Por esto, dan una mayor credibilidad de los antecedentes vistos desde la interfaz del operador.

6.2 Sistema de Alarmas

En el diseño de la adquisición y la monitorización del sistema de alarmas el cual se desarrolló y se configuró en el inciso 5.2.1.2.5, muestra la forma de producir dicho sistema. Incluso, éste cuenta con todos los estándares y protocolos tanto de programación como de seguridad.

Este sistema de alarmas posee dos rangos de prioridad según el tipo de los instrumentos que entregan señales analógicas, ya sea de muy alta prioridad o de alta prioridad. Para el tipo de las señales discretas éstas sólo tienen un rango.

Para informar sobre el estado de cada instrumento se realizó una simulación del sistema para lograr la información de las diferentes alarmas que se activarán. Esto generó una tabla con un listado que contiene la descripción de las mismas, el cual se activó mostrando el día, el mes, el año y la hora que se produjo el incidente. Lo anterior se observa en la figura 5.64 y en cada ventana de la interface, la cual indica con un mensaje si debe de desactivarse

al presionar el botón reconocer y por este medio se comprobó el óptimo funcionamiento del sistema de alarmas.

6.3 Operación del equipo.

En el desarrollo de la operación de la ejecución de distintos equipos, como es el caso de los motores y las booster, se llevó a cabo una simulación del funcionamiento del motor MP-001 y se siguió los pasos presentes en el diagrama de flujo que se mostró en la figura 5.54. Se ejecutó el funcionamiento del motor el cual se verificó en la interfaz del operador como se señala en la figura 6.4, donde éste cuenta con todas las condiciones para que pueda llevar a cabo su operación.

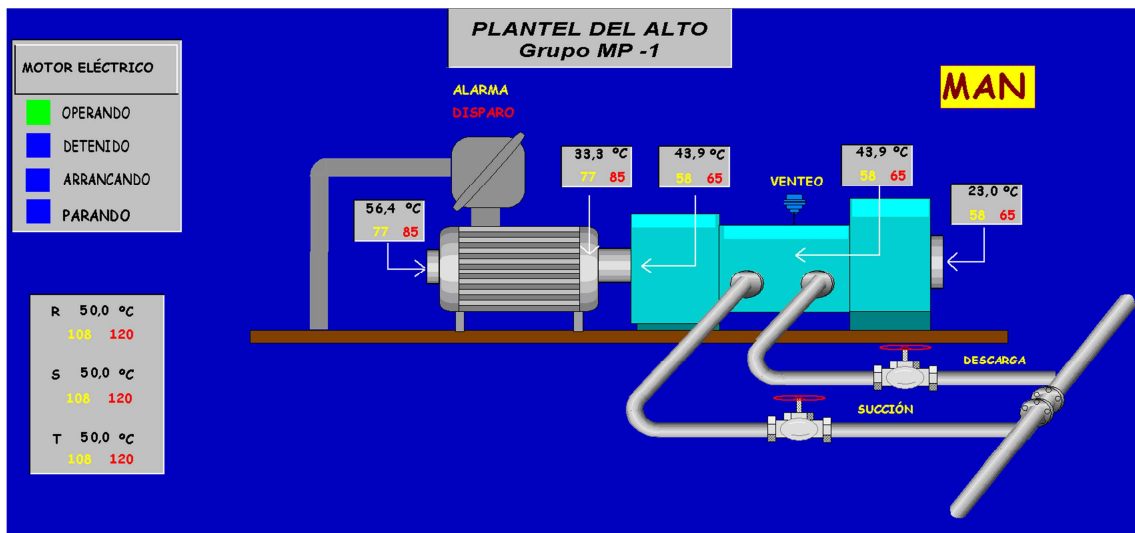


Figura 6.4 Motor MP-001 operando.

Si alguno de los requisitos de los permisos mencionados en el inciso 5.2.1.3 no se cumplen o la bomba del motor MP-001 no está operando, el motor MP-001 se detendrá como se observa en el figura 6.5, ya que la temperatura del cojinete interior de la bomba es mayor a 65 °C.

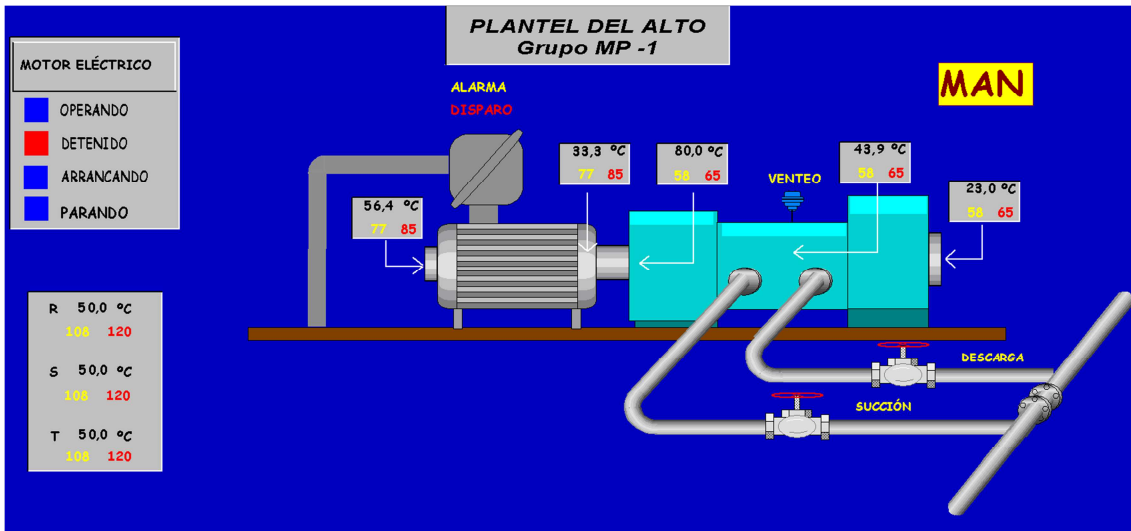


Figura 6.5 Motor MP-001 detenido.

Por lo que, se obtiene el control y monitorización del funcionamiento del equipo, el cual se puede manipular desde la interfaz gráfica.

