

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

CARRERA DE ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL Y  
MONITOREO PARA MANEJO DE UN PROCESO SCADA MEDIANTE UNA  
UNIDAD DE CONTROL REMOTA (RTU) CON UN PROCESADOR LÓGICO  
PROGRAMABLE (PLC) A SER IMPLEMENTADO EN LA EMPRESA SERVICIOS Y  
AUTOMATIZACIÓN.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES

AUTOR: SANTIAGO JAVIER SIGCHA CHICAIZA

TUTOR: ING. MAURICIO ALMINATI

QUITO, NOVIEMBRE DE 2013

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación certifico:

Que el trabajo de graduación “ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL Y MONITOREO PARA MANEJO DE UN PROCESO SCADA MEDIANTE UNA UNIDAD DE CONTROL REMOTA (RTU) CON UN PROCESADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) A SER IMPLEMENTADO EN LA EMPRESA SERVICIOS Y AUTOMATIZACIÓN”, presentado por Santiago Javier Sigcha Chicaiza, estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M, Noviembre de 2013.

TUTOR

-----

Ing. Mauricio Alminati V.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL****AUTORÍA DE TESIS**

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D.M, Noviembre de 2013

-----

Santiago Javier Sigcha Chicaiza

CC: 171911117-9

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**  
**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban la tesis de graduación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Tecnológica Israel para títulos de pregrado.

Quito D.M, Noviembre de 2013

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

-----

PRESIDENTE

-----

MIEMBRO 1

-----

MIEMBRO 2

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme iluminado y bendecido con la vida, él pudo ayudarme a solventar los obstáculos en mi vida universitaria.

A mis Padres, Luis y Rocío, quienes me brindaron su apoyo incondicional y estuvieron pendientes de mi salud, educación y vigilantes para que pueda cumplir cada una de mis metas.

A mi hermana, Sandra, por estar siempre junto a mi lado como un pilar importante de mi vida estudiantil.

A mi esposa Eva, por su compañía y comprensión, su bondad y amor permitió fortalecer mi mente y encaminar de nuevos proyectos.

## DEDICATORIA

Todo mi trabajo y esfuerzo es dedicado con cariño para mi madre Rocío, por su fortaleza y amor por su apoyo permanente para desarrollar mi vida estudiantil.

Madre, espero que Dios te entregue salud y vida para poder recompensar todo tu sacrificio hecho para mí. Gracias de corazón.

Dedico a mi sobrino Mateo, que este trabajo sea un ejemplo de superación para ti, que puedas desarrollar mejores metas y seas en un futuro cercano un ejemplo para tu madre y nuestra familia.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1 .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Problema Investigado .....	2
1.3 Problema Principal .....	4
1.4 Problemas Secundarios .....	4
1.5 Justificación.....	5
1.6 Objetivos .....	6
1.6.1 Objetivo Principal.....	6
1.6.2 Objetivo Específicos .....	6
1.7 Metodología .....	7
CAPÍTULO 2 .....	8
2.1 Marco teórico .....	8
2.1.1 Definición PLC.....	8
2.1.2 Ventajas de utilizar un PLC.....	9
2.1.3 Interfaz Humano Máquina (HMI) .....	10
2.1.4 Protocolos de comunicación.....	11
2.1.5 Comunicación serial RS-485 .....	12
2.1.6 Protocolo de comunicación MODBUS.....	13
2.1.7 Grados de protección interna IP .....	21
2.2 Marco Conceptual.....	22
2.2.1 PLC S7-1200 .....	22
2.2.2 Interfaz Humano Máquina HMI Basic Panel KTP-400.....	30
2.2.3 Protocolo MODBUS en S7-1200 .....	35
2.2.4 VSD (Variable Speed Drive o Variador de Frecuencia) .....	36
CAPÍTULO 3 .....	38
3.1 Estudio del sistema prototipo para recopilar información por medio de una red serial industrial.....	38
3.1.1 Estudio del hardware del sistema.....	38
3.1.2 Diagrama de bloques del hardware del sistema.....	41
3.2 Diseño del sistema de control que funciona como interfaz de comunicación	

entre equipos que poseen comunicaciones seriales y pueden ser interpretados vía Ethernet .....	43
3.2.1 Detalle de diagramas eléctricos y electrónicos del prototipo .....	43
3.2.2 Diseño de Software .....	53
3.2.3 Diseño Mecánico .....	60
3.3 Montaje del sistema .....	64
3.3.1 Montaje de hardware .....	64
3.3.2 Montaje de software .....	68
3.4 Construcción de un sistema prototipo que se pueda operar a la intemperie con grados de protección IP para su funcionamiento en zonas con ambiente corrosivo .....	79
3.4.1 Verificación de la instalación de equipos según diagramas.....	83
3.4.2 Configuraciones del sistema prototipo.....	86
3.5 Pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema prototipo en condiciones normales y críticas .....	91
3.5.1 Enlace del Sistema.....	91
3.5.2 Conectividad de Redes.....	93
3.5.3 Revisión de Alarmas .....	93
3.5.4 Operación .....	94
3.5.5 Proceso .....	95
3.5.6 Datos de simulación en estación remota .....	95
3.5.7 Resultados obtenidos de la simulación en baja carga.....	96
3.5.8 Pruebas finales de aceptación de ensamble del prototipo.....	98
CAPÍTULO 4 .....	101
4.1 Análisis de Resultados.....	101
4.2 Matriz FODA .....	104
4.3 Costos del Proyecto .....	105
CAPÍTULO 5 .....	107
5.1 Conclusiones.....	107
5.2 Recomendaciones .....	108
BIBLIOGRAFÍA .....	110
BIBLIOGRAFÍA WEB .....	110
ANEXOS .....	112

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1 Tabla de asignación para registros MODBUS.....	17
Tabla 2.2 Tamaño de datos desde maestro a esclavo.....	18
Tabla 2.3 Tamaño de datos de respuesta esclavo a maestro.....	18
Tabla 2.4 Tabla descriptiva protección contra objetos sólidos. ....	21
Tabla 2.5 Tabla descriptiva protección contra objetos líquidos.....	22
Tabla 2.6 Tabla comparativa controladores. ....	31
Tabla 2.7 Tabla comparativa interfaz humano máquina. ....	34
Tabla 3.1 Matriz de instrumentos asignados al prototipo.....	40
Tabla 3.2 Dimensiones de equipos y componentes internos del prototipo.....	62
Tabla 3.3 Dimensiones de equipos y componentes externos del prototipo.....	62
Tabla 3.4 Datos tabulados de pruebas realizadas.....	97
Tabla 3.5 Lista de pruebas de aceptación de ensamble.....	100
Tabla 4.1 Costos del proyecto. ....	106

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1 Ejemplo de una sala de control con sistemas HMI. ....	11
Figura 2.2 Arquitectura MODBUS. ....	15
Figura 2.3 Estructura de datos MODBUS. ....	16
Figura 2.4 Diagrama de flujo trama de datos MODBUS. ....	18
Figura 2.5 Topología Daisy Chain MODBUS RTU. ....	19
Figura 2.6 Topología tipo "T" MODBUS RTU. ....	20
Figura 2.7 Topología tipo Estrella MODBUS RTU. ....	20
Figura 2.8 Representación grado de protección interna de equipos. ....	21
Figura 2.9 Representación en bloques PLC S7-1200. ....	23
Figura 2.10 Foto 1 PLC S7-1200. ....	24
Figura 2.11 Foto 2 PLC S7-1200. ....	24
Figura 2.12 Diagrama funcional PLC S7-1200. ....	24
Figura 2.13 Esquema del ciclo operativo del PLC en el tiempo. ....	27
Figura 2.14 Diagrama de bloques estructura HMI. ....	32
Figura 2.15 Diagrama Funcional de Funciones MODBUS. ....	35
Figura 2.16 Representación unifilar y externa de VSD. ....	36
Figura 3.1 Diagrama general de bloques. ....	39
Figura 3.2 Diagrama de bloques hardware del prototipo. ....	41
Figura 3.3 Diagrama de bloques de la arquitectura general de sistema de control y monitoreo. ....	44
Figura 3.4 Lista de materiales del prototipo. ....	46
Figura 3.5 Gabinete IP55. ....	46

Figura 3.6 Distribución unifilar voltaje A.C. y D.C del prototipo.....	47
Figura 3.7 Distribución unifilar módulo de entradas digitales.....	48
Figura 3.8 Distribución unifilar módulo de salidas digitales.....	49
Figura 3.9 Distribución unifilar módulo de entradas análogas.....	50
Figura 3.10 Red MODBUS del prototipo.....	51
Figura 3.11 Distribución de puertos Ethernet en el prototipo.....	52
Figura 3.12 Diagrama general de flujo del prototipo.....	54
Figura 3.13 Diagrama de instrumentación del proceso.....	56
Figura 3.14 Diagrama de flujo prototipo – VSD comunicación MODBUS.....	57
Figura 3.15 Diagrama de flujo instrumentación digital y análoga.....	58
Figura 3.16 Vista frontal externa del prototipo.....	61
Figura 3.17 Dimensiones generales del prototipo.....	63
Figura 3.18 Instalación de módulo y energización de PLC.....	64
Figura 3.19 Activación de una entrada digital de PLC.....	65
Figura 3.20 Activación de módulo RS-485.....	66
Figura 3.21 Activación de módulo de salidas PLC.....	67
Figura 3. 22 Simulador se señal análoga.....	67
Figura 3.23 Asignación de dirección TCP/IP a PC.....	69
Figura 3.24 Conexión TCP/IP PLC S7-1200 parte 1.....	69
Figura 3. 25 Conexión TCP/IP PLC S7-1200 parte 2.....	70
Figura 3.26 Elaboración de programa base.....	70
Figura 3.27 TAGs de programa del prototipo.....	72
Figura 3.28 Creación de subrutinas auxiliares.....	73
Figura 3.29 Creación de temporizadores.....	73

Figura 3.30 Creación de bits auxiliares. ....	74
Figura 3.31 Pasos de la programación.....	75
Figura 3.32 Conexión punto a punto PLC-HMI.....	76
Figura 3.33 Desarrollo de pantalla para HMI.....	77
Figura 3.34 Pantallas para visualización de datos del prototipo. ....	78
Figura 3.35 Pantalla para visualización de gráficas de instrumentos análogos .....	79
Figura 3.36 Componentes para implementación de prototipo.....	79
Figura 3.37 Pruebas físicas de componentes para implementación del prototipo.....	80
Figura 3.38 Corte e instalación mecánica del prototipo.....	81
Figura 3. 39 Instalación de equipos del prototipo. ....	81
Figura 3.40 Construcción mecánica general de prototipo parte 1. ....	82
Figura 3.41 Construcción mecánica general de prototipo parte 2. ....	83
Figura 3.42 Descripción de construcción interna del prototipo parte 1.....	84
Figura 3.43 Descripción de construcción interna del prototipo parte 2.....	85
Figura 3.44 Descripción de implementación externa del prototipo.....	86
Figura 3. 45 Estatus de comunicación MODBUS del prototipo.....	87
Figura 3.46 Estatus de instrumentos conectados al prototipo.....	88
Figura 3.47 Configuración de parámetros para instrumentos. ....	89
Figura 3.48 Configuración de arranque de VSD.....	89
Figura 3.49 Pantallas de proceso para datos y gráficas. ....	90
Figura 3.50 Pruebas de funcionamiento. ....	91
Figura 3.51 Ingreso de contraseña. ....	92
Figura 3.52 Configuración de parámetros. ....	93
Figura 3. 53 Comunicación MODBUS establecida.....	93

Figura 3.54 Alarmas y fallas presentes en prototipo. ....	94
Figura 3.55 Activación VSD. ....	94
Figura 3.56 Gráfica de transductores y arranque VSD. ....	95
Figura 3.57 Registro de datos prototipo y VSD. ....	95
Figura 3.58 Registro de datos desde prototipo. ....	96
Figura 4.1 Gráfica Frecuencia vs. Tiempo de VSD. ....	101
Figura 4.2 Gráfica Corriente de salida vs. Tiempo de VSD. ....	102
Figura 4.3 Gráfica Voltaje de salida vs. Tiempo de VSD. ....	102
Figura 4.4 Gráfica Temperatura vs. Tiempo de VSD. ....	103
Figura 4.5 Matriz FODA de proyecto. ....	104

## RESUMEN

El presente proyecto “ESTUDIO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL Y MONITOREO PARA MANEJO DE UN PROCESO SCADA MEDIANTE UNA UNIDAD DE CONTROL REMOTA (RTU) CON UN PROCESADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) A SER IMPLEMENTADO EN LA EMPRESA SERVICIOS Y AUTOMATIZACIÓN” muestra un proceso automatizado que permite la lectura de variables eléctricas y también el control de equipos electrónicos como son variadores de frecuencia por medio de una interfaz humano máquina para facilitar las labores de mantenimiento y operación en las estaciones de las plantas industriales donde se instalan y operan los variadores de frecuencia.

El documento contiene un detalle del diseño del prototipo, características de funcionalidad, representaciones gráficas, la selección, el dimensionamiento de equipos, secuencias de programación, pantallas de operación de la interfaz humano máquina, el montaje de equipos y pruebas de operación del prototipo.

## ABSTRACT

This project "STUDY, DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF CONTROL AND MONITORING FOR PROCESS MANAGEMENT THROUGH SCADA REMOTE CONTROL UNIT (RTU) WITH A PROGRAMMABLE LOGIC PROCESSOR (PLC) TO BE IMPLEMENTED IN THE COMPANY SERVICES AND AUTOMATION" shows an automated process that allows the reading of electrical and electronic control equipment such as inverters through a human machine interface to facilitate maintenance and stations operating in the industrial plants where are installed and operating inverters.

The document contains a detail of the prototype design, functionality features, graphics, the selection and sizing of equipment, programming sequences, operation screens human machine interface, the installation of equipment and operations of the prototype tests.

## CAPÍTULO 1

### PROBLEMATIZACIÓN

#### 1.1 Antecedentes

La empresa Servicios y Automatización con sede en la ciudad de Quito Distrito Metropolitano, fue creada en la ciudad de Quito y su finalidad fue formar una empresa dedicada a prestar servicios en la rama de Ingeniería Electrónica y Eléctrica; así diseña, desarrolla y construye sistemas en el área de Automatización y Control, Comunicaciones Industriales y Adquisición de Datos con diferentes equipos y/o instrumentos que puedan ser programados o desarrollados.

La base de proyectos realizados se fundamenta en Controladores Lógicos Programables (PLC), que son equipos electrónicos utilizados hoy en día para controlar de forma autónoma diferentes procesos en las fábricas industriales. Existen una gran variedad de estos equipos en el mercado, tras a ver recorrido ya más de cincuenta y dos años desde que inicio el sistema de control programable.

A finales de la década de los 60 las empresas automotrices demandaban de sistemas más potentes y confiables que permitieran incrementar la capacidad de producción y reducir los tiempos y costos de las líneas de producción de ensamble.

En el año 1970 se inicia un diseño y desarrollo, que cuatro años más tarde en 1974 se patentaría como PLC por una empresa americana "Allen Bradley". Marcando el inicio del desarrollo de una variedad de controladores automáticos que no vieron la luz hasta 1977 cuando se lanzó al mercado el primer controlador PLC-2 con un procesador Intel 8080. Tras la variedad de diferentes tipos de equipos se inició el diseño y desarrollo de nuevos modelos de manera acelerada, los cuales han evolucionado tanto en capacidad como en desempeño, ofreciendo así mejores y más rápidas aplicaciones para la industria no sólo automotriz.