De la misma forma, se creó una aplicación para conseguir el tiempo de operación de los diferentes equipos que trabajan en el plantel. Este se denota en la figura 6.6 y se divide en tiempo parcial y acumulado.

TIEMPOS DE OPERACION		
	TIEMPO PARCIAL	TIEMPO ACUMULADO
MP-1	0 : 00	0 : 00
MP-2	0 : 00	0 : 00
BP-1	0 : 00	0 : 00
BP-2	0 : 00	0 : 00
SP-1	0 : 00	0 : 00
SP-2	0 : 00	0 : 00

Figura 6.6 Tiempo de operación.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Mediante la investigación de los módulos tanto del PLC-5 como del ControlLogix, se obtuvo que entre estos dos hay módulos equivalentes, lo cual hace más factible que se genere una migración entre estos dispositivos.
- El diseño y la creación del programa se realizó mediante el software RSLogix 5000, ya que su fácil funcionalidad permite establecer las tareas demandadas en el plantel El Alto de Ochoyomo. Además, éste se ajusta a las necesidades del programador el cual contiene cuatro tipos de lenguajes, cuenta con un ordenamiento estructural tanto en la creación de tareas como en la creación y configuración de los módulos y de los tags, una interfaz amigable con el usuario y lo más importante una interconexión tanto con el PLC ControlLogix como con las demás herramientas de software.
- El desarrollo de los estándares de programación se produjo para obtener una mayor organización y control estructural del programa, para que un programador que trabaje sobre este estándar pueda modificar el código fuente y lograr información relevante de las aplicaciones que se desarrollaron en el programa, obteniendo como resultado un mantenimiento en el momento de una falla o en la creación de una nueva aplicación.
- La creación del lazo de control PID se generó mediante la constante de proporcionalidad, integral y derivativa, para obtener la estabilidad del sistema de control de las válvulas de presión PCV.

- Con el software RSView32 se diseñó la interfaz de la estación nombrada como HMI (interfaz hombre maquina), la cual cuenta con todas las herramientas para su óptimo manejo, tanto para su monitoreo como en el control del equipo. Además ésta es homóloga con la interfaz que se emplea con el PLC-5.

7.2 Recomendaciones

- Incluir sistemas de protección en el caso de picos de corriente, o también de falta de alimentación de los dispositivos, se recomienda una UPS, debido a que este tipo de control y monitorización debe estar activo las 24 horas del día.
- En el caso de las constantes de proporcionalidad, éstas se deben lograr mediante los valores que se muestran en la tabla 2.21 del tipo de lazo de flujo, de esta forma se llevara a cabo la simulación directamente en las válvulas de presión de control PCV que se ubican en el campo de trabajo; y así, adquirir los valores óptimos para la estabilización de este equipo.
- En el caso de la conexión eléctrica de los diferentes módulos de entradas y salidas, únicamente existe en el mercado un dispositivo el cual ejecuta la emigración de un PLC-5 de los dispositivos numerados con la serie 1771 a un ControlLogix de los dispositivos numerados con la serie 1756; por consiguiente puede minimizar el tiempo de instalación de los módulos de la compañía, como también evitar los errores al cablear de nuevo los dispositivos al PLC ControlLogix.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Librería de literatura Rockwell Automatic [en línea] [citado el 30 de setiembre del 2011]. Disponible:
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webasets/browse_category.hcst
- [2] Sistema electrónico y de control [en línea] [citado el 31 de agosto del 2011]. Disponible en:
http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/PLC/IyCnet_Introduccion_Control_Logix_5000_1.pdf
- [3] Guía rápida para controladores ControlLogix 5000 [en línea] [citado el 31 de agosto del 2011]. Disponible en:
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gs/1756-qs001-es-p.pdf>
- [4] Manual de referencia del conjunto de instrucciones de control de movimiento instrucciones Logix5550 [en línea] [citado el 31 de agosto del 2011]. Disponible en:
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm001-es-p.pdf>
- [5] Logix para programadores instrucciones add-on [en línea] [citado el 31 de agosto del 2011]. Disponible en:
[http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/Software de programacion de PLC/IyCnet Logix para programadores Instrucciones Add on.pdf](http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/Software_de_programacion_de_PLC/IyCnet_Logix_para_programadores_Instrucciones_Add_on.pdf)
- [6] Manual Usuario Sistema ControlLogix [en línea] [citado el 31 de agosto del 2011]. Disponible en:
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um001-es-p.pdf>
- [7] Instrucciones generales de controladores Logix5000™ [en línea] [citado el 2 de setiembre del 2011]. Disponible:
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1756-rm003-es-p.pdf>
- [8] Procedimientos comunes de los controladores Logix5000™ [en línea] [citado el 2 de setiembre del 2011]. Disponible:
<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pm/1756-pm001-es-p.pdf>

- [9] Intro RSLinx [en línea] [citado el 31 de setiembre del 2011]. Disponible en:
http://www.infoplcn.net/files/descargas/rockwell/infoPLC_net_Intro_RSLinx.pdf
- [10] Intro to ENetIP Allen Bradley [en línea] [citado el 20 de setiembre del 2011]. Disponible en:
http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/Comunicaciones/lyCnet_Intro_to_ENetIP_Allen%20Bradley.pdf
- [11] Principios básicos EtherNetIP [en línea] [citado el 20 de setiembre del 2011]. Disponible en:
http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/Comunicaciones/lyCnet_Principios_basicos_EtherNetIP_v1.pdf
- [12] Guía de Inicio Rsvi32 [en línea] [citado el 15 de noviembre del 2011]. Disponible en:
http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/Comunicaciones/lyCnet_Principios_basicos_EtherNetIP_v1.pdf
- [13] Introduccion RSView Machine Edition [en línea] [citado el 15 de noviembre del 2011]. Disponible en:
http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/HMI_SCADA/lyCnet_Introduccion_RSView_Machine_Edition.pdf
- [14] 1756 ControlLogix I/O Modules Specifications Edition [en línea] [citado el 5 de setiembre del 2011]. Disponible:
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td002_-en-e.pdf
- [15] Allen Bradley 1756-CNB Controlnet Bridge Module [en línea] [citado el 5 de setiembre del 2011]. Disponible:
[http://westmillindustries.com/files/Allen%20Bradley%201756-CNB%20Controlnet%20Bridge%20Module%20-%20Burn%20only%20\(103%20Pages\).pdf](http://westmillindustries.com/files/Allen%20Bradley%201756-CNB%20Controlnet%20Bridge%20Module%20-%20Burn%20only%20(103%20Pages).pdf)
- [16] MVI56-MCM Plataforma ControlLogix Módulo de Comunicación Modbus [en línea] [citado el 12 de noviembre del 2011]. Disponible:
http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CC4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.prosoft-technology.com%2Fcontent%2Fdownload%2F5782%2F74115%2Ffile&ei=Byk0T4WCL8PXgQe6_PCeAg&usq=AFQjCNGGG4HpkABNKJBQTm4wPpZp4QiOBw

- [17] Mc Milla, Gregory K. **Tuning and Control Loop Performance And ISA Monograph**. The Instrument Society of America, 1983.
- [18] **Standards and Practices for instrumentation**. Novena edición. The Instrument Society of America, 1988.
- [19] RECOPE. **PROYECTO: #2315-07D1 RECOPE EL ALTO**. SIQ, 2007.

APENDICES

A.1 *Glosario, abreviaturas y simbología*

Allen-Bradley: empresa encargada de diseñar y comercializar equipo automatizado, está pertenece a la compañía Rockwell Automatic.

Analógico: señal cuya magnitud varía constantemente.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

bar: unidad de medición de presión.

BNC: un tipo de conector para el cable coaxial.

Booters: equipo que inyecta más presión en la tubería.

Bps: baudio, unidad de medida utilizada en las comunicaciones.

ControlNet: protocolo de comunicación de red abierto, para aplicaciones industriales.

Computador de caudal: equipo encargado de la calibración del flujo.

CTDMA : Code Time Division Multiple Access.

Discreta: señal que solo tiene una cantidad discretas de puntos, la cual no está cuantificada.

DF-1: protocolo de comunicación punto a punto.

DOS: Sistema operativo del computador personal.

Ethernet: es un estandar de redes de area local (LAN's).

HMI: siglas que se refieren a la interfaz de usuario.

Modbus: protocolo de comunicación de nivel 7 del modelo OSI.

Maestra de válvulas: equipo que controla y monitorea la acción de las moto válvulas.

RG-6: es un tipo de cable coaxial.

Rockwell Automation: empresa encargada de la distribución de equipo automatizado

PCV: válvula de control de presión.

PLC: controlador lógico programable.

RS-232: estándar para el trasiego de datos binarios generalmente utilizados en los puertos seriales de la computadora.

RS-485: estándar de comunicaciones multipunto.

RSLinx: software de comunicaron la compañía Allen-Brandley.

RSLogix 5000: software de lenguaje de programación de la compañía Allen-Brandley.

RTD: sensor de temperatura.

RSView32: software donde se crea el HMI de la compañía Allen-Brandley.

Tags: código descriptivo según el instrumentó de medición relacionado mediante un tag (etiqueta) establecidos por la compañía.

Termocuplas: sensor de temperatura.

A.2 Información sobre la empresa/institución

A.2.1 Descripción de la empresa

La empresa RECOPE (refinadora costarricense de petróleo), es la encargada de la distribución de los combustibles requeridos por el país, mediante la importación, la refinación y la distribución al mayoreo de combustibles, asfalto y naftas.

Hoy RECOPE, cuenta con el poliducto (redes de tubería), que distribuye los combustibles desde la refinería ubicada en la provincia de Limón, hasta los distintos planteles del país, abarcando una trayectoria aproximada de 352 km.

El plantel, El Alto de Ochomogo ubicado en la provincia de Cartago, está conformado por 16 tanques de almacenamiento de los diferentes combustibles: gasolina Súper Eco, Bio-Plus, Diesel, naftas, búnker, asfalto, gas licuado y queroseno.

A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto

La Unidad de Instrumentación, del plantel El Alto de Ochomogo, adscrita al Departamento de Mantenimiento, tiene como misión tener en óptimas condiciones las operaciones de los equipos, maquinarias e instrumentos. Están encargados de los sistemas de medición del poliducto y de los planteles de distribución de RECOPE. Además, debe colaborar con la mejora y la modificación de los procesos de los sistemas existentes.

La distribución del poliducto dentro del plantel El Alto de Ochomogo, se muestra en la figura 1.1, donde se observa la maquinaria instalada en esta red de tuberías, la cual está conformada por motores, válvulas de control de presión (PCV), boosters y tanques. Además la línea 1 y 2 corresponde a la tubería procedente del plantel de Turrialba y la línea 3 a la del plantel de Garita.

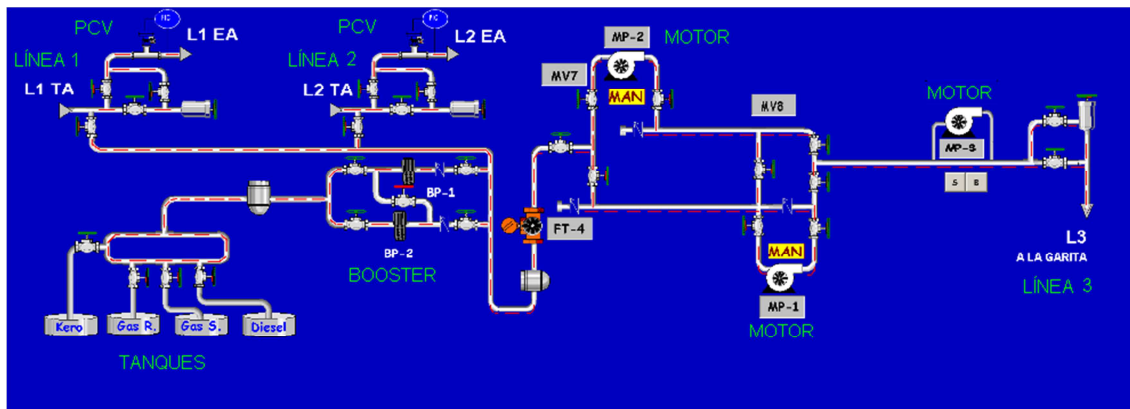


Figura A.1 Poliducto de línea 1, 2 y 3 ubicado dentro del plantel el Alto de Ochomogo.