En todos los controladores lógicos programables actuales se puede identificar claramente elementos principales de hardware, tarjetas de entradas, tarjetas de salidas, un CPU o procesador y tarjeta de comunicaciones. Los nuevos procesos ya no sólo dependen del control, se proyectan en una diversificación de aplicaciones en base a comunicaciones con una respuesta para la adquisición centralización de datos.

## **1.2 Problema Investigado**

Los técnicos operadores de las empresas dedicadas a prestar servicios de mantenimiento a empresas petroleras operan con dispositivos electrónicos de forma manual, por lo que existen pérdidas de tiempo, recursos en movilización y toma de datos.

En este tipo de trabajos de campo los técnicos deben cubrir distancias largas

hasta donde están ubicadas las estaciones de reinyección, bombeo de agua o transferencia de crudo de petróleo.

Las empresas encargadas de proporcionar servicios de ingeniería, mantenimiento preventivo y correctivo a las empresas alojadas en el oriente ecuatoriano, que extraen una de las materias primas, que es el crudo de petróleo aporte de la economía nacional, deben proveer equipos que son aporte importante para facilitar el manejo de esta materia prima y cubrir de alguna manera los desechos generados de ella.

Uno de los principales equipos que proveen estas empresas es el VSD (Variable Speed Drive o Variador de Frecuencia), que son dispositivos electrónicos que incluyen tarjetas electrónicas de control y potencia los cuales son conectados a grandes bombas para optimizar la extracción, la transferencia del crudo de petróleo y reinyección o transferencia del agua contaminada.

Los técnicos especialistas en mantenimiento no disponen de un estatus general de los VSD, a los cuales se realizan mantenimiento y se toman datos manualmente. Por esta razón las empresas invierten altos recursos para garantizar la operatividad de estos dispositivos electrónicos que normalmente se encuentran ubicados en zonas alejadas.

Se ha investigado que en Ecuador existen equipos de control importados, que abarcan soluciones globales que integran un centro de control de motores, VSD,

unidades remotas de control, sistemas satelitales que se venden como un sólo conjunto pero cuyo costo es muy elevado.

### **1.3 Problema Principal**

La empresa Servicios y Automatización no cuenta con un sistema prototipo de control remoto, el cual pueda ser implementado en la industria petrolera con la finalidad de controlar, monitorear y recibir datos desde una unidad remota para el control de (VSD) Variadores de Frecuencia.

### **1.4 Problemas Secundarios**

- No existe el estudio de un prototipo para recopilar información por medio de una red industrial serial para monitoreo.
- No existe el diseño de un prototipo de control que cuente con un dispositivo para actuar como interfaz de comunicación entre equipos que poseen comunicaciones seriales a comunicación Ethernet.
- No hay un sistema prototipo que pueda operar a la intemperie y cumpla con grados de protección IP para su funcionamiento en zonas con ambiente corrosivo.
- No se sabe si el sistema prototipo funciona adecuadamente en condiciones normales y críticas.

## 1.5 Justificación

El proyecto tiene como finalidad enlazar tecnología de comunicaciones aplicada a la industria de automatización para asegurar un buen mantenimiento, una buena operación de dispositivos electrónicos autónomos como son VSD (variadores de frecuencia).

En el proceso de estudio se ha identificado que en Ecuador existen equipos inteligentes para zonas específicas de control con un alto costo de adquisición e instalación. El prototipo a desarrollar permitirá obtener ventajas en costo y un beneficio para lograr la misma o mejor funcionalidad que otros equipos con dispositivos de excelente tecnología.

La elaboración de este prototipo ayudará a resolver operaciones manuales que se realizan en el campo industrial, mejorando la operatividad de los técnicos para brindar un mejor mantenimiento preventivo y correctivo de los dispositivos a comandar. Además, permitirá tener un control centralizado de varios dispositivos que cuenten con la unidad remota a implementarse haciendo que el sistema SCADA pueda controlarlos y monitorearlos.

Presentar una solución ante la abrumadora realidad del país en el campo industrial da lugar que en la actualidad se genere un altísimo porcentaje de procesos, que en otras economías ya se encuentran totalmente automatizados, en Ecuador aún se manejan de forma manual, y hasta cierto punto artesanal. Es por esto, que frente a la presencia de mercados cada vez más exigentes, las

empresas nacionales se ven en la necesidad de optimizar y dar la mayor eficiencia posible, no sólo a la maquinaria, sino también a los procesos que necesariamente debe realizar el personal de planta.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo Principal**

Estudiar, diseñar y construir un prototipo de control y monitoreo para manejo de un proceso SCADA mediante una unidad de control remota (RTU) con un procesador lógico programable (PLC) a ser implementada en la empresa Servicios y Automatización.

### **1.6.2 Objetivo Específicos**

- Realizar un estudio de un sistema prototipo para recopilar información por medio de una red industrial serial para monitoreo.
- Diseñar un sistema de control que permita funcionar como interfaz de comunicación entre equipos que poseen comunicaciones seriales y puedan ser interpretados vía Ethernet.
- Construir un sistema prototipo que pueda operar a la intemperie y cumpla con grados de protección IP para su funcionamiento en zonas con ambiente corrosivo.
- Realizar las pruebas necesarias para garantizar el correcto

funcionamiento del sistema prototipo en condiciones normales y críticas del proceso.

## **1.7 Metodología**

La implementación del proyecto constó de 4 etapas de investigación:

Primera etapa:

Los métodos de análisis y síntesis para la recopilación de toda la información que involucró el desarrollo del proyecto y fueron ligados a los conocimientos teóricos, conceptos investigados y prácticas desarrolladas en la industria.

Segunda etapa:

Deductiva con el dimensionamiento del hardware óptimo y establecimiento de los mejores equipos que permitieron satisfacer el desarrollo del proyecto planteado.

Tercera etapa

Inductiva involucró la solución del problema general planteado pasando por la clasificación y el estudio de los datos obtenidos con el cual permitió llegar a la contrastación del resultado final.

Cuarta etapa

Se utilizó la investigación de campo, para la verificación y validación de resultados obtenidos, mediante varias pruebas realizadas con el prototipo y VFD de baja carga.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO DE REFERENCIA**

#### **2.1 Marco teórico**

Procesos industriales en la actualidad buscan tecnificar sus maquinarias de una manera ágil, económica y sencilla, además garanticen que estas maquinarias cumplan estándares al momento de ser controladas, tengan la opción de informar sobre posibles daños y/o estados de funcionamiento.

Para cumplir los requerimientos de la industria se ha desarrollado un grupo de equipos electrónicos capaces de controlar sistemas, procesar información por medio de diferentes sistemas de comunicación y representarlos de una manera visual. A estos equipos se los conoce como PLC (Controlador Lógico Programable) y HMI (Interfaz Humano Máquina).

##### **2.1.1 Definición PLC**

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico que, por medio de la ejecución de una secuencia de programa, controla máquinas y procesos. El PLC utiliza módulos de memoria programable, dentro de los cuales almacena todas las instrucciones, y detalles de las mismas, entre las cuales se pueden enumerar, entre las más importantes, el control de activación y desactivación de las salidas, temporización, conteo, cálculo aritmético, secuencia y manejo de datos.

## **2.1.2 Ventajas de utilizar un PLC**

Existen varios beneficios de utilizar como base a un controlador lógico programable, los cuales se detallan a continuación:

### **2.1.2.1 Velocidad**

En operaciones críticas o demasiado veloces los tiempos de respuesta para ejecución de comandos son fundamentales y los obsoletos sistemas electromecánicos no garantizan estas labores. El procesador del PLC puede tardar 0.05 milisegundos en realizar un scan de programa.

### **2.1.2.2 Diagnóstico**

El PLC permite una facilidad para la detección de errores tanto en la secuencia o algoritmos de control, como en las periferias de hardware, las conexiones hacia los diferentes elementos a ser controlados disminuyen notablemente simplificando cableados innecesarios y optimizando el espacio donde se instalen estos equipos.

### **2.1.2.3 Confiabilidad**

Cada fabricante desarrolla características especiales a los controladores que diseña y su base fundamental es reducir prácticamente a cero la posibilidad de errores en el procesamiento. Con respecto a las conexiones para entradas y salidas también se simplifican en circuitería y facilitan la conexión hacia los instrumentos; con esto se garantiza una confiabilidad en el sistema en general.

#### **2.1.2.4 Posibilidad de Expansión**

Esta opción de los PLCs, es de expandir sus capacidades en hardware, por medio de módulos adicionales, ya sean de control o comunicaciones, posibilitando así, ampliar sus controles de la maquinaria o de la planta en general.

#### **2.1.2.5 Manejo de Comunicaciones**

Una de las características más desarrolladas en la actualidad es el manejo de diferentes protocolos de comunicación, con puertos nativos o módulos de expansión permite entablar comunicaciones con otros PLCs, así como también con un sinnúmero de equipos adicionales. Con esta ventaja el PLC puede acoplarse a redes industriales y permitir la integración de información.

#### **2.1.2.6 Funciones avanzadas de programación**

Un controlador lógico programable puede realizar una gran cantidad de funciones, ayuda al desempeño de tareas muy complicadas de control, también permite el ahorro en la compra de equipos adicionales.

### **2.1.3 Interfaz Humano Máquina (HMI)**

Una interfaz humano máquina (HMI, por sus siglas en inglés), por definición, es una arquitectura de visualización y un medio de enlace para cualquier sistema que pueda ser controlado. Con este equipo las personas interactúan con la tecnología.

Este componente fue desarrollado para hacer más asequible la operación de maquinaria o instalaciones industriales, que contengan cierto grado complejidad en la operación de grandes estaciones de trabajo.

La tarea de una interfaz humano máquina es hacer un trabajo ergonómico para la generación de comandos, visualización de parámetros de un equipo, graficar comportamiento de señales, todo esto enlazado por un medio guiado de comunicación con un PLC, instrumento o equipo. En la figura 2.3 se muestra un ejemplo de una sala de control con sistemas HMI.<sup>1</sup>



Figura 2.1 Ejemplo de una sala de control con sistemas HMI.

#### 2.1.4 Protocolos de comunicación

La principal necesidad de enlazar equipos ya sean de control u organización por medio de una red de comunicación produjo en la industria la estandarización de la tecnología y en consecuencia la creación de protocolos, con dos premisas sujetas la robustez y seguridad. Las comunicaciones poseen características

---

<sup>1</sup> MANDADO, Enrique. *Autómatas programables y Sistemas de Automatización*, Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 1, Pág. (3-88). [fecha de consulta: 23 Agosto 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

respecto a la transferencia de datos, disponibilidad para la obtención de datos y superación de fallas por la pérdida de información.

Los protocolos de comunicación definen las reglas para la transmisión y recepción de la información entre los nodos de la red.

Se puede distinguir dos principales grupos:

- Protocolos de los niveles físicos y de enlace, niveles 1 y 2 del modelo OSI. Este se basa en el envío de datos a nivel de bits y tramas.
- Protocolos de los niveles de red y transporte, niveles 3, 4 del modelo OSI. Encargado del encaminamiento de la información y garantiza una comunicación libre errores.

### **2.1.5 Comunicación serial RS-485**

Una interfaz de comunicación en un medio físico que permite la transmisión de datos digitales.

Hay dos formas de comunicación digital serial: asincrónica y sincrónica. Para la transferencia de datos asincrónicos se encapsula los datos y se utiliza un bit para inicio y un bit de parada. Con la comunicación sincrónica los paquetes se encapsulan y se transmiten todos los datos con un retardo por la velocidad de la red.

La comunicación RS-485 fue desarrollada por la asociación EIA (Electronic Industries Association), comité que lo convirtió en estándar en el año de 1983,<sup>2</sup> Este protocolo posee muchas ventajas que se detalla a continuación:

#### **2.1.5.1 Capacidad de interconexión**

Es un sistema de bus de transmisión multipunto diferencial, ideal para ser aplicado en largas distancias a través de canales con ruidos electromagnéticos que aparecen en voltajes producidos en la línea de transmisión eléctrica. Es una interface multi-enlace con capacidad de tener múltiples transmisores y receptores que pueden llegar a tener hasta 32 nodos y en sistemas modernos con una proyección hasta 256 nodos.

#### **2.1.5.2 Longitud de enlace**

El medio físico de transmisión es un par de cable entrelazado con una longitud máxima de 1200 metros operando en comunicación half-duplex.

#### **2.1.5.3 Rapidez**

Puede alcanzar una velocidad máxima de 10 Mbit/s a 12 metros y a 1200 metros con una velocidad de transmisión de 100 kbit/s.<sup>3</sup>

### **2.1.6 Protocolo de comunicación MODBUS**

Para una mejor comprensión de los términos a utilizarse en este subcapítulo se

---

<sup>2</sup>RODRIGUEZ, Aquilino. *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 5, Pág. (263-274). [fecha de consulta: 31 Agosto 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

<sup>3</sup>GUERRERO, Vicente / MARTINEZ, Luis / YUSTE, Ramón. *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 1, [fecha de consulta: 5 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

detalla las abreviaturas a designadas y utilizadas a nivel internacional.

**ADU**, Application Data Unit (Unidad de Datos de la Aplicación).

**I/O**, Input/Output (Entradas, Salidas).

**IP**, Internet Protocol (Protocolo de Internet).

**MB**, MODBUS Protocol (Protocolo MODBUS).

**PDU**, Protocol Data Unit (Unidad de Datos de Protocolo).

**TCP**, Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión).

**IP**, Internet Protocol (Protocolo de Internet).

MODBUS es un protocolo de comunicaciones está situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon.<sup>4</sup>

En la actualidad este protocolo es estándar en la industria y su aplicación es disponible para la conexión de dispositivos electrónicos que tengan la posibilidad de este tipo de comunicación. En la figura 2.2 se detalla la arquitectura de comunicación MODBUS.

---

<sup>4</sup>RODRIGUEZ, Aquilino. *Sistemas SCADA* Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 6, Pág. (363-366). , [fecha de consulta: 5 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

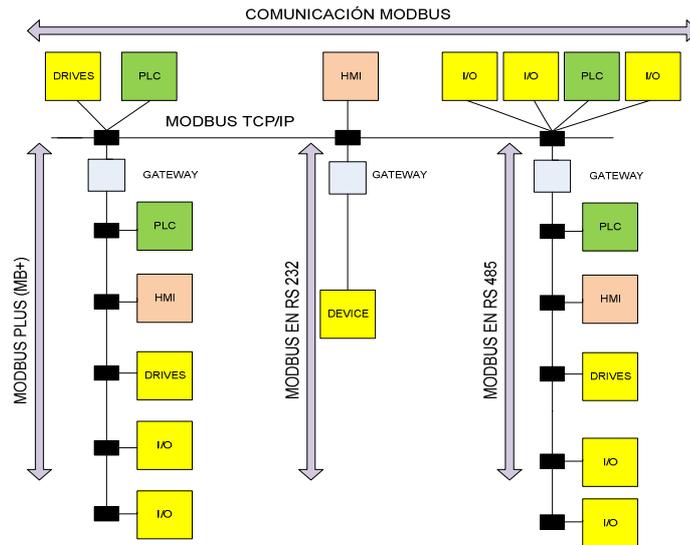


Figura 2.2 Arquitectura MODBUS.

Las principales características de este protocolo se detallan a continuación:

#### 2.1.6.1 Medio físico

Soporta una conexión half-duplex con estándares RS 485, RS 232 o full duplex en conexión mediante fibra óptica o RS-422.

La comunicación es asincrónica y las velocidades de transmisión previstas son desde los 75 a los 19.200 baudios. La máxima distancias entre estaciones depende del medio físico y se puede alcanzar hasta los 1200 metros sin repetidores.

Este protocolo permite conexión para ordenar y supervisar por medio de una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA).

Detalle de versiones de protocolo:

- MODBUS PLUS (MB+).
- MODBUS RTU.

- MODBUS ASCII.
- MODBUS/TCP.

### 2.1.6.2 Acceso al medio

“Este protocolo permite conexión para ordenar y supervisar por medio de una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos (SCADA). Cada dispositivo de la red MODBUS posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes MODBUS, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro.<sup>5</sup>

La estructura del tipo maestro/esclavo son generados de dos formas:

- Un mensaje enviado por el maestro a uno o varios esclavos.
- Un mensaje de respuesta emitido por uno o varios esclavos al maestro.

### 2.1.6.3 Estructura de datos

La estructura de datos está conformada por una simple unidad de datos (PDU) y encapsulada en un conjunto general que es la unidad de datos de la aplicación (ADU). En la figura 2.3 se representa la estructura de datos MODBUS.

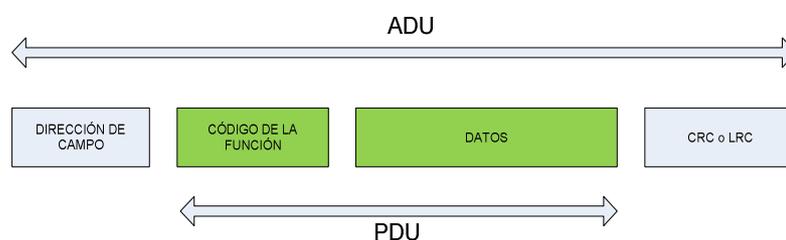


Figura 2.3 Estructura de datos MODBUS.

<sup>5</sup> “MODBUS”, compárese: *MODBUS Application Protocol Specification* [fecha de consulta: 6 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.modbus.org>.

Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. En la tabla 2.1 se detalla los códigos y nombres de las funciones de registros MODBUS.<sup>6</sup>

En las tablas 2.2 y 2.3 se detalla el formato y tamaño de datos utilizado en el protocolo MODBUS RTU, RS485. La lectura de datos como estándar es en nomenclatura Hexadecimal.

Function type		Function name	Function code	HEX	
Data Access	Bit access	Physical Discrete Inputs	Read Discrete Inputs	2	02
		Internal Bits or Physical Coils	Read Coils	1	01
			Write Single Coil	5	05
	Write Multiple Coils		15	0F	
	16-bit access	Physical Input Registers	Read Input Register	4	04
		Internal Registers or Physical Output Registers	Read Holding Registers	3	03
			Write Single Register	6	06
			Write Multiple Registers	16	10
			Read/Write Multiple Registers	23	17
			Mask Write Register	22	16
			Read FIFO Queue	24	18
	File Record Access	Read File Record	20	14	
		Write File Record	21	15	
Diagnostics	Read Exception Status	7	07		
	Diagnostic	8	08		
	Get Com Event Counter	11	0B		
	Get Com Event Log	12	0C		
	Report Slave ID	17	11		
	Read Device Identification	43	2B		
Other	Encapsulated Interface Transport	43	2B		
	CAN open General Reference	43	2B		

Tabla 2.1 Tabla de asignación para registros MODBUS.

<sup>6</sup> "MODBUS", compárese: *MODBUS Application Protocol Specification* [fecha de consulta: 6 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.modbus.org>.

DIRECCIÓN ESCLAVO	CODIGO DE LA FUNCIÓN	DATA		CRC o LCR CHECK SUM
		INICIO	CANTIDAD	
1 BYTE (8 BITS)	1 BYTE (8 BITS)	2 BYTES (16 BITS)	2 BYTES (16 BITS)	2 BYTE (16 BITS)
01	03	01	0A	-
Nodo 1	Lectura de función 03	Dirección del primer registro	Cantidad de registros	Código de falla

Tabla 2.2 Tamaño de datos desde maestro a esclavo.

DIRECCIÓN ESCLAVO	CODIGO DE LA FUNCIÓN	DATA		CRC o LCR CHECK SUM
		CANTIDAD	DATOS	
1 BYTE (8 BITS)	1 BYTE (8 BITS)	2 BYTES (16 BITS)	0 a 252 BYTES HEX( FF), BIN 11111111 (2016 BITS)	2 BYTE (16 BITS)
1	04	0A	00 01 – 00 02 - 00 03 – 00 04	-
Nodo 1	Lectura función 04	Cantidad de Registros	Cantidad de Registros	Código de Falla

Tabla 2.3 Tamaño de datos de respuesta esclavo a maestro.

La representación funcional de flujo de protocolo MODBUS está representada en la figura 2.4.

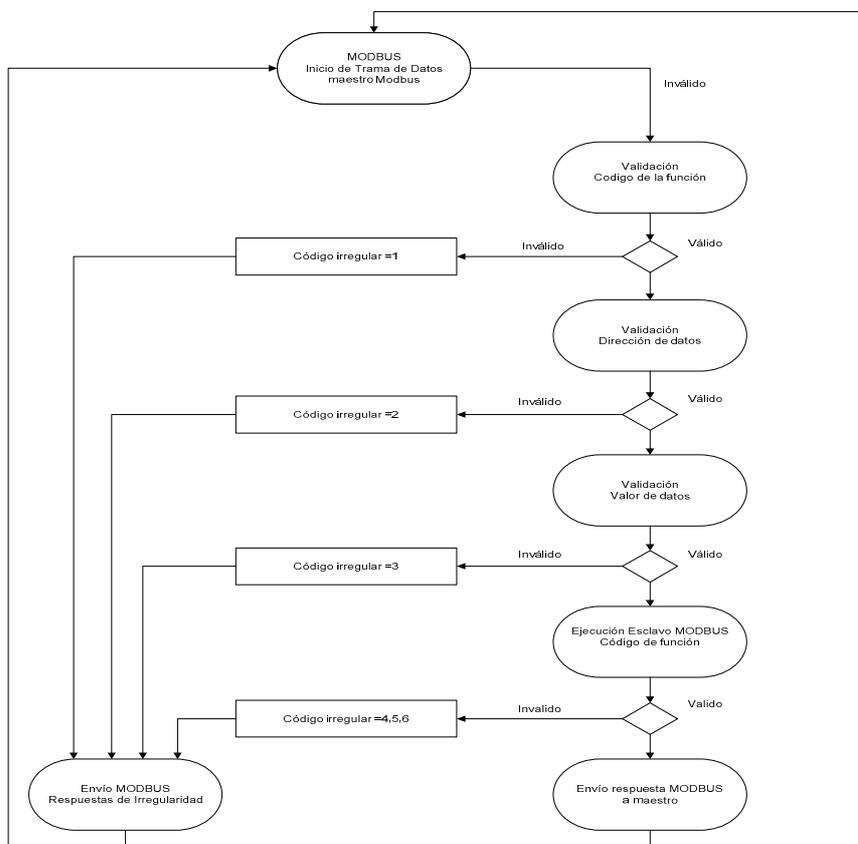


Figura 2.4 Diagrama de flujo trama de datos MODBUS.

#### 2.1.6.4 Topología de RED

Existen varios tipos de topologías soportadas por protocolo de comunicación MODBUS RTU, PLUS, ASCII. Entre los cuales el más confiable es en conexión Daisy Chain o Cadena Margarita que es un esquema de cableado usado en ingeniería eléctrica y electrónica.

El diseño es sencillo y la conexión debe ser realizada una a continuación de otra, es decir de un nodo a otro nodo.

En el tramo inicial y final de la red se debe instalar resistencias terminales con un valor óhmico de  $120\Omega$  cada una. Este enlace permitirá tener varios nodos conectados sin pérdidas o caídas de enlace, depende también de la velocidad de transmisión que la red sea confiable e íntegra.

En la figura 2.5 se detalla la topología Daisy Chain.

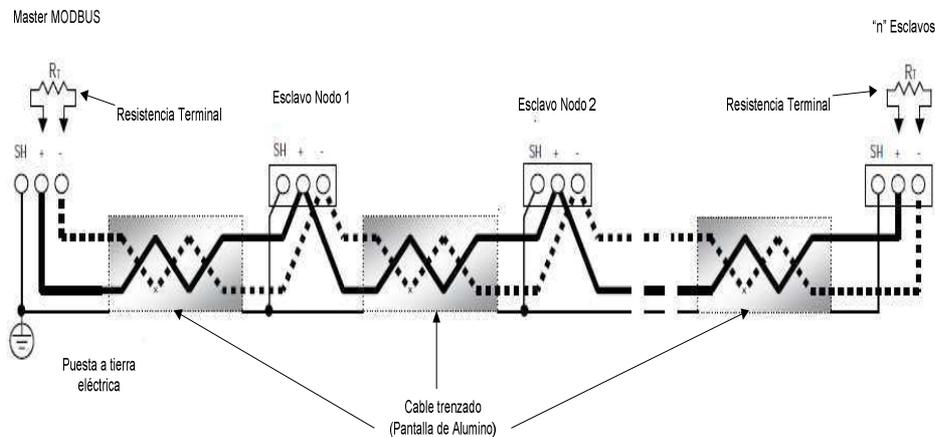


Figura 2.5 Topología Daisy Chain MODBUS RTU.

Otras de las alternativas de conexión son en topología Estrella y tipo T.

La configuración tipo "T" es similar a la configuración Daisy Chain, pero soporta derivaciones más largas en una o varias de sus troncales. En la figura 2.6 se

representa a la topología tipo “T”.

La topología en Estrella soporta un reservado número de nodos y la integridad de la red depende de la velocidad de transmisión establecida entre el maestro y los esclavos.<sup>7</sup> Topología tipo Estrella está representado en la figura 2.7. Las topologías tipo “T” y Estrella no son recomendadas para un manejo significativo de nodos, se los utiliza para diseños puntuales.

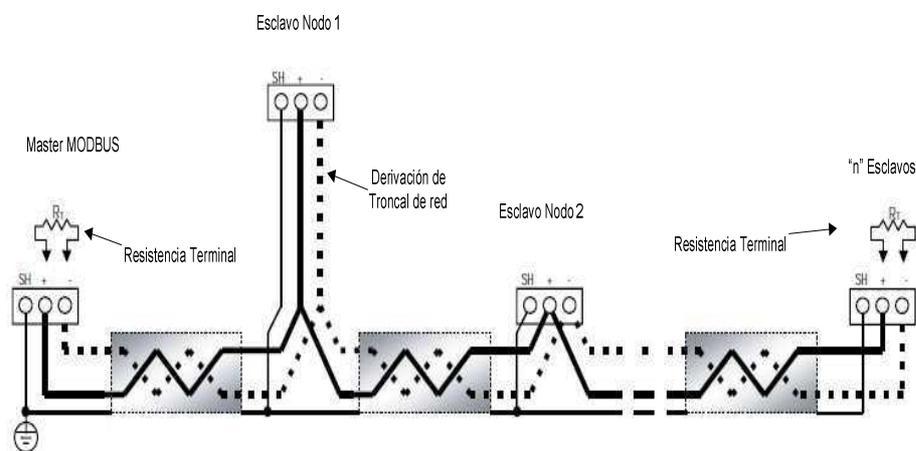


Figura 2.6 Topología tipo “T” MODBUS RTU.

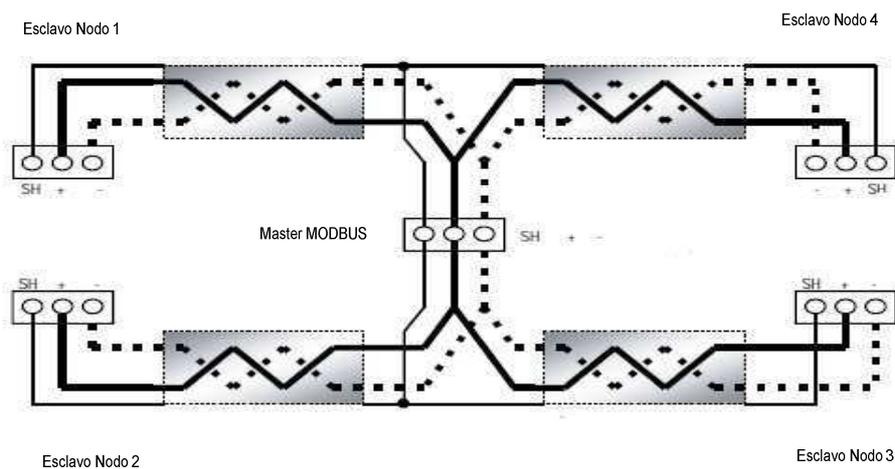


Figura 2.7 Topología tipo Estrella MODBUS RTU.

<sup>7</sup>“Multifunction electrical meter”, compárese: *ETON IQ250-260* [fecha de consulta: 7 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.eton.com>.

### 2.1.7 Grados de protección interna IP

“El Grado de protección IP hace referencia al estándar internacional IEC 60529 (Degrees of Protección) utilizado con mucha frecuencia en los datos técnicos de equipamiento eléctrico y/o electrónico.”<sup>8</sup>

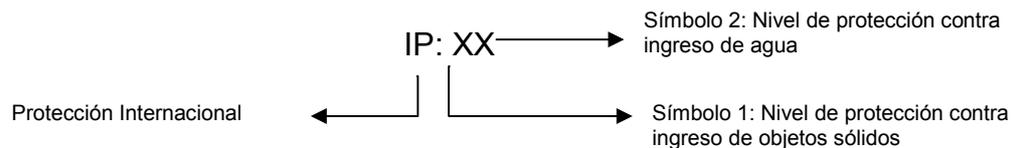


Figura 2.8 Representación grado de protección interna de equipos.

En las tablas 2.4 y 2.5 se detalla los parámetros protección internacional.<sup>9</sup>

Nivel	Tamaño de objeto	Eficiencia
0	—	Sin protección
1	<50 mm	Elemento para prueba, esfera de 50 mm de diámetro, ésta no debe entrar por completo
2	<12.5 mm	Elemento para prueba, esfera de 12.5 mm de diámetro, ésta no debe entrar por completo
3	<2.5 mm	Elemento para prueba, esfera de 2.5 mm de diámetro, ésta no debe entrar por completo
4	<1 mm	Elemento para prueba, esfera de 12.5 mm de diámetro, ésta no debe entrar por completo
5	Protección contra polvo	El polvo en el ambiente no debe entrar en una cantidad que interfiera con el funcionamiento del equipo
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia

Tabla 2.4 Tabla descriptiva protección contra objetos sólidos.

El ejemplo detallado a continuación describe el grado de protección al que está protegido el equipo dentro de un gabinete para control.

Panel Acero al Carbón IP: 54; nivel 5 contra objetos sólidos y nivel 4 contra ingreso de agua.

<sup>8</sup> SNOW, Dennis. *Plant Engineer's Reference Book*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2002. Capítulo 25, Pág. (14). [fecha de consulta: 7 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

<sup>9</sup> SNOW, Dennis. *Plant Engineer's Reference Book*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2002. Capítulo 25, Pág. (14). [fecha de consulta: 7 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados esperados
0	Sin protección.	Ninguno	El agua entrará en el equipamiento.
1	Goteo de agua	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua, desde 200 mm de altura respecto al equipo, durante 10 min.
2	Goteo de agua	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua cuando se deja caer a 100mm, durante 10 minutos.
3	Agua nebulizada. (spray)	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta, durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	Chorros de agua	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto
5	Chorros de agua.	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua arrojada a chorro desde cualquier ángulo.
6	Chorros muy potentes de agua.	Equipo instalado en el lugar de operación	No debe entrar el agua arrojada a chorros desde cualquier ángulo.
7	Inmersión completa en agua.	Debe soportar inmersión por 30 min.	No debe entrar agua.
8	Inmersión completa y continua en agua.	Debe soportar inmersión por el tiempo que indique el fabricante.	No debe entrar agua

Tabla 2.5 Tabla descriptiva protección contra objetos líquidos.