A.3 Ilustraciones del equipo e instrumentos de medición.



Figura A.2 Sensor RTD.

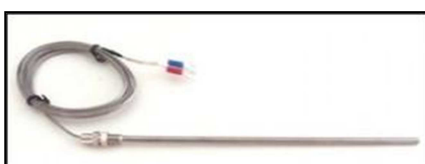


Figura A.3 Termocupla tipo J.³



Figura A.4 Transmisor de nivel.⁴



Figura A.5 Interruptor de bajo y alto nivel.⁵

³ Tomado de: http://www.achile.cl/product.php?id_product=305

⁴ Tomado de: <http://www.hellopro.fr/mesures-de-niveau-radar-1000484-fr-1-feuille.html>

⁵ Tomado de: <http://www.dwyer-inst.com/Product/Level/LevelSwitches/SeriesL6/Ordering>



Figura A.6 Sensores de densidad.⁶



Figura A.7 Sensor de flujo.⁷



Figura A.8 Moto Válvula.

⁶ Tomado de: <http://pdf.directindustry.es/pdf/ultraflux-8921.html>

⁷ Tomado de: <http://www.directindustry.fr/prod/krohne/debitmetres-a-ultrasons-pour-liquides-5863-15105.html>



Figura A.9 Sensor de presión.



Figura A.10 Booster.



Figura A.11 Motor.



Figura A.12 PCV.



Figura A.13 Computador de caudal.⁸



Figura A.14 Módulo de entradas analógicas.



Figura A.15 Módulo de comunicación.



Figura A.16 Módulo de la fuente de alimentación.

⁸ Tomado de: <http://www2.emersonprocess.com/en-US/news/pr/Pages/1101-FloBossS600plus.aspx>



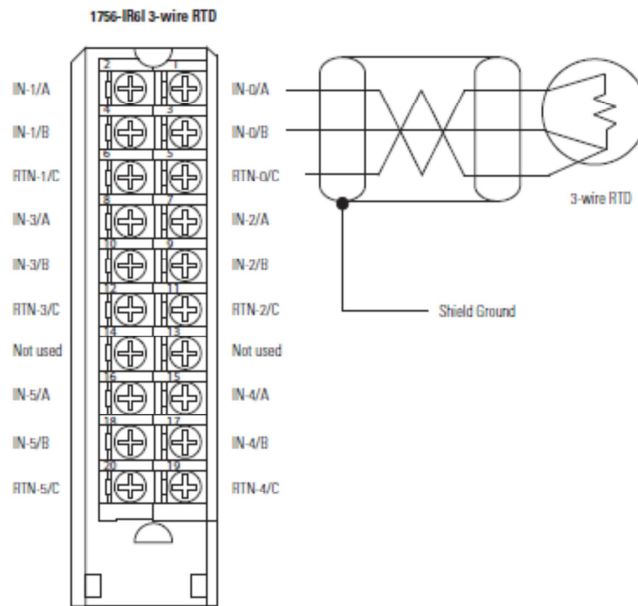
Figura A.17 Módulo controlador.

ANEXOS

B.1 Hojas de Datos de los módulos.

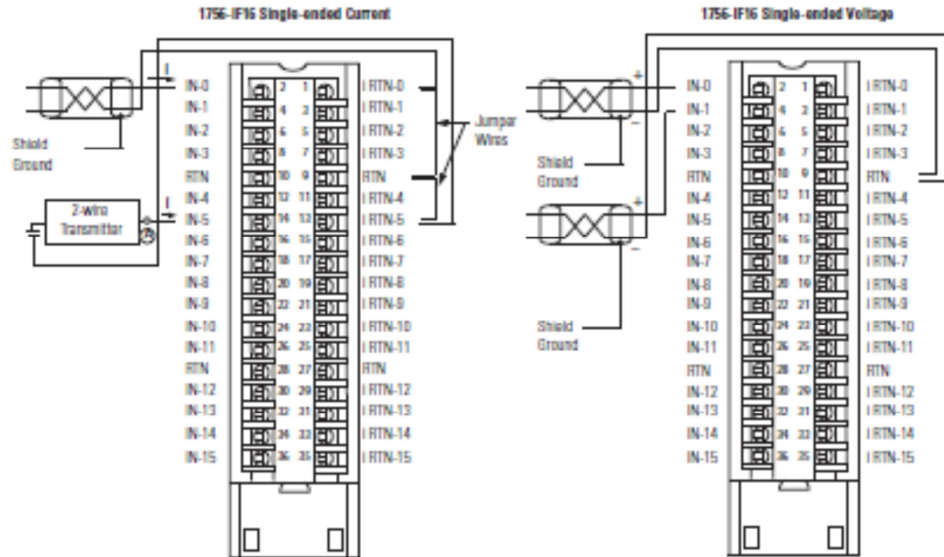
1756-IR6I

ControlLogix temperature sensing analog input module



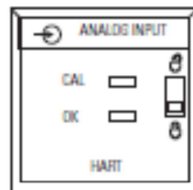
Do not connect more than two wires to any single terminal.

IMPORTANT: For 2-wire resistor applications including calibration, make sure IN-x/B and RTN-x/C are shorted together as shown.



- All terminals marked RTN are connected internally.
- For current applications, all terminals marked i RTN must be wired to terminals marked RTN.
- A 249 Ω current loop resistor is located between IN-*x* and iRTN-*x* terminals.
- Place additional loop devices (such as strip chart recorders) at the A location in the current loop.
- Do not connect more than two wires to any single terminal.