## 2.2 Marco Conceptual

La descripción conceptual de los equipos utilizados en el proyecto permite evidenciar las características técnicas, físicas y de software de los componentes dimensionados a ser programados para garantizar la funcionalidad del proyecto.

### 2.2.1 PLC S7-1200

El equipo pertenece a una familia de controladores Siemens, este equipo brinda y garantiza grandes prestaciones, también ventajas en costo beneficio para cubrir la necesidad de este proyecto.

En la figura 2.9 se detalla en bloques sobre los dispositivos contenidos dentro de este equipo.

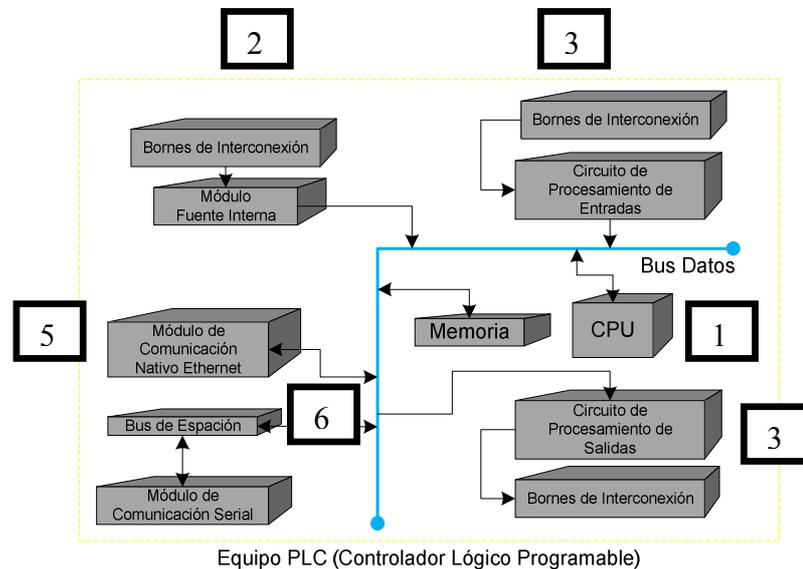


Figura 2.9 Representación en bloques PLC S7-1200.

El equipo S7-1200 está constituido de 6 partes, especificados en las figuras 2.10, 2.11 y su representación funcional en la figura 2.12.

- 1) Memoria y CPU.
- 2) Ingreso energía para encendido de equipo.
- 3) Regleta de bornes enchufable para el cableado (detrás de las tapas de cubierta).
- 4) LED de estado para las Entradas y Salidas integradas y para el estado operativo de la CPU.
- 5) Conexión Nativo TCP/IP (en la parte inferior de la CPU).
- 6) Módulo de expansión serial RS485.

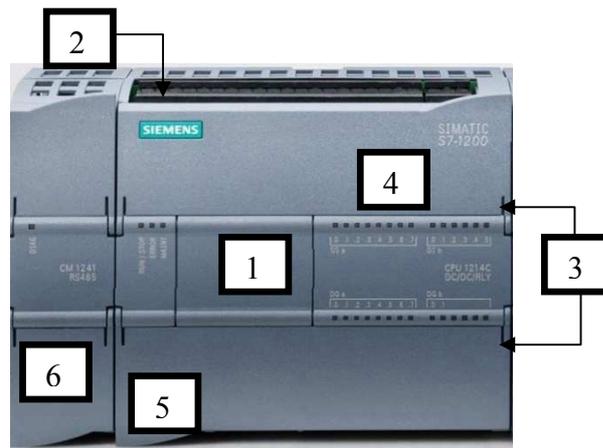


Figura 2.10 Foto 1 PLC S7-1200.

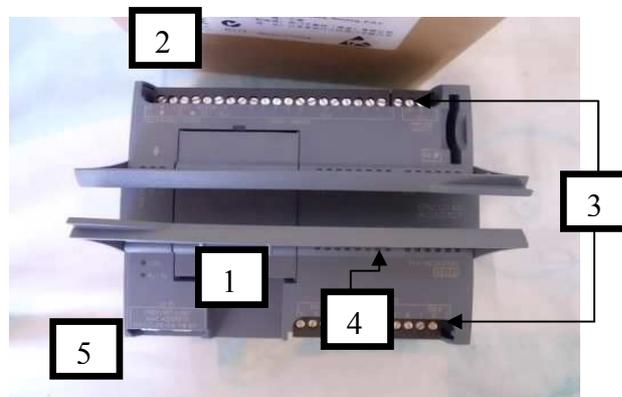


Figura 2.11 Foto 2 PLC S7-1200.

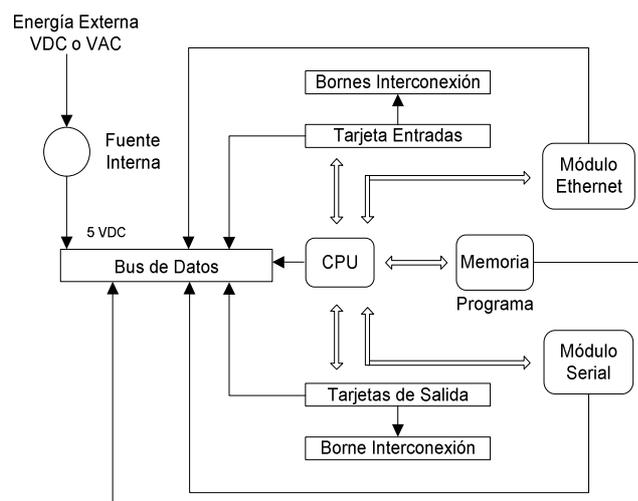


Figura 2.12 Diagrama funcional PLC S7-1200.

La estructura interna especificada en el diagrama de bloques de la figura 2.9 muestra el conjunto de dispositivos con el que cuenta el equipo PLC. La especificación de cada dispositivo se detalla a continuación:

**La CPU (1)**, Unidad Central de Procesamiento, como su nombre lo indica, procesa información recibida desde sus dispositivos periféricos, utiliza un Bus de datos para intercambio de información.

**Memoria (1)**, este dispositivo almacena el programa desarrollado para el control y monitoreo de información. En esta unidad se enlaza directamente con la CPU para la asimilación y posterior traslados de información. De esta memoria depende la rapidez con que los datos puedan ser interpretados.

**La fuente de alimentación (2)**, del equipo PLC es un elemento interno donde cambia el nivel de tensión conectado de 24 Vdc a 5Vdc tensión TTL (Lógica Transistor a Transistor) que es el nivel de voltaje estándar utilizado en la electrónica y **energiza un Bus de datos (4)** interpretado en color celeste y por este Bus se enlazan los dispositivos que conforman el equipo PLC.

**Circuito de procesamiento de Entradas y Salidas (3)**, son elementos que sirven de enlace entre CPU – Memoria y el hardware de campo. Sus funciones son interactuar bajo niveles de voltaje, recibir y entregar señales digitales de 0 o 1 con los cuales se puede controlar o identificar el estado de elementos de campo como son luces, pulsadores, bobinas. Estas tarjetas contienen bloques

de borneras que sirven para facilitar las conexiones con los elementos de campo. Deben estar conectados con el nivel de voltaje adecuado o indicado por los fabricantes del equipo. Para el prototipo el nivel de tensión está basado en 24Vdc, es uno de los voltajes utilizados dentro de la normativa industrial.

**Señalización interna leds de status (4)**, dentro del funcionamiento son importantes para identificar de una manera visual el estado de la CPU, Memoria, Tarjetas de Entradas y Salidas.

**Puerto Nativo Ethernet (5)**, incorporado dentro del equipo PLC, este puerto permite integrar comunicaciones por medio de protocolo TCP/IP con diferentes equipos que hablan protocolo de Internet.

**Módulo de comunicación serial RS485 (6)**, este elemento es un módulo de expansión que permite comunicaciones en protocolo MODBUS RTU.

#### **2.2.1.1 Scan de Programa PLC S7-1200**

La velocidad de un PLC, por lo general viene dada por la rapidez con que puede ejecutar su ciclo de programa y se mide usualmente en milisegundos.

Además del ciclo de programa, a describirse más adelante, los ciclos operativos del PLC son constituidos por 4 partes principales:

- Scan de entradas.
- Scan de programa.
- Scan de diagnóstico de comunicaciones.

- Scan de salidas.

El scan de entradas no es más que el intervalo de tiempo destinado para que el PLC actualice las tablas de memoria de entradas.

El scan de programa es el tiempo durante el cual el PLC ejecuta la instrucción del programa de lógica de escalera, booleana.

El scan de diagnóstico de comunicaciones evalúa el estado de los comandos de comunicación del equipo PLC con dispositivos remotos.

El scan de salidas es el tiempo durante el cual el PLC coloca las señales de salida en los valores correctos, físicamente, a partir de los resultados en el scan de programa.

Un esquema general del ciclo operativo del PLC se puede observar en la figura 2.13, a continuación:

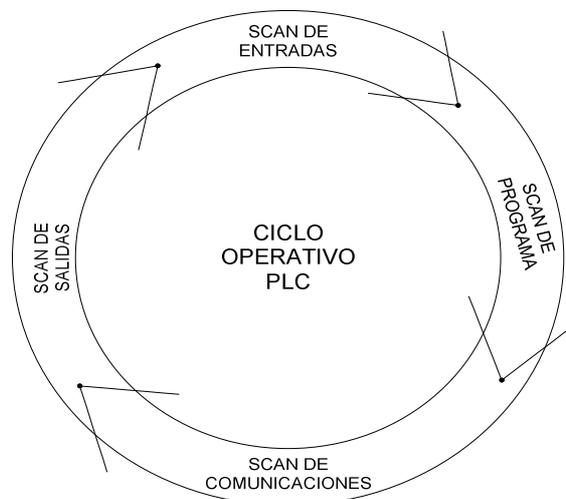


Figura 2.13 Esquema del ciclo operativo del PLC en el tiempo.

### 2.2.1.2 Elementos de Programación

Dependiendo del PLC en las familias de controladores Siemens se puede disponer de diversos tipos de instrucciones, entre los más comunes se encuentran:

- Instrucciones de lógica de relé:
  - Contactos normalmente abiertos.
  - Contactos normalmente cerrados.
  - Bobinas.
- Temporizadores:
  - Timer on delay.
  - Timer off delay.
- Contadores de alta velocidad (HSC)
- Matemáticas:
  - Operaciones fundamentales
- Lógica booleana:
  - AND, OR, NOT, XOR.
- Comparación:
  - =, ≠, >, <, ≥, ≤
- Manejo de Datos:
  - Comunicaciones.
- Instrucciones específicas de aplicación:
  - Accesos WEB
  - PIDs

### 2.2.1.3 Direccionamiento de bits en entradas y salidas

La indicación de una entrada o salida dentro del programa se denomina direccionamiento. Las entradas y salidas de los PLC Siemens se suele agrupar en grupos de 8 módulos de entradas digitales o de salidas digitales.

Para direccionar una entrada o salida individual dentro de un byte, cada byte se fracciona en 8 bits individuales. Se numeran desde el bit 0 hasta el bit 7. Así se obtiene la dirección de bit.

**%E 0.4**

%E representa el tipo de dirección como de entrada, 0 la dirección de byte y 4 la dirección de bit.

**% Q 1.1**

%Q representa el tipo de dirección de salida, 1 la dirección de byte y 1 la dirección de bit.

### 2.2.1.4 Software de programación

El software TIA Portal V11 es la herramienta de programación para los sistemas de automatización SIMATIC S7-1200, SIMATIC S7-300, SIMATIC S7-400, SIMATIC WinAC, Basic Panels con WinCC Basic integrado.

Con TIA PORTAL V11 se puede acceder a las siguientes funciones dentro de los controladores:

- Configuración y parametrización del hardware.
- Definición de la comunicación.

- Programación, pruebas, puesta en marcha y servicio técnico con las funciones de operación/diagnóstico.
- Documentación, creación de visualizaciones para los SIMATIC Basic Panels con WinCC Basic integrado.<sup>10</sup>

### **2.2.1.5 Tabla comparativa de PLCs**

En la tabla 2.6 se realiza un detalle comparativo de equipos para evaluar las ventajas y desventajas del controlador S7-1200 con respecto a otras marcas. El detalle técnico ha sido seleccionado en base al hardware y capacidades para el manejo de redes industriales.

### **2.2.2 Interfaz Humano Máquina HMI Basic Panel KTP-400**

Este equipo cuenta también con una estructura interna que permite visualizar y almacenar datos, generando instrucciones desde una pantalla táctil. Su procesador requiere de un control externo para el intercambio de información, por esa razón requiere instrucciones del equipo PLC. En la figura 12.14 se detalla en bloques sobre los dispositivos contenidos dentro de este equipo.

Este equipo electrónico permite interactuar de una manera fácil y cómoda con los datos tomados por el equipo PLC S7-1200.

---

<sup>10</sup> “S7-1200”, compárese: *SIEMENS SCE* [fecha de consulta: 10 Septiembre 2013]. Disponible en: [www.siemens.com/sce](http://www.siemens.com/sce)

Detalle técnico	Familia SIEMENS	Familia Allen Bradley	Familia Schneider
	Controlador S7-1200 6ES7212-1BD30-0XB0	Controlador Micrologix 1100 1763-L16AWA	Controlador TWIDO TWDLCAA10DRF
Requiere software de programación	Sí, TIA PORTAL V11	Sí; RSLogix 500	Sí; TwidoSuit V2.3
Licencias de programación	Sí; única (programación, comunicación, MHI)	Sí; varias( programación, comunicación, HMI)	Sí; varias(programación, comunicación, HMI)
Display	No	Sí	No
Tensión de alimentación	120 - 240 Vac	120 - 240 Vac	85 - 264 Vac
Frecuencia de red	47 a 63 Hz	60 - 65 Hz	47 a 63 Hz
Entradas discretas	10 entradas	10 entradas	6 entradas
Valor nominal (DC) entradas	24 Vdc	24 Vdc	24 Vdc
Salidas Discretas	6 salidas	6 salidas	4 salidas
Valor nominal salidas	tipo rele	tipo rele	tipo rele
Entradas analógicas	Sí; 2 entradas	Sí, 2 entradas	No
Puerto Ethernet native	Sí	Sí	No
Puerto Serial 232-448 nativo	No	Sí	No
Modulos de expansión comunicaciones	3	0	2
Modulos de expansión I/O	7	4	4
Memoria de expansión	Sí	Sí	No
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí; incorporado	No; requiere módulo	No, requiere módulo
Rango de temperatura permitido	De -40 °C a +70 °C	De -20 °C a +65 °C	De -25 a +70 °C
Contadores rápidos	6; HSC (High Speed Counting)	NO	NO
Frecuencímetro	Sí	Sí	NO
Posicionamiento en lazo abierto	Sí	Sí	NO
Regulador PID	Sí	Sí	NO
Grado de protección	Sí, IP20	Sí, IP20	Sí, IP20
Montaje horizontal	Sí	Sí	Sí
Montaje vertical	Sí	No	No
Resistencia de vibración	Sí	Sí	No
Comunicación MODBUS RTU	Sí	Sí	Sí
Comunicación MODBUS PLUS	Sí	Sí	Sí
Comunicación MODBUS ASCII	Sí	Sí	Sí
Comunicación MODBUS TCP/IP	Sí	No	No
Acceso WEB	Sí	No	No
Acceso vizualización HMI	Sí	Sí	Sí

Tabla 2.6 Tabla comparativa controladores.<sup>11 12 13</sup>

<sup>11</sup>“TWIDO”, compárese: *Schneider Electric* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/533-programmable-controller-twido>.