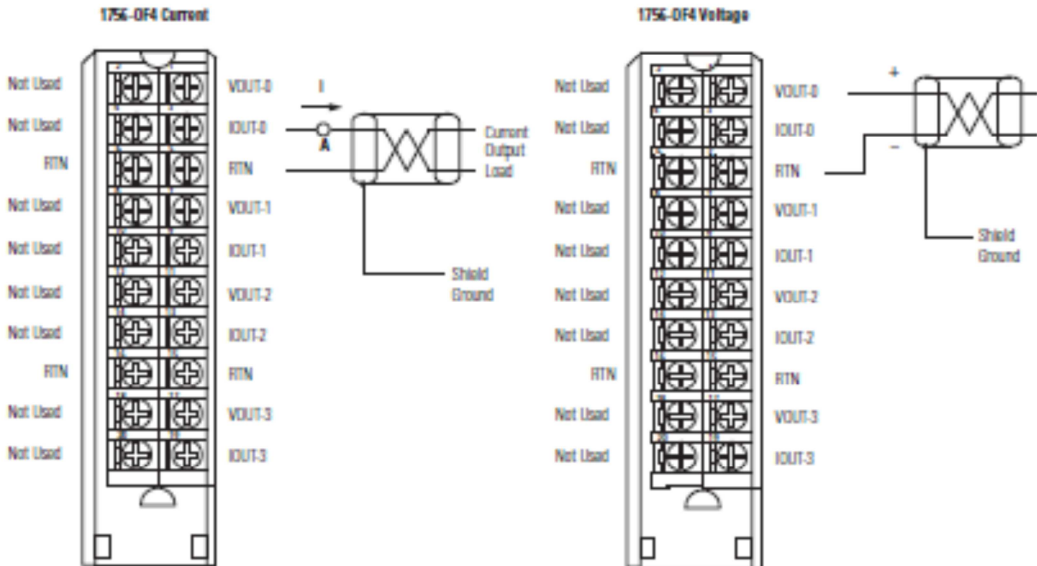
- All terminals marked RTN are connected internally.
- Terminals marked i RTN are not used for single-ended voltage wiring.
- Do not connect more than two wires to any single terminal.



Attribute	1756-IF16
Inputs	16 single ended, 8 differential or 4 differential (high speed)
Input range	±10.25V 0...10.25V 0...5.125V (16 bits) 0...20.5 mA
Resolution	±10.25V (15 bits + sign bipolar) 0...10.25V (16 bits) 0...5.125V (16 bits) 0...20.5 mA (16 bits)
Current draw @ 5.1V	150 mA
Current draw @ 24V	85 mA
Power dissipation, max	Voltage: 2.3 W Current: 3.9 W

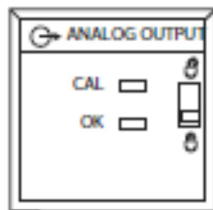
1756-0F4

ControlLogix voltage/current output analog module



- Place additional loop devices (such as strip chart recorders) at the A location noted above.
- Do not connect more than two wires to any single terminal.
- All terminals marked RTN are connected internally.
- Do not connect more than two wires to any single terminal.
- All terminals marked RTN are connected internally.

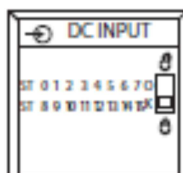
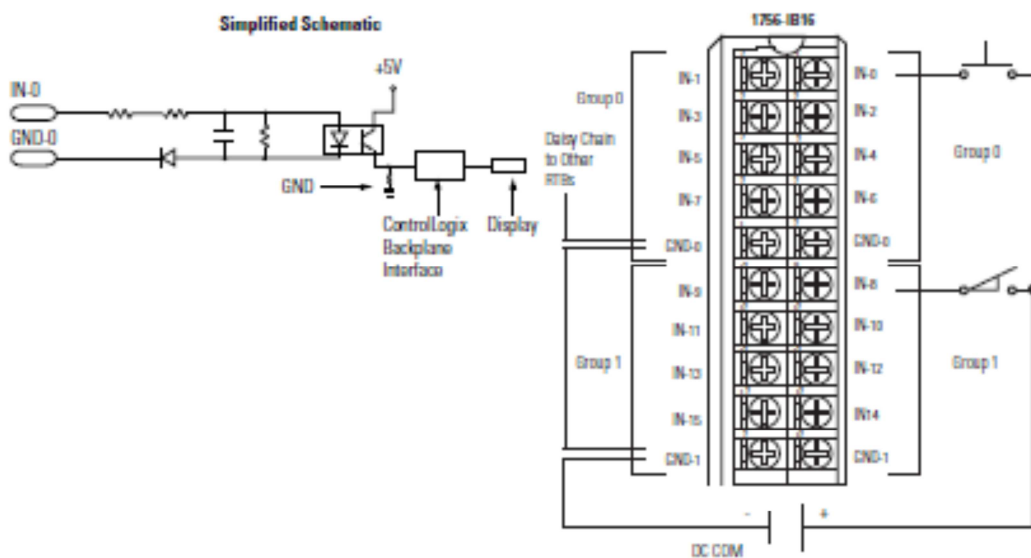
Range	Low Signal and User Counts	High Signal and User Counts
0...20 mA	0 mA -32768 counts	21.2516 mA 32767 counts
±10V	-10.4336V -32768 counts	10.4336V 32767 counts



Attribute	1756-0F4
Outputs	8 voltage or current
Output range	±10.4V 0...21 mA
Resolution	Voltage: 15 bits across 10.5V, 320 µV/bit Current: 15 bits across 21mA, 650 nA/bit
Current draw @ 5.1V	150 mA
Current draw @ 24V	120 mA