<sup>12</sup>“S7-1200”, compárese: *Support Automation Siemens* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/34143557?func=cslib.csinfo&objId=34143557&objAction=csView&nodeid0=41886031&lang=es&siteid=cseus&aktprim=0&extranet=standard&viewreg=WW&load=treecontent&meilenstein=ALLE>.

<sup>13</sup>“Micrologix 1100”, compárese: *Rockwell Software* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1763-in001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1763-in001_-en-p.pdf).

El detalle del bloque “A” HMI es el siguiente:

- 1) Memoria y CPU.
- 2) Ingreso energía para encendido de equipo.
- 3) Conexión Nativo TCP/IP.
- 4) Pantalla táctil.

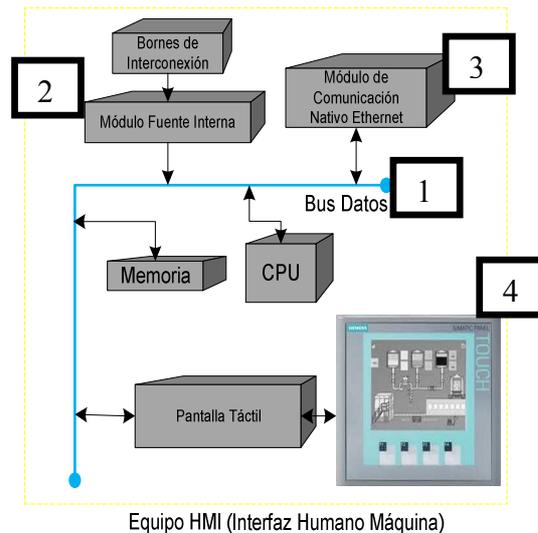


Figura 2.14 Diagrama de bloques estructura HMI.

**La CPU y Memoria (1)**, al igual que el PLC permite procesar un entorno gráfico procesando un programa desarrollado para hacer más flexible la maniobra de operaciones entre los usuarios y las máquinas enlazadas a este equipo.

En la memoria se almacena el programa y la CPU se encarga de procesar el programa guardado.

**Alimentación del Equipo HMI (2)**, la energía es suministrada por una fuente externa de 24Vdc que internamente cambia a una tensión de 5 Vdc para la habilitación del bus de datos interno que contiene el equipo.

**Puerto Nativo Ethernet (3)**, incorporado en el equipo y por medio de este puerto se enlaza al equipo PLC para la lectura de datos o la ejecución de instrucciones para comandos del sistema, también puede comunicar MODBUS TCP.

**Pantalla táctil (4)**, es un dispositivo visual y de maniobra simple con ligeros toques sobre esta pantalla. Sus funciones a cumplir es desplegar los datos emitidos y direccionar comandos ejecutados por los operadores para el control de equipos remotamente.

#### **2.2.2.1 Software de programación**

TIA Portal V11 es el software que se utiliza para la programación para Basic Panels con WinCC Basic integrado. TIA Portal permite opciones de configuración en hardware, software y comunicaciones. Se puede acceder a enlaces con PLCs de otras marcas pero requieren de un OPC (OLE for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales.

#### **2.2.2.2 Tabla comparativa de HMI**

En la tabla 2.7 se detalla un cuadro comparativo para evaluar las ventajas y desventajas de la pantalla táctil KTP-400 con respecto a otras marcas de prestigio. El detalle técnico ha sido seleccionado en base al hardware, software del equipo y la capacidad para el manejo de procesos en la industria.

Detalle técnico	Familia SIEMENS	Familia Allen Bradley	Familia Schneider
	Pantalla KTP-400 6AV6647-0AK11-3AX0	Pantalla Panel View 300 2711-K3A17L1	Pantalla para TWIDO TWDXCPODC
Tipo de display Táctil	Sí	No	No
Licencias de Programación	Sí, única (programación, comunicación)	Sí, varias (programación, comunicación)	No
Diagonal de pantalla	4,3 in	2,5 in	2,5 in
Colores	Monocromático (blanco, negro, gris)	Bicolor (gris, negro)	Bicolor (gris, negro)
Tipo de tensión de la alimentación	24 Vdc	24 Vdc	24 Vdc
Consumo (valor nominal)	0,1 A	0.5 A	0.05A
Potencia	2W	12 W	1W
Tipo de procesador	Sí; RISC 32 bits	Sí; RISC 16 bits	No información
Memoria de usuario	1 Mbyte	512Mbyte	No información
TCP/IP	Sí	No	No
DHCP	Sí	No	No
LLDP	Sí	No	No
MODBUS	Sí; Modicon (MODBUS TCP/IP)	No	Sí
Soporta protocolo para EtherNet/IP	Sí	No	Sí
IP (frontal)	IP65	IP65	IP20
Temperatura de empleo	De 0 °C a +50 °C	De 0 °C a +50 °C	No información
Idiomas			
Alemán	Sí	No	Sí
Inglés	Sí	Sí	Sí
Español	Sí	No	No
Objetos geométricos	Sí	Sí	No
Visor de avisos	Sí	Sí	No
Visor de curvas	Sí	No	No
Visor de usuarios	Sí	Sí	No
Visor de recetas	Sí	No	No
Acoplamiento al proceso			
S7-1200	Sí	No	No
S7-1500	Sí	No	No
LOGO!	Sí	No	No
Allen Bradley (EtherNet/IP)	Sí	No	No
Allen Bradley (DF1)	No	Sí	No

Tabla 2.7 Tabla comparativa interfaz humano máquina. <sup>14 15 16</sup>

<sup>14</sup>“TWIDO”, compárese: *Schneider Electric* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/533-programmable-controller-twido>.

<sup>15</sup>“KTP-400”, compárese: *Support Automation Siemens* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=es&objid=6AV66470AK113AX0&caller=view>.

<sup>16</sup>“PV300”, compárese: *Rockwell Automation* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-um014\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-um014_-es-p.pdf).

### 2.2.3 Protocolo MODBUS en S7-1200

El controlador S7-1200 posee una amplia gama de módulos adaptables para enlazar por medio de comunicaciones industriales diferentes equipos, dispositivos, máquinas, con lo cual permite controlar, monitorear y obtener información necesaria para facilitar los procesos industriales. En la figura 2.15 se detalla el diagrama funcional de los registros utilizados en MODBUS RTU por el módulo RS422/485.

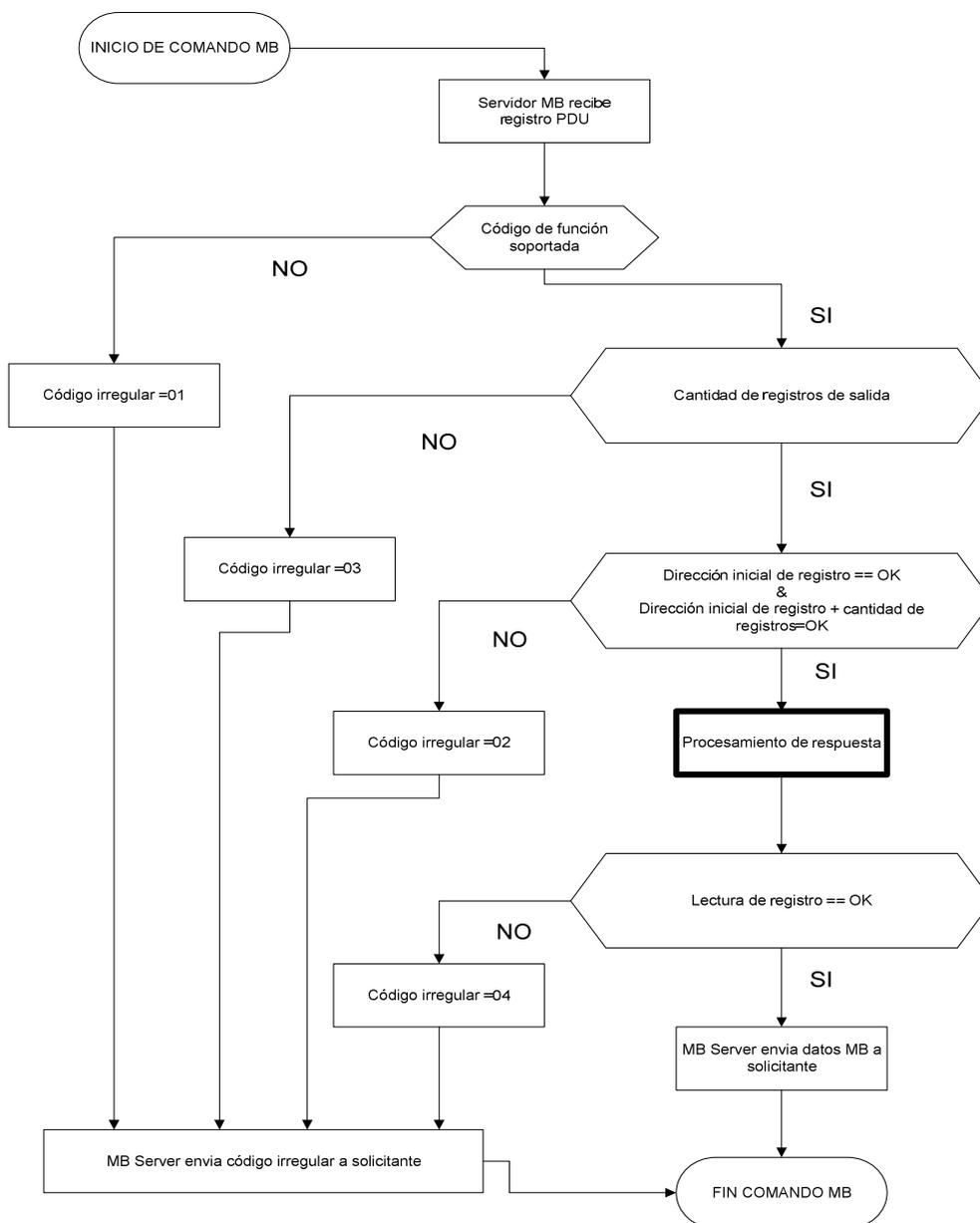


Figura 2.15 Diagrama Funcional de Funciones MODBUS.

Los registros de lectura MODBUS del S7-1200 son:

Función 01: Read Coils, inicio de datos 0001, comando de lectura de un registro.

Función 02; Read Discrete Input, inicio de datos 1000, comando de lectura de un registro.

Función 03; Read Holding Registers, inicio de datos 4000, comando de lectura de múltiples registros.

Función 04; Read Input Registers, inicio de datos 3000, comando de lectura de múltiples registros.

#### 2.2.4 VSD (Variable Speed Drive o Variador de Frecuencia)

Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia.<sup>17</sup> En la figura 12.16 se muestra al VSD.

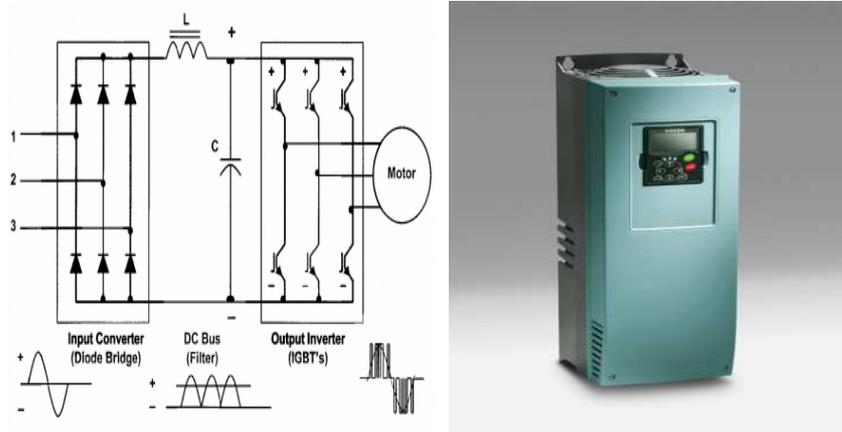


Figura 2.16 Representación unifilar y externa de VSD<sup>18</sup>

Fueron desarrollados para que los procesos industriales sean más eficientes y

<sup>17</sup>“VFD”, compárese: *Joliet Technologies* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: [http://www.joliettech.com/what\\_is\\_a\\_variable\\_frequency\\_drive.htm](http://www.joliettech.com/what_is_a_variable_frequency_drive.htm).

<sup>18</sup>“VFD”, compárese: *Joliet Technologies* [fecha de consulta: 9 Septiembre 2013]. Disponible en: [http://www.joliettech.com/what\\_is\\_a\\_variable\\_frequency\\_drive-how\\_vfd\\_works.htm](http://www.joliettech.com/what_is_a_variable_frequency_drive-how_vfd_works.htm).

para lograr un control muy preciso de motores que generan un trabajo mecánico en maquinarias. En la actualidad hay equipos que satisfacen las necesidades de las áreas de producción como por ejemplo: En la industria farmacéutica, para transportación de medicamentos por bandas rotacionales controladas por un motor.

En la industria alimenticia, para picar o moler productos que requieren ser disminuidos en partículas más pequeñas para su procesamiento.

En la industria petrolera para extraer, transferir o reinyección de crudo de petróleo.

## **CAPÍTULO 3**

### **Construcción de un prototipo de control y monitoreo para manejo de un proceso SCADA mediante una unidad de control remota (RTU) con un procesador lógico programable (PLC)**

#### **3.1 Estudio del sistema prototipo para recopilar información por medio de una red serial industrial**

Para el estudio de un sistema de control se inicia con la realización de las investigaciones necesarias, primero en cuanto a un proceso o mejora en una planta industrial que vayan a ser objetivo de la automatización, sus diferentes condiciones de funcionamiento, mejoras requeridas y posibles problemas de campo.

En el marco conceptual del capítulo 2 se ha detallado las generalidades del trabajo de investigación previa al proceso de dimensionamiento, análisis de funcionamiento y ventajas/desventajas de los equipos especificados a ser utilizados en el desarrollo del prototipo de control y monitoreo.

##### **3.1.1 Estudio del hardware del sistema**

El hardware del prototipo se basa en una arquitectura de control para procesos de automatización con un conjunto de componentes que están ligados a redes, enlaces de comunicación, conexiones eléctricas, conexiones electrónicas, configuración de datos para equipos que operan en el campo industrial (zonas

donde operan las maquinarias) y acceso remoto a datos para la operación del sistema. Toda la estructura que conforma este proyecto se presenta en el diagrama de bloques de la figura 3.1 y la especificación de cada bloque se lo definirá a lo largo de esta sección.

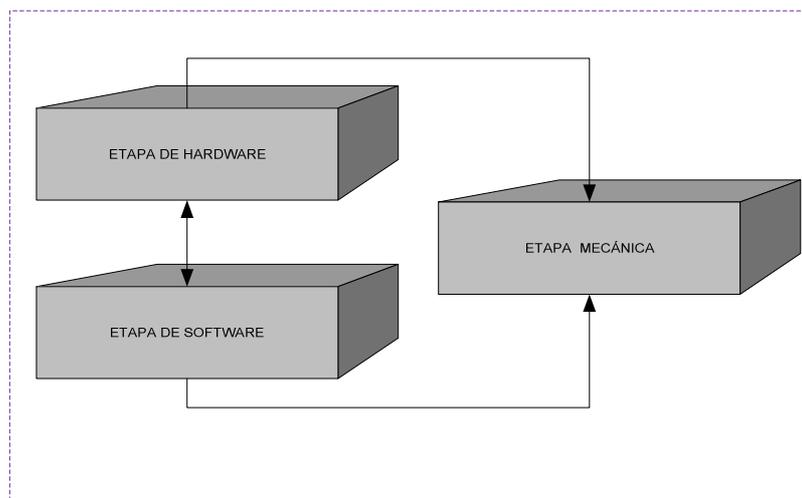


Figura 3.1 Diagrama general de bloques.