1756-IB16

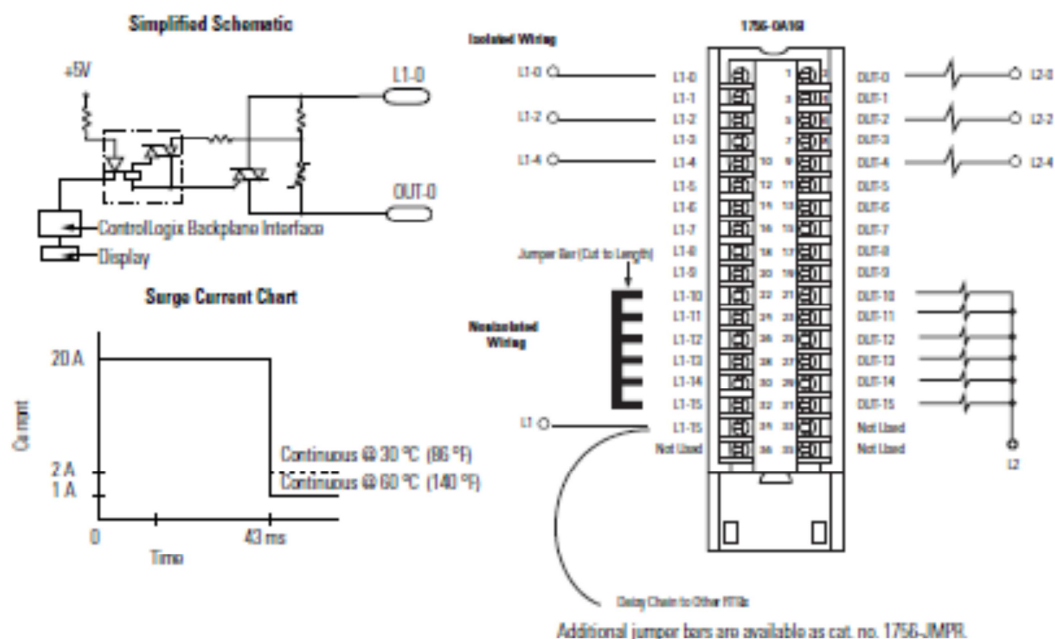
ControlLogix DC (10...31.2V) Input module



Attribute	1756-IB16
Inputs	16 (8 points/group)
Voltage category	12/24V DC sink
Operating voltage range	10...31.2V DC
Input voltage, nom	24V DC
Input delay time OFF to ON	Hardware delay: 200 μ s nom/1 ms max + filter time User-selectable filter time: 0, 1, or 2 ms
ON to OFF	Hardware delay: 700 μ s nom/2 ms max + filter time User-selectable filter time: 0, 1, 2, 9, or 18 ms
Current draw @ 5.1V	100 mA
Current draw @ 24V	2 mA
Power dissipation, max	5.1 W @ 50 °C (140 °F)
Thermal dissipation	17.39 BTU/hr
Off-state voltage, max	5V
Off-state current, max	1.5 mA
On-state current, min	2 mA @ 10V DC
On-state current, max	10 mA @ 31.2V DC

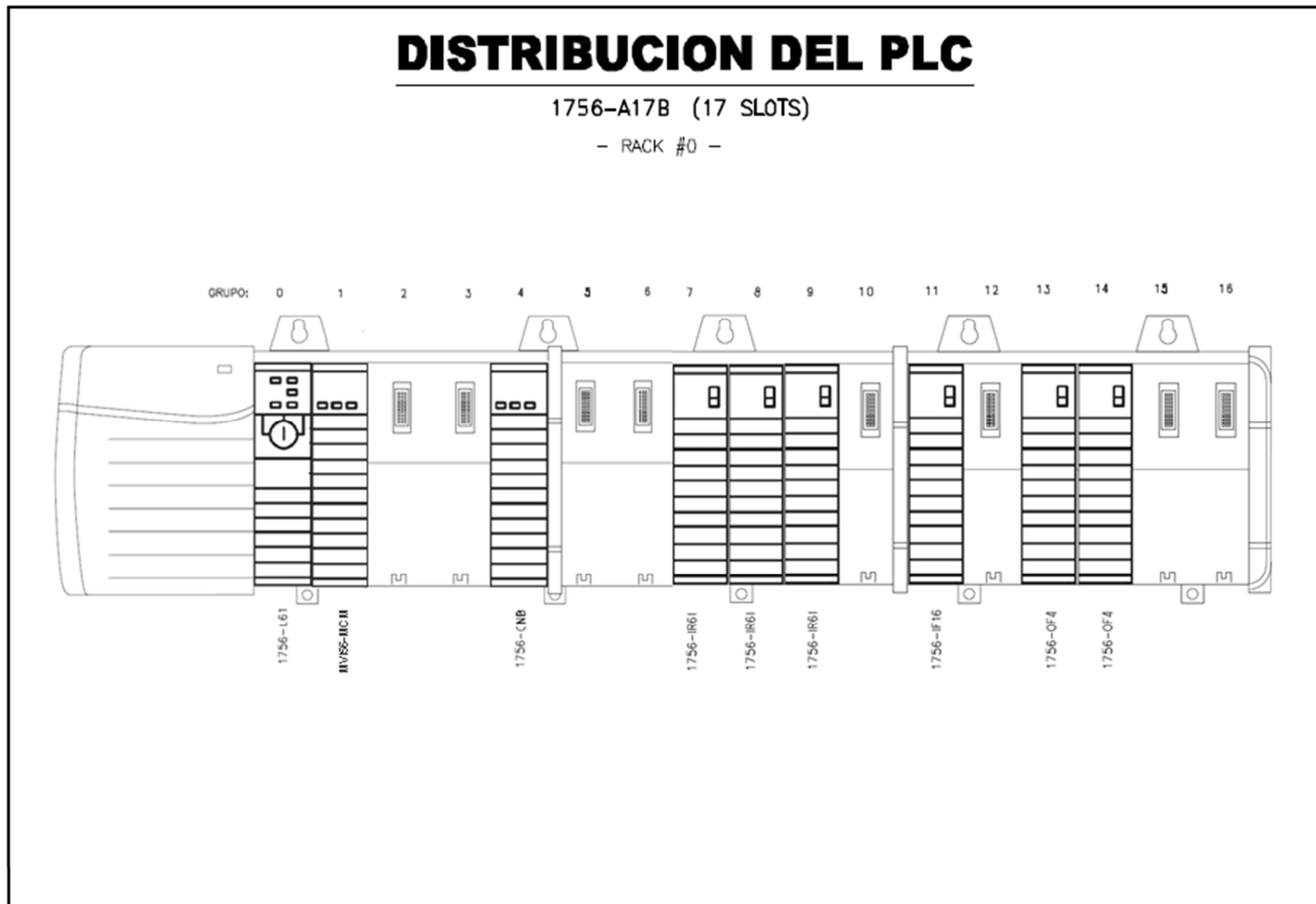
1756-0A16I

ControlLogix AC (74...265V) isolated output module



Attribute	1756-0A16I
Outputs	16 individually isolated
Voltage category	120/240V AC
Operating voltage range	74...265V AC 47...63 Hz
Output delay time	
OFF to ON	9.3 ms @ 60 Hz 11 ms @ 50 Hz
ON to OFF	9.3 ms @ 60 Hz 11 ms @ 50 Hz
Current draw @ 5.1V	300 mA
Current draw @ 24V	2.5 mA
Power dissipation, max	5.5 W @ 60 °C (140 °F)
Thermal dissipation	18.75 BTU/hr
Off-state leakage current, max	3 mA per point
On-state voltage drop, max	1.5V peak @ 2 A 8V peak @ load current < 50 mA