Para la explicación de la etapa de hardware se ha tomado como base una matriz del proceso a controlar y a raíz del problema planteado en el capítulo 1. Se debe crear un prototipo cuya finalidad de controlar, monitorear y recibir datos desde una unidad remota para el control de VSD. En la tabla 3.1 se muestra la matriz de los instrumentos y parámetros requeridos para la ejecución del prototipo.

En la figura 3.2 se muestra el diagrama de bloques los equipos electrónicos seleccionados para satisfacer estándares eléctricos, electrónicos, mecánicos y de comunicación requeridos para cumplir los objetivos planteados.

ITEM	TAG	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN	TIPO DE SEÑAL	UNI.
<b>INSTRUMENTOS</b>					
1	PT-001	Transmisor de presión, succión de la bomba	Control / Monitoreo	AI	PSI
2	PT-002	Transmisor de presión, descarga de la bomba	Control / Monitoreo	AI	PSI
3	PS01-LO	Switch seguridad de presión baja, succión de la bomba	Control / Monitoreo	DI	PSI
4	PS01-HI	Switch seguridad de presión alta, succión de la bomba	Control / Monitoreo	DI	PSI
5	PS02-LO	Switch seguridad de presión baja, descarga de la bomba	Control / Monitoreo	DI	PSI
6	PS02-HI	Switch seguridad de presión alta, descarga de la bomba	Control / Monitoreo	DI	PSI
7	VS03-HI	Switch seguridad de vibración, de la bomba	Control / Monitoreo	DI	mm/s
8	LS-OIL	Switch seguridad nivel de aceite, de la bomba	Control / Monitoreo	DI	ft
9	PB-ESD-LOCAL	Pulsador de Emergencia mando local	Control / Monitoreo	DI	-
10	PB-ESD-REMOTO	Pulsador de Emergencia mando remoto	Control / Monitoreo	DI	-
11	H1	Luz auxiliar estado VSD	Control / Monitoreo	DO	-
12	H2	Luz auxiliar alarmas proceso	Control / Monitoreo	DO	-
13	H3	Luz auxiliar fallas proceso	Control / Monitoreo	DO	-
14	B1	Alarma sonora	Control / Monitoreo	DO	-
15	ENA	Habilitación VSD	Control / Monitoreo	DO	-
<b>VSD</b>					
1	I-VSD-B1	Lectura datos de corriente de consumo de motor	Monitoreo	MB	A
2	V-VSD-B1	Lectura datos de voltaje de salida a motor	Monitoreo	MB	V
3	F-VSD-B1	Lectura datos de voltaje de salida a motor	Monitoreo	MB	Hz
4	P-VSD-B1	Lectura datos de potencia de demandada	Monitoreo	MB	KW
5	FP-VSD-B1	Lectura datos de factor de potencia de motor	Monitoreo	MB	°
6	T-VSD-B1	Lectura datos de torque de motor	Monitoreo	MB	A
7	START-VSD-B1	Encendido de VSD	Control/Monitoreo	MB	-
8	STOP-VSD-B1	Apagado de VSD	Control/Monitoreo	MB	-
9	FSP-VSD-B1	Asignación de frecuencia de trabajo a VSD	Control/Monitoreo	MB	Hz
10	H-VSD-B1	Lectura datos horas de funcionamiento VSD	Monitoreo	MB	H
11	TEM-VSD-B1	Lectura de temperatura de operación VSD	Monitoreo	MB	°C
12	COMMS-VSD-PLC	Lectura de comunicaciones MODBUS	Monitoreo	MB	-

Tabla 3.1 Matriz de instrumentos asignados al prototipo.

### 3.1.2 Diagrama de bloques del hardware del sistema

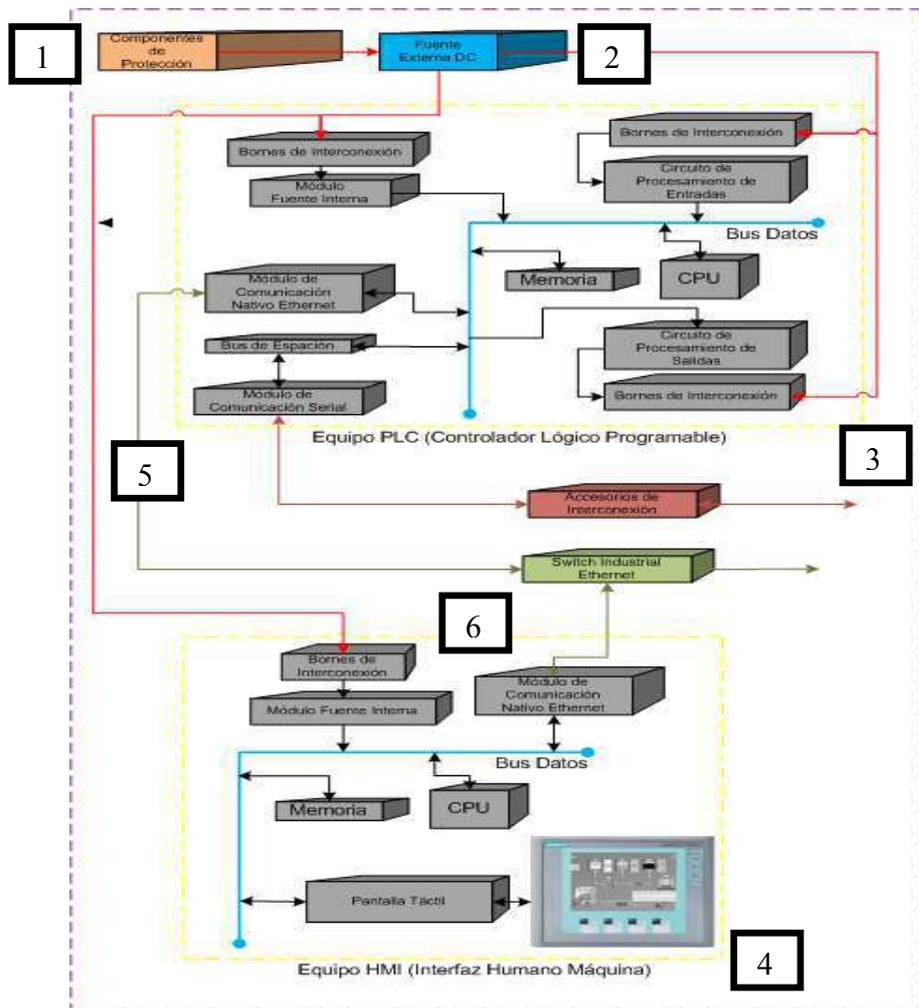


Figura 3.2 Diagrama de bloques hardware del prototipo.

**En el número (1)** se representa los componentes de protección, constituido por un gabinete metálico con estándar de protección IP55, seleccionado para que pueda ser instalado a la intemperie dentro de las plantas industriales, proteja contra ingreso de agua y polvo a la parte interna del gabinete ya que dentro de éste se instalarán los equipos electrónicos que cumplen la función de control y monitoreo. Otro de los componentes de protección son los bornes de interconexión con la funcionalidad de albergar fusibles de disparo instantáneo

cuya función es resguardar a los equipos electrónicos ante posibles cortocircuitos o sobrecargas eléctricas.

**Con el número (2)** se tiene una fuente externa con voltaje de salida a 24 voltios corriente continua (Vdc), la funcionalidad de esta fuente es generar energía estable para la alimentación de equipos internos/externos y cumpla el estándar tensión para instrumentos utilizados en la industria. En la figura 3.2, las líneas en color rojo muestran a los equipos que sirve como fuente de energía para su funcionamiento.

**El número (3)** se representa al controlador PLC S7-1200 Siemens, equipo electrónico que debe cumplir las funciones de controlar, monitorear, obtener datos y ponerlos a disposición del personal de mantenimiento y de operación.

Los datos obtenidos deben ser mostrados en la interfaz humano máquina HMI representado por **el número (4)**, ésta la interfaz que permite al personal de mantenimiento y operación interactuar de una manera fácil y sencilla para tomar decisiones sobre las situaciones que presente el sistema automatizado.

El módulo de expansión de comunicación del PLC S7-1200 es el dispositivo serial CM 1241 RS422/485 identificado con **el número (5)**, este permite enlazar vía comunicación MODBUS para tomar datos del proceso, parámetros eléctricos y control de los equipos VSD.

Los datos seriales obtenidos de los VSD por medio del equipo PLC son

transformados a datos de memoria dentro del PLC y por medio de protocolo Ethernet son encapsulados para que puedan ser visualizados desde la estación remota y a su vez también controlados desde el HMI.

En la figura 3.3 se muestra la arquitectura general de bloques de los componentes del proyecto: en el bloque **(A)** el prototipo de control y monitoreo, en el bloque **(B)** los equipos VSDs a ser controlados y en el bloque **(C)** la estación para monitoreo como sistema SCADA.

### **3.2 Diseño del sistema de control que funciona como interfaz de comunicación entre equipos que poseen comunicaciones seriales y pueden ser interpretados vía Ethernet**

Dentro del diseño de control están los diagramas eléctricos de interconexión del prototipo, los cuales pueden ser visualizados en detalle en el segmento de *Anexos*. Se detalla cada uno de los diagramas para una mejor comprensión de las funciones que cumple cada equipo electrónico del prototipo en el proyecto que será base para el detalle en el diseño de software.

#### **3.2.1 Detalle de diagramas eléctricos y electrónicos del prototipo**

La estructura eléctrica, electrónica y mecánica del prototipo se ha definido por medio de una ingeniería de detalle, normalización de los parámetros de funcionamiento. A continuación se muestra el detalle de los diagramas eléctricos y electrónicos del proyecto.

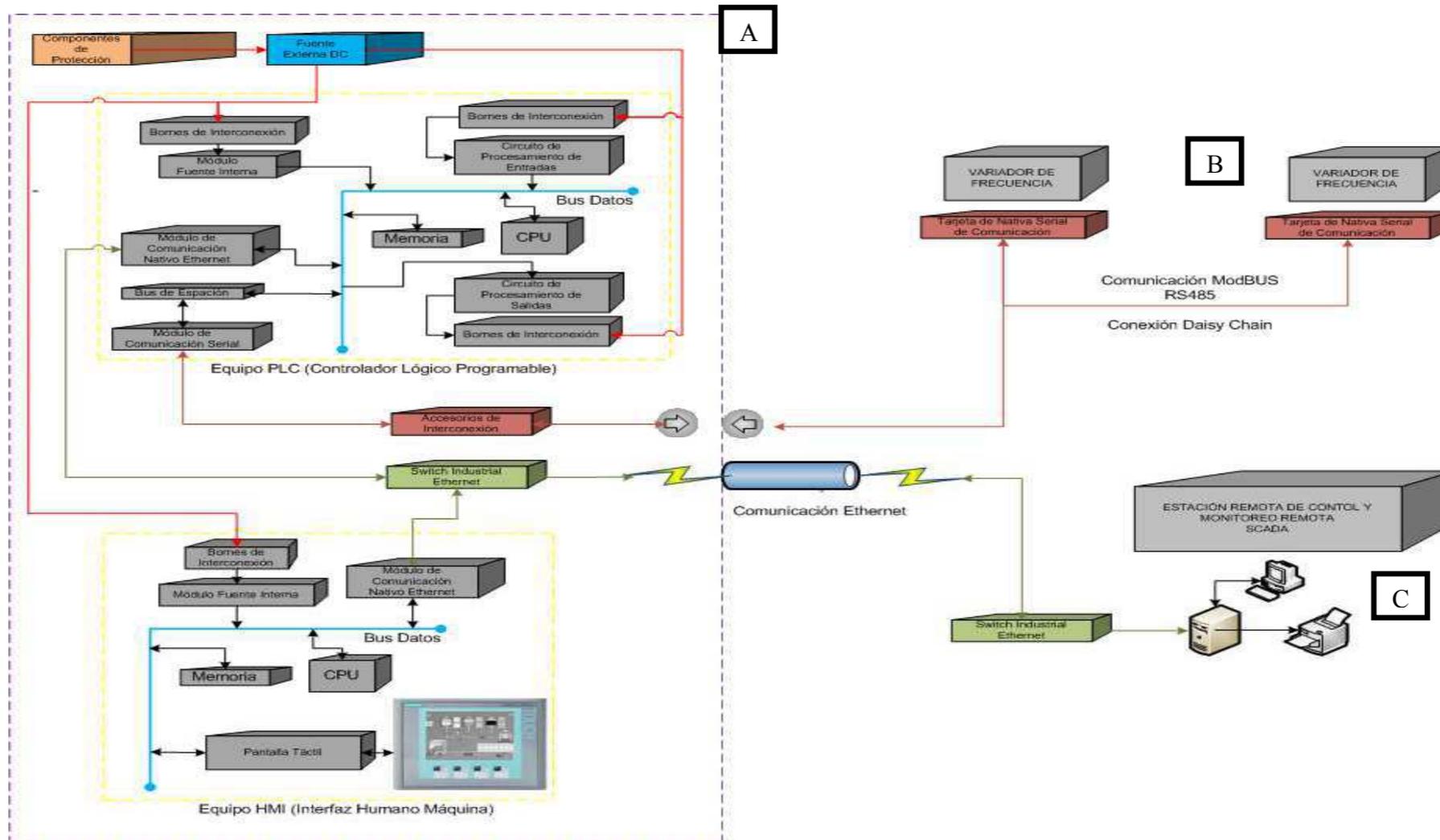


Figura 3.3 Diagrama de bloques de la arquitectura general de sistema de control y monitoreo.

En cada diagrama se ha instalado una marca (TAG) de identificación la cual se detalla a continuación.

### **PMC-001-001**

**P** es la identificación por prototipo.

**M** es la identificación por monitoreo.

**C** es la identificación por control.

**001** es el número que identifica la versión del documento.

**001** es el número para identificar la hoja del documento.

El diagrama PMC-001-001 muestra el listado de materiales que se instalarán en el prototipo. Cada equipo y elemento se ha definido con un TAG para identificación de los siguientes diagramas es de fácil lectura para cualquier persona sea o no de la rama técnica.

En la figura 3.4 se detalla 4 columnas, la columna **(1)** TAG de identificación de equipos, la columna **(2)** cantidad física de cada elemento, la columna **(3)** descripción y finalmente en la columna **(4)** el código asignado por el fabricante.

En el diagrama PMC-001-002 está el gabinete metálico IP55, figura 3.5. Elemento donde se alojarán los equipos del prototipo, debido a su grado de protección, puede ser instalado a la intemperie.

En el diagrama PMC-001-003 está la distribución de energía eléctrica en voltaje alterna y continua. Este representa las conexiones para energizar los equipos,

que son protegidos por medio de fusibles de disparo rápido. La representación unifilar de voltaje A.C. **(1)** y voltaje D.C. **(2)** se muestra en la figura 3.6 respectivamente.

Item #	TAG de Identificación	Cant.	Descripción	Número de parte
1	U1	1	Fuente 24 Vdc @ 2.5 A. Entrada:120-220 VAC, Salida: 24Vdc	6EP1332-1SH43
2	U2	1	Switch Industrial 5 puertos	6GK5005-0BA00-1AA3
3	U3	1	Controlador lógico programable S7-1200	6ES7212-1BE31-0XB0
4	U4	1	Módulo de expansión serial RS 422/485	6ES7241-CH31-0XB0
5	U5	1	Pantalla táctil KTP-400	6AV6647-0AA11-3AX0
6	H1	1	Luz piloto tipo led 22 mm, verde	3SB3644-6BA40
7	H2	1	Luz piloto tipo led 22 mm, roja	3SB3644-6BA20
8	H3	1	Luz piloto tipo led 22 mm, amarilla	3SB3644-6BA30
9	X1	14	Borneras porta fusible	8WA1011-ISF12
10	X2	17	Bornera de paso	8WA1011-IDG11
11	X3	1	Bornera para puesta a tierra eléctrica	8AW1011-GND
12	M1	5	Marcador para identificación de grupo	M12MX
13	M2	5	Prisionero de sujeción	8AW1011-AEJ
14	RD1	1	Relé tipo DIN	DR1-1
15	ETH	2	Patch cord Cat. 5e	1007954
16	CS	1	Cable serial conector DB9 configuración RS 485	-
17	V1	GLB	Cables de interconexión y marcas de cable	-
18	PE1	1	Pulsador tipo hongo emergencia	800TH-001
19	P1	1	Gabinete metálico IP55 Dim: 400x400x200 mm (Al-An-Pr)	Beacoup
20				

Figura 3.4 Lista de materiales del prototipo.

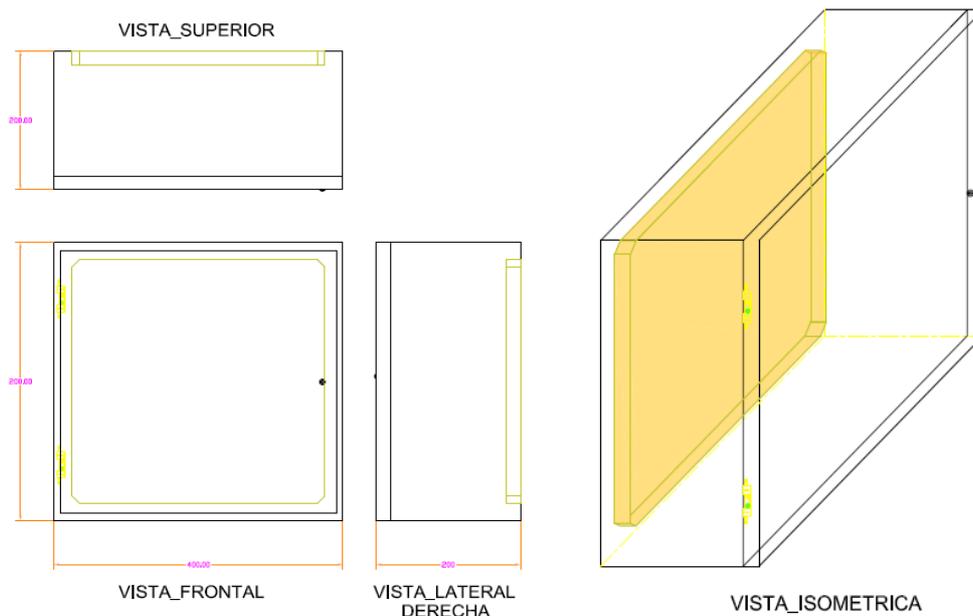


Figura 3.5 Gabinete IP55.

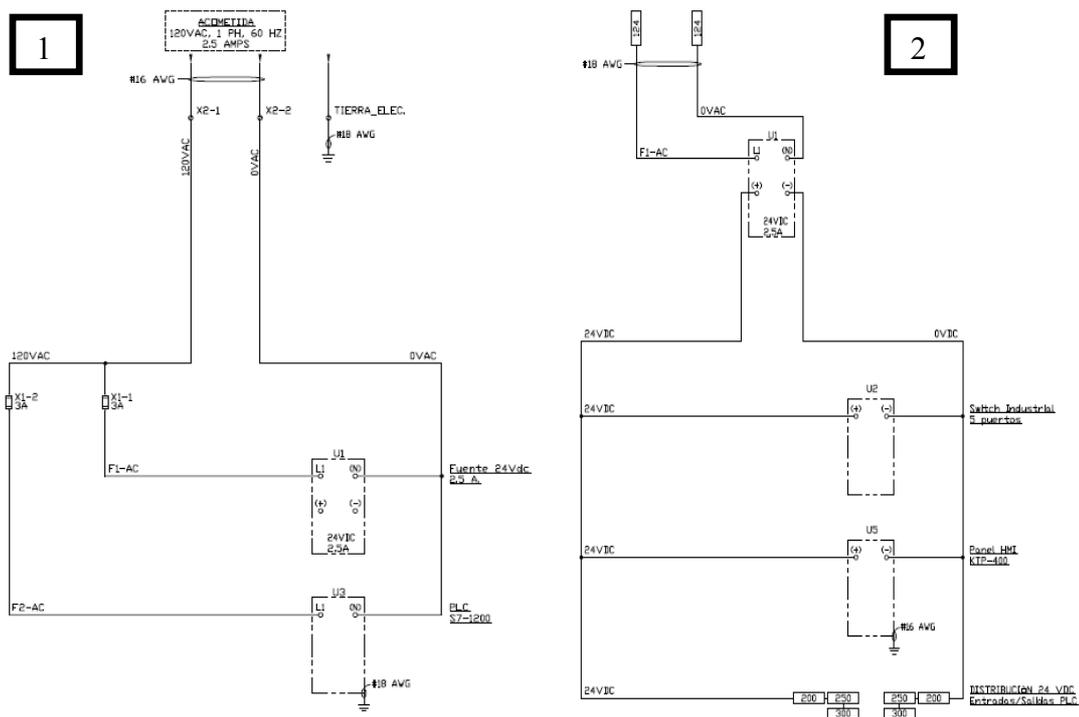


Figura 3.6 Distribución unifilar voltaje A.C. y D.C del prototipo.

Los diagramas PMC-001-004, 005, 006, representan las conexiones desde el PLC hacia los equipos a ser monitoreados y controlados. Entre estos equipos están switch de presión, switch de vibración, pulsadores de emergencia, sensores de nivel, transductores de presión, VSD. Cada uno de estos elementos y su funcionamiento se detalla en el diseño de software, basado en un diagrama de flujo requerido para el control del equipo VSD.

En las figuras 3.7, 3.8, 3.9 se describe entradas digitales, salidas digitales y entradas analógicas. Las entradas y salidas del PLC en estándar IEC (Comité Electrotécnico Internacional) se las representa con nombres en inglés Input/Output o I/O, desde esta sección en adelante se identificará con la (I) para entradas y (O) para salidas.

La figura 3.7 se muestra la conexión de entradas digitales, la representación unifilar del módulo de PLC donde están conectados los sensores digitales como el switch para detección de presión, el switch para detección de nivel y pulsadores para comandos especiales de control.

Cada entrada digital de PLC recibirá una señal lógica desde los instrumentos del proceso, dependiendo de las condiciones de operación que presente el sistema. Para seguridad de cada entrada digital el voltaje emitido desde el instrumento pasa por una bornera porta fusible para proteger de sobrecorrientes o cortocircuitos y así garantizar la vida útil del equipo PLC.

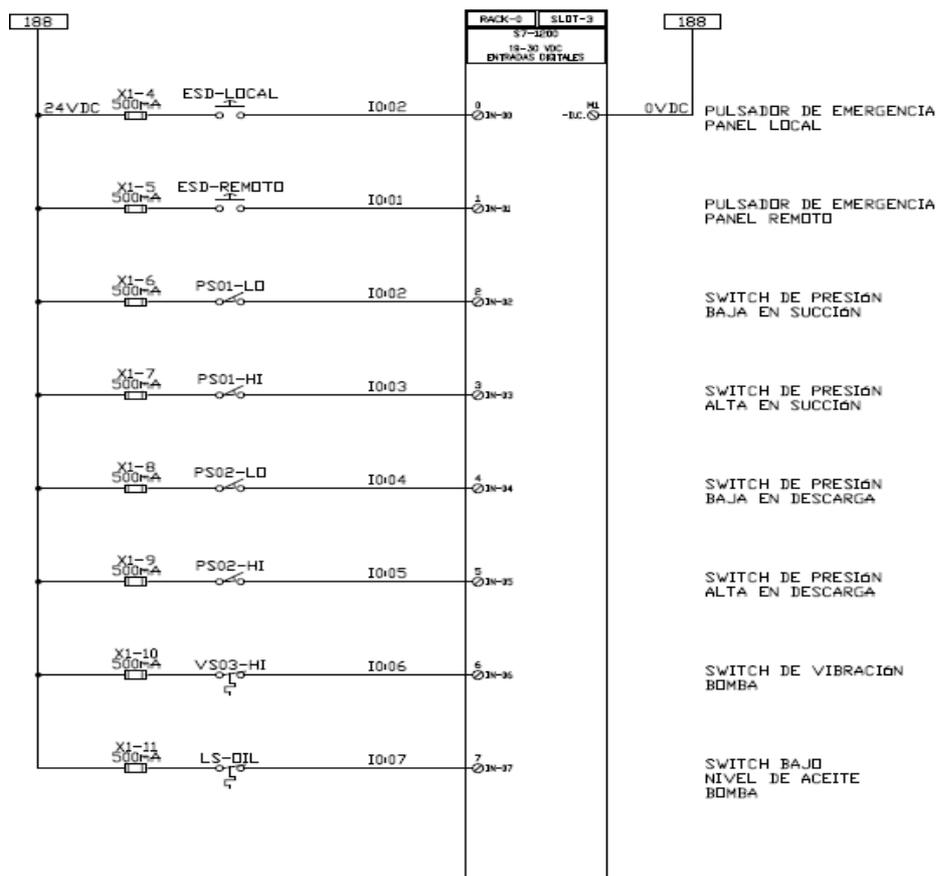


Figura 3.7 Distribución unifilar módulo de entradas digitales.

El módulo de salidas digitales se expone en la figura 3.8, al igual que las entradas digitales han sido designadas para que el voltaje de control sea en 24Vdc. Están protegidas por una bornera porta fusible para garantizar que no sobrepasen los niveles de corriente que puede soportar cada una de estas salidas.

Los componentes a controlar son únicamente visuales, auditivos y habilitaciones, ya que para el control del equipo VSD se desea eliminar conexión por medio de señales cableadas de control y su comando sea establecido por comunicación MODBUS.

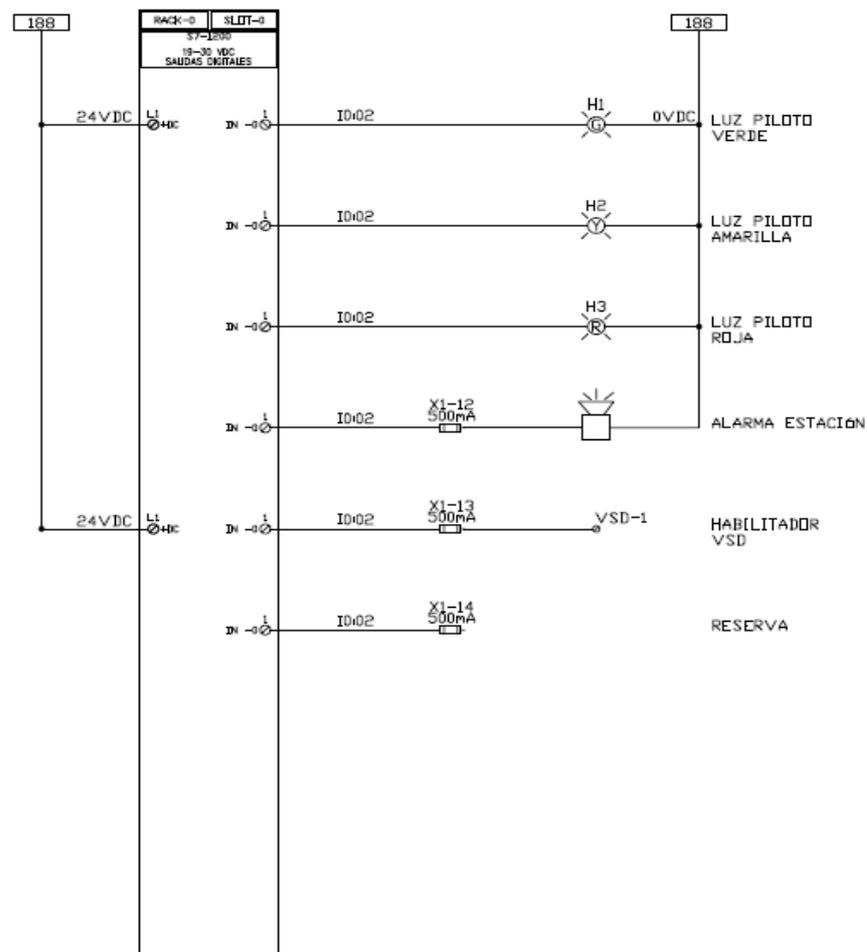


Figura 3.8 Distribución unifilar módulo de salidas digitales.

El PLC S7-1200 tiene incorporado en su base principal dos entradas de tipo analógica. La señal soportada por la entrada analógica es un rango de variación de voltaje de 0 a 10 Vdc, éste es un parámetro importante en la industria electrónica que se dedica a la fabricación de controladores. El IEC ha normalizado las señales que deben generar los instrumentos, cumplan condiciones de operación y puedan adaptarse a cualquier controlador, que sea capaz de recibir este tipo de señales.

En la figura 3.9 se indica la conexión unifilar y polarización de los canales analógicos. Cada entrada analógica se ha protegido con una bornera porta fusible, al ser canales muy sensibles requieren protección individual.

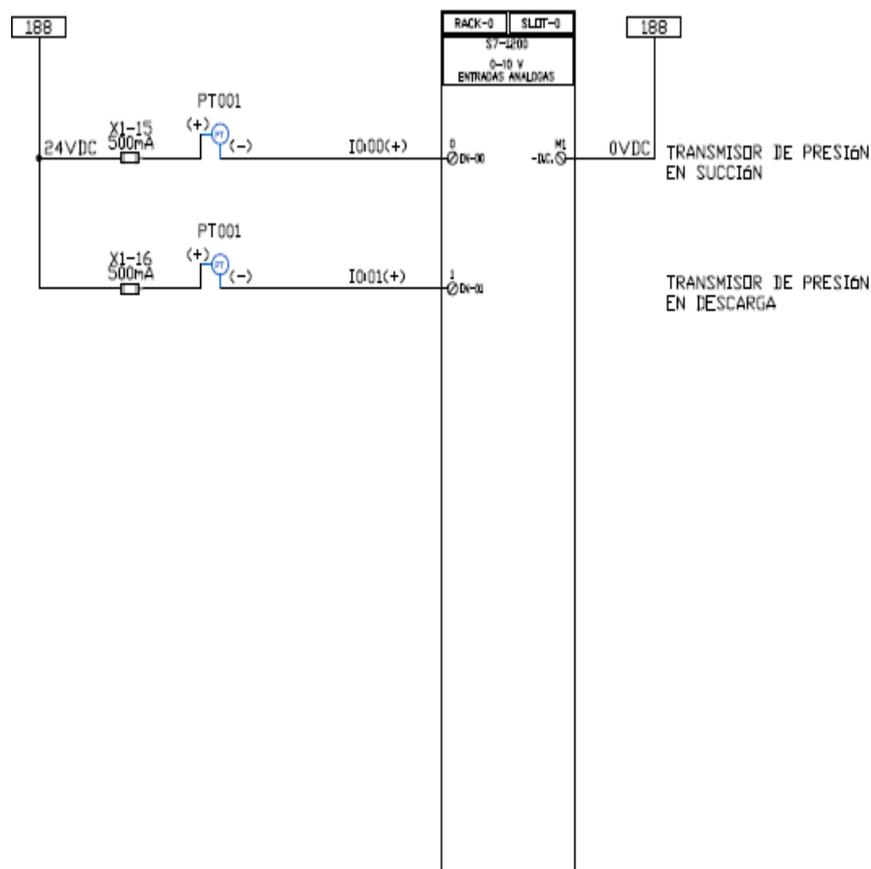


Figura 3.9 Distribución unifilar módulo de entradas analógicas.