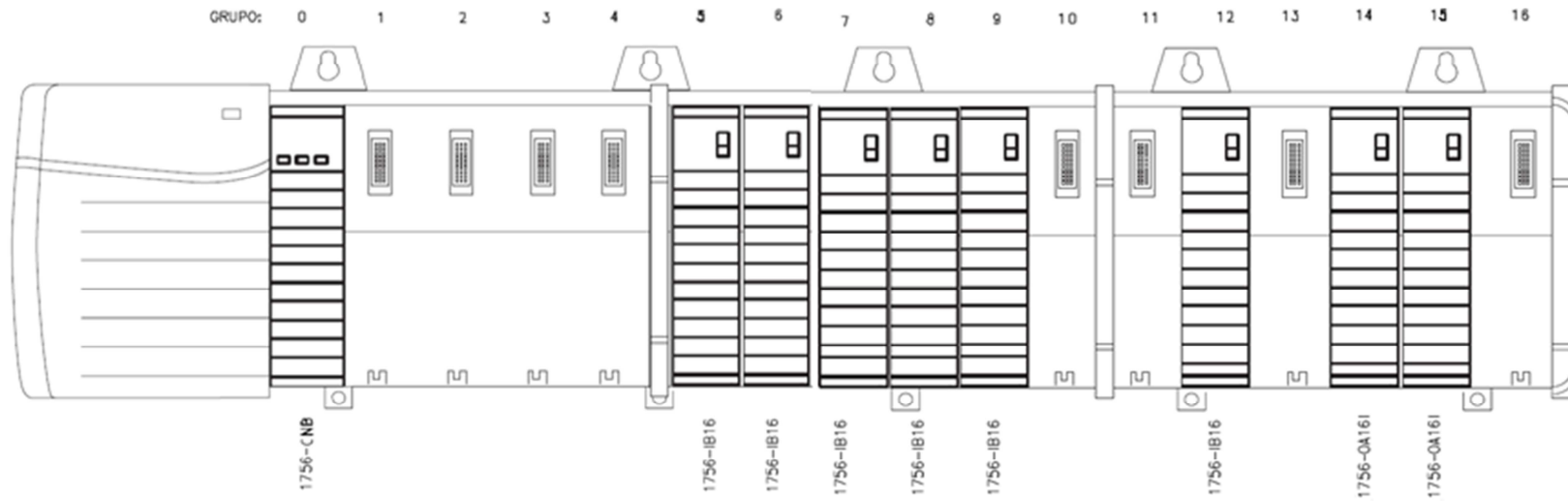
B.2 La distribución de los módulos en el chasis serie B.



DISTRIBUCION DEL PLC

1756-A17B (17 SLOTS)

- RACK #1 -



B.3 Terminales de bloques removibles específica.

ControlLogix I/O Accessories

Place 1756 I/O modules in any slot in a 1756 chassis. Each chassis requires a power supply.

Product	Cat. No.
Chassis	1756-A4, 1756-A7, 1756-A10, 1756-A13, 1756-A17
Power supply, standard	1756-PA72/C, 1756-PA75/B, 1756-PB72/C, 1756-PB75/B, 1756-PC75/B, 1756-PH75/B
Power supply, redundant	1756-PA75R, 1756-PB75R, 1756-PSCA2 1756-CPR2 cable

For more information on chassis, see ControlLogix Chassis Specifications Technical Data, publication [1756-TD006](#).

For more information on power supplies, see ControlLogix Power Supply Specifications Technical Data, publication [1756-TD005](#).



1756 Removable Terminal Blocks

Removable terminal blocks (RTBs) provide a flexible interconnection between your plant wiring and 1756 I/O modules. The RTB plugs into the front of the I/O module. The type of module determines which RTB you need. You can choose screw-clamp or spring-clamp RTBs.

RTBs are not shipped with I/O modules. You must order them separately. The standard housing on the front of the wiring arm is not deep enough for 2.5 mm² (14 AWG) wiring. If you plan to use 2.5 mm² (14 AWG) wiring, also order the extended housing.

Attribute	1756-TBNH	1756-TBSH	1756-TBCH	1756-TBS6H	1756-TBE
Description	20-position NEMA screw-clamp removable block	20-pin spring-clamp removable terminal block with standard housing	36-pin cage-clamp removable terminal block with standard housing	36-pin spring-clamp removable terminal block with standard housing	Extended depth terminal block housing
Screw torque	0.8...1 N•m 7...9 lb•in		0.4 N•m 4.4 lb•in		—
Screwdriver width	8 mm (5/16 in.) max				

B.4 Listado de dispositivos conectados a los módulos del PLC ControlLogix.

Tag	Descripción	Localización	Rack	Slot	Numero I/O
DJR1-001		Densidad Línea 1(TC)	0	13	2
DJR1-002		Densidad Línea 2(TC)	0	13	4
DJR1-003		Densidad Línea 3 (TC)	0	14	2
FJR1-001		Caudal Línea 1(TC)	0	13	1
FJR1-002		Caudal Línea 2(TC)	0	13	3
FJR1-003		Caudal Línea 3 (TC)	0	14	1
LS-001	Interruptor de nivel	Falla de sello MP-1	1	6	3
LS-002	Interruptor de nivel	Falla de sello MP-2	1	7	12
LSH-001	Interruptor de nivel alto	Tanque 115	1	12	7
LSH-002	Interruptor de nivel alto	Tanque 108	1	12	12
LSH-003	Interruptor de nivel alto	Tanque 101	1	12	0
LSH-004	Interruptor de nivel alto	Tanque 102	1	12	2
LSH-005	Interruptor de nivel alto	Tanque 103	1	12	4
LSH-006	Interruptor de nivel alto	Tanque 104	1	12	5
LSH-007	Interruptor de nivel alto	Tanque 105	1	12	6
LSH-008	Interruptor de nivel alto	Tanque 106	1	12	3
LSH-009	Interruptor de nivel alto	Tanque 111	1	12	14
LSH-010	Interruptor de nivel alto	Tanque 116	1	12	15
LSH-011	Interruptor de nivel alto	Tanque 107	1	12	11
LSH-012	Interruptor de nivel alto	Tanque 110	1	12	10
LSH-013	Interruptor de nivel alto	Tanque 119	1	12	13
LSH-014	Interruptor de nivel alto	Tanque 120	1	12	8

Tag	Descripción	Localización	Rack	Slot	Numero I/O
LSH-015	Interruptor de nivel alto	Tanque 109	1	12	9
LT-001	Transmisor de nivel	Sumidero 1	0	11	8
LT-002	Transmisor de nivel	Sumidero 2	0	11	9
PCV-001	Válvula de presión	Señal de Control Valvula Entrada L1	0	14	3
PCV-002	Válvula de presión	Señal de Control Valvula Entrada L2	0	14	4
PSH-001	Interruptor de presión alta	Alta presión entregada Línea 1	1	9	4
PSH-002	Interruptor de presión alta	Alta presión descarga Línea 3	1	10	8
PSH-002	Interruptor de presión alta	Baja presión aire de instrumentos	1	10	11
PSH-007	Interruptor de presión alta	Alta presión entrada Línea 2	1	9	15
PSL-001	Interruptor de baja presión	Baja presión succión MP-1	1	6	2
PSL-002	Interruptor de baja presión	Baja presión succión MP-2	1	7	11
PT-001	Transmisor de presión	(TC-17/20) Presión de entrada Línea 1	0	11	0
PT-002	Transmisor de presión	(TC-18/20) Presión de entrada Línea 2	0	11	1
PT-006	Transmisor de presión	(TC-19/20) Presión de descarga Línea 3	0	11	2
SV-001	Válvula solenoide	Válvula venteo cámara bomba MP-1	1	14	2
SV-002	Válvula solenoide	Válvula venteo cámara bomba MP-2	1	15	2
TE-001	Elemento de temperatura	MP-1 Cojinete Exterior Bomba	0	9	1
TE-002	Elemento de temperatura	MP-1 Cojinete Interior Bomba	0	9	2
TE-003	Elemento de temperatura	Cojinete exterior MP-1	0	7	3
TE-004	Elemento de temperatura	Cojinete interior del MP-1	0	7	4
TE-005	Elemento de temperatura	MP-1 Caja de bomba	0	9	0
TE-006	Elemento de temperatura	MP-2 Cojinete Exterior Bomba	0	9	4
TE-007	Elemento de temperatura	MP-2 Cojinete Interior Bomba	0	9	5
TE-008	Elemento de temperatura	Cojinete exterior del MP-2	0	8	3
TE-009	Elemento de temperatura	Cojinete interior del MP-2	0	8	4
TE-010	Elemento de temperatura	MP-2 Caja de bomba	0	9	3

Tag	Descripción	Localización	Rack	Slot	Numero I/O
TE-023	Elemento de temperatura	Temperatura del densitómetro Línea 3	0	8	5
TE-MOTE1-001	Elemento de temperatura	Devanado R del motor MP-1	0	7	0
TE-MOTE1-002	Elemento de temperatura	Devanado S del motor MP-1	0	7	1
TE-MOTE1-003	Elemento de temperatura	Devanado T del motor MP-1	0	7	2
TE-MOTE2-001	Elemento de temperatura	MP-2 Devanado R del motor	0	8	0
TE-MOTE2-002	Elemento de temperatura	MP-2 Devanado S del motor	0	8	1
TE-MOTE2-003	Elemento de temperatura	MP-2 Devanado T del motor	0	8	2
XS-001		Sobrecarga MP-1	1	6	4
XS-002		Operando Bomba MP-1	1	6	5
XS-003		Detenida bomba MP-1	1	6	6
XS-004		Operando BP-1	1	7	0
XS-005		Detenida BP-1	1	7	1
XS-006		Sobrecarga MP-2	1	7	13
XS-007		Operando Bomba MP-2	1	7	14
XS-008		Detenida bomba MP-2	1	7	15
XS-009		Operando bomba BP-2	1	8	8
XS-010		Detenida bomba BP-2	1	8	9
XS-011		Operando bomba sumidero SP-1	1	9	0
XS-012		Detenida bomba sumidero SP-1	1	9	1
XS-013		Operando bomba de sumidero SP-2	1	9	11
XS-014		Detenida bomba de sumidero SP-2	1	9	12
XS-015		Relé de paro MP-1	1	14	0
XS-016		Relé de arranque MP-1	1	14	1
XS-017		Arranque/Paro BP-1	1	14	9
XS-018		Relé de paro MP-2	1	15	0
XS-019		Relé de arranque MP-2	1	15	1

Tag	Descripción	Localización	Rack	Slot	Numero I/O
XS-020		Arranque/Paro BP-2	1	15	9
XS-021		Disparo Línea 1	1	15	12
XS-022		Disparo Línea 2	1	15	13
XS-023		Selector Manual/Automático En Automático MP-1	1	6	1
XS-024		Manual/Automático MP-2	1	7	10
XS-025		Disparo interruptor termomagnético	1	10	10
YA-001	Indicador sonoro de alarma	Alarma auditiva estación	1	15	14
YS-001	Interruptor de paso de cochino	Cochino entrando Línea 1	1	9	5
YS-002	Interruptor de paso de cochino	Cochino entrando Línea 2	1	10	0
YS-003	Interruptor de paso de cochino	Cochino saliendo Línea 3	1	10	9