El prototipo debe cumplir las funciones de control y monitoreo de los equipos VSD, en la figura 3.10 se muestra al módulo de expansión CM 1241 RS422/485 que permite enlazar por medio de comunicación MODBUS al VSD y PLC.

De acuerdo al marco teórico de la sección 2.1.6.4 (Topología de red), se requiere instalar resistencias terminales de  $120\Omega$  al inicio y final de la red. La utilización de las resistencias depende de varios factores. Uno de los factores es la manera como se ha realizado trazado de cable apantallado. El método más óptimo es en conexión Daisy Chain, en la hoja PCM-001-007 se muestra las conexiones MODBUS y Ethernet.

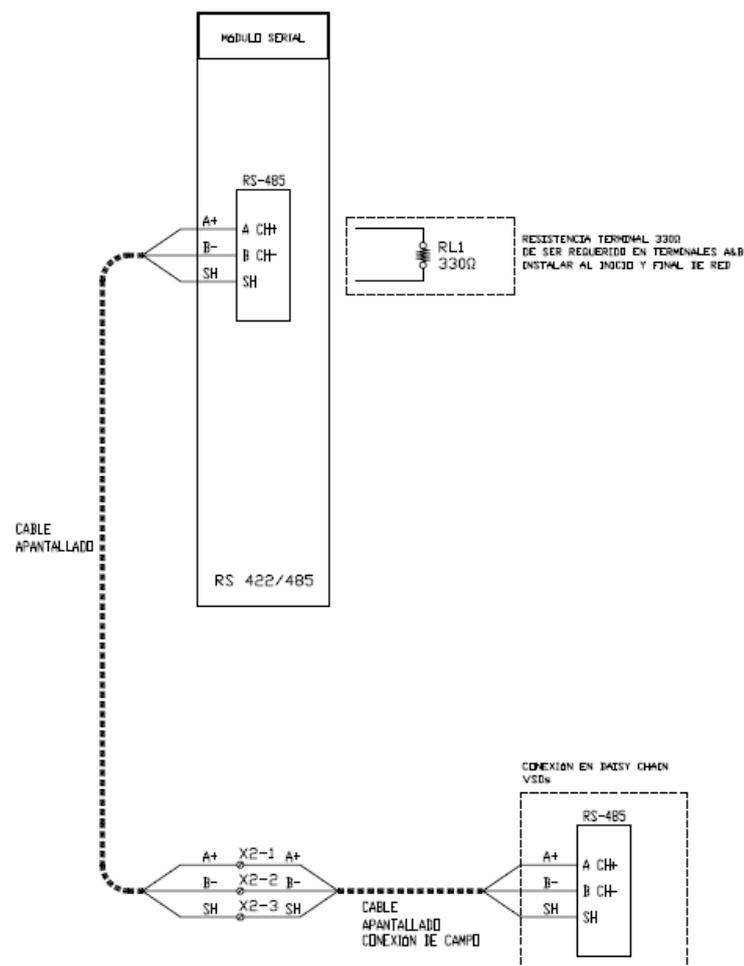


Figura 3.10 Red MODBUS del prototipo.

El número de nodos y la cantidad de registros a recibir por parte del maestro las resistencias ayudan a que haya integridad en la red. La velocidad de transmisión es otro factor que afecta a la comunicación. En la red MODBUS del prototipo se considera colocar las resistencias al inicio y final de la red.

Los datos seriales obtenidos por el PLC tienen que ser visualizados en la interfaz HMI y en la estación de control remota, para lo cual se ha planteado instalar un switch industrial de varios puertos que permita la conexión de la interfaz HMI, acceso a la estación remota, conexión del PLC y un puerto para revisión en línea y/o programación de nuevas funciones en los equipos, En la figura 3.11 se detalla los puertos de conexión al switch industrial.

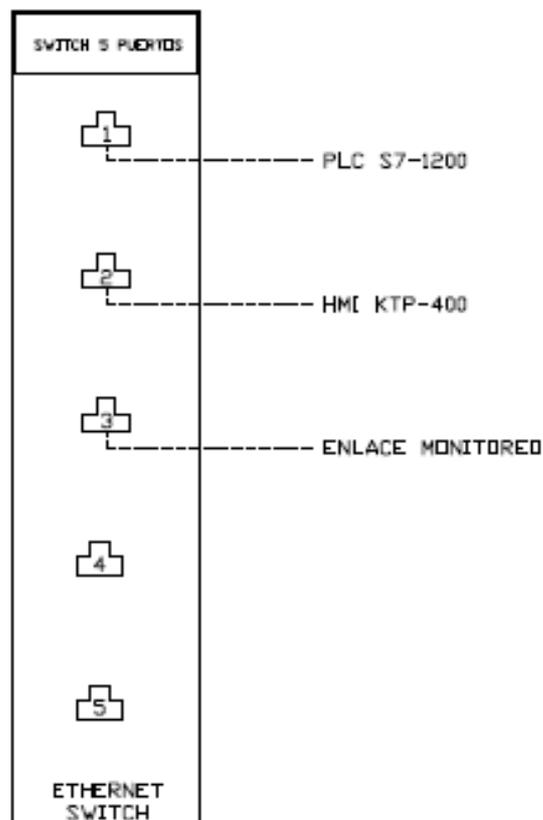


Figura 3.11 Distribución de puertos Ethernet en el prototipo.

### 3.2.2 Diseño de Software

En esta etapa se estructuran diagramas de flujo para establecer la lógica de control y algoritmos de programación con una breve explicación del funcionamiento y las características de los diagramas.

La programación de PLC se inicia con una subrutina principal, en la cual se define los lineamientos y estructuras que va a tener el programa. En la subrutina principal están todos los comandos y acciones que deben ser siempre escaneados. Se lo realiza así para dar seguridad del proceso automatizado y desde ésta subrutina se realiza los llamados a subrutinas auxiliares las cuales reciben la información entregada por los instrumentos de campo.

En la figura 3.12 se muestra el diagrama funcional del PLC para la ejecución del proceso que consta de 3 etapas identificadas por colores y números. En la primera etapa está la subrutina principal y a partir de ésta se procede a la apertura de puertos, configuración de comunicaciones, serial y Ethernet.

En el equipo VSD se debe configurar parámetros de comunicación; esta operación es manual. Definidos los datos de velocidad de transmisión y asignado el número de nodo, se establece una conexión con el equipo PLC, si éste registra información de transmisión y la comunicación es exitosa pasa a la siguiente etapa, caso contrario informa.

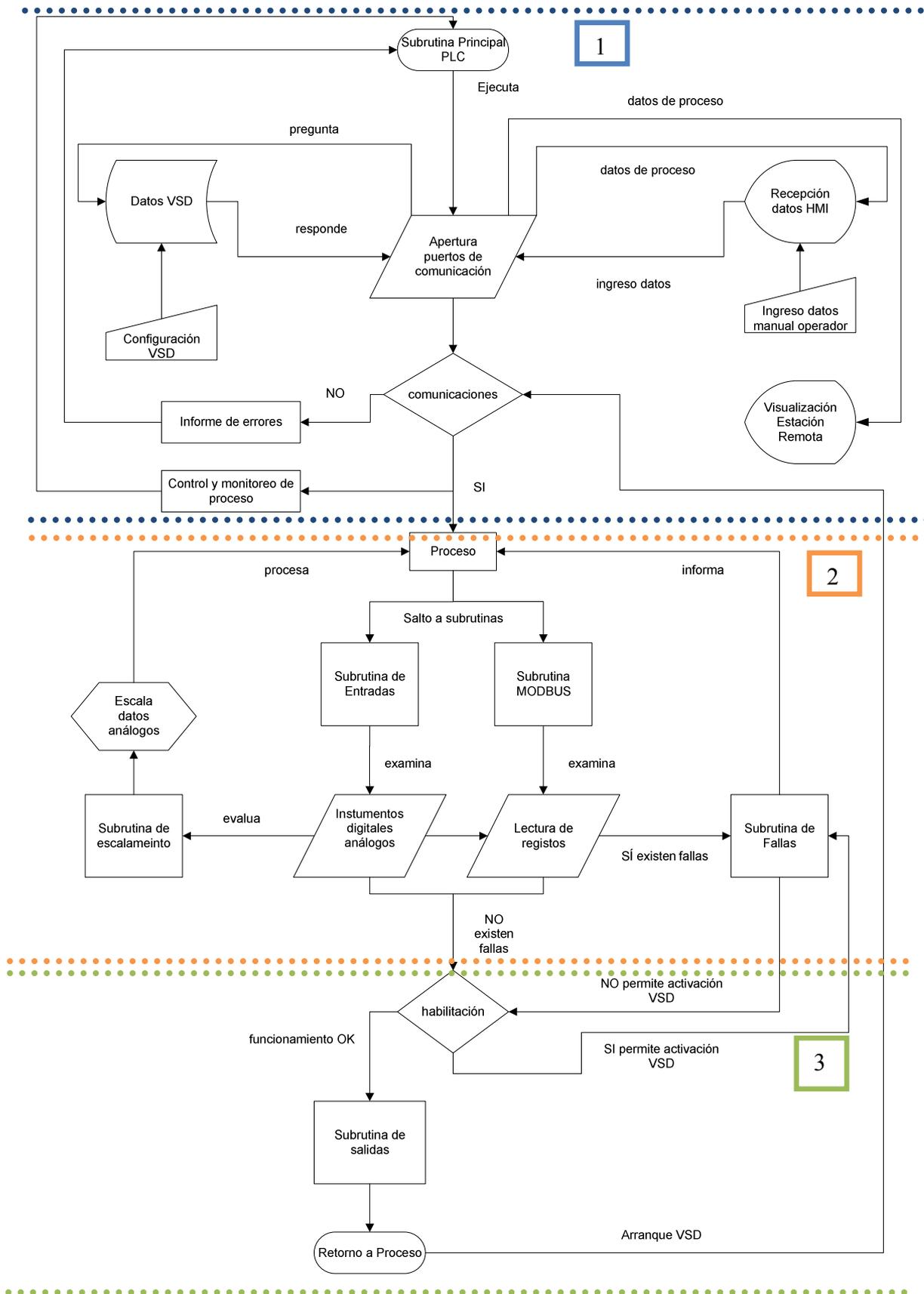


Figura 3.12 Diagrama general de flujo del prototipo.

Para visualizar el estado de las comunicaciones el PLC informa, lo realiza por medio de comunicación Ethernet a través a la interfaz HMI; la información también puede ser vista en la estación central de monitoreo. En la subrutina principal esta operación siempre se está ejecutando en un ciclo repetitivo para garantizar una operación confiable y dar paso a la ejecución de las siguientes subrutinas.

En la segunda etapa interviene el proceso y está ligado a la ejecución de las subrutinas de entradas digitales, entradas análogas y MODBUS. El PLC examina el estado de los instrumentos de campo, switch de presión, pulsadores, transductores de presión, la trama de datos MODBUS, etc. para ejecutar acciones.

Para el caso de las entradas análogas se procede a un escalamiento de transformación de unidades análogas a unidades de presión, por medio de un algoritmo en el PLC.

En la lógica de control del PLC se debe evaluar las condiciones entregadas por los instrumentos, si existen condiciones de fallas o alarmas en el sistema pasa a la subrutina de fallas que se muestra también en HMI y la estación remota.

Para pasar a la etapa 3 las condiciones de los instrumentos en campo deben ser óptimas y desde la interfaz HMI se procede a la habilitación del sistema, con lo cual ejecuta la subrutina de salidas digitales. La operación y el funcionamiento

de la bomba van a depender de las condiciones mecánicas del motor comandado por el equipo VSD. En el diagrama de la figura 3.13 se explica las condiciones de operación de la instrumentación y el P&ID (piping and instrumentation diagram/drawing) diagrama de instrumentación y tuberías.

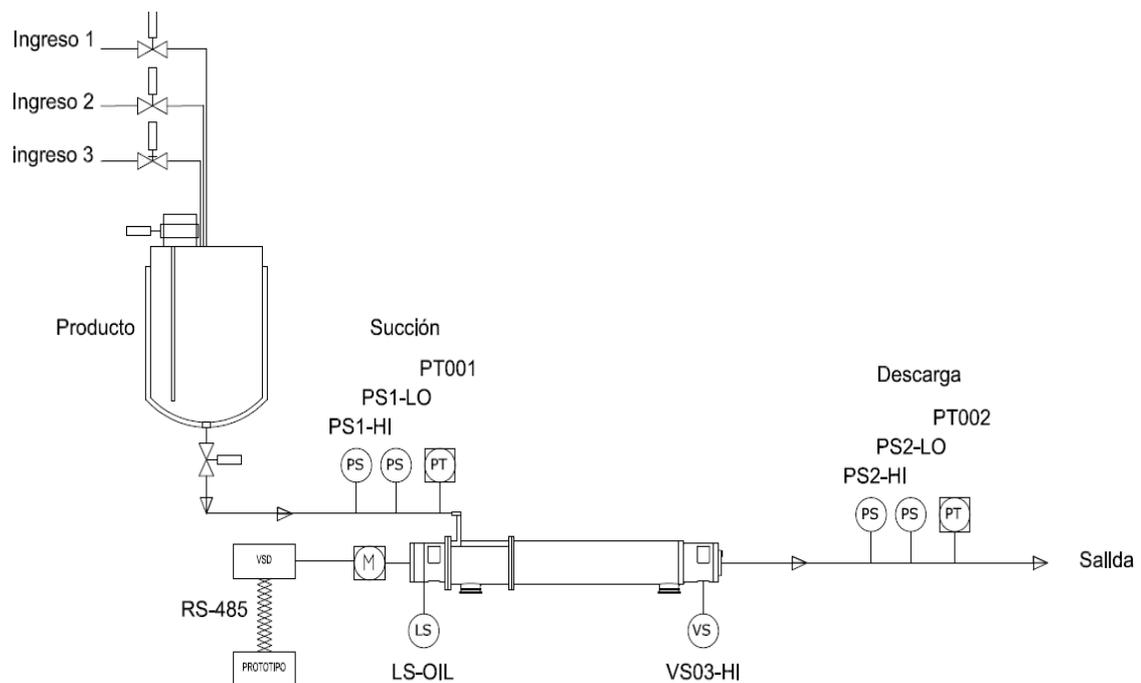


Figura 3.13 Diagrama de instrumentación del proceso.

En la figura 3.14 se detalla el diagrama de flujo del enlace MODBUS. El proceso inicia desde el llamado de la subrutina principal para la apertura de los puertos de comunicación. En la parte derecha de la figura está la interfaz HMI, su función ayuda el ingreso de datos de configuración y recepción de datos para la monitoreo de variables. El proceso continúa con un salto a la subrutina MODBUS para la transmisión y recepción de la trama de datos. El PLC es el maestro y el VSD el esclavo MODBUS, la comunicación se evalúa constantemente para emitir la información en caso de posibles errores.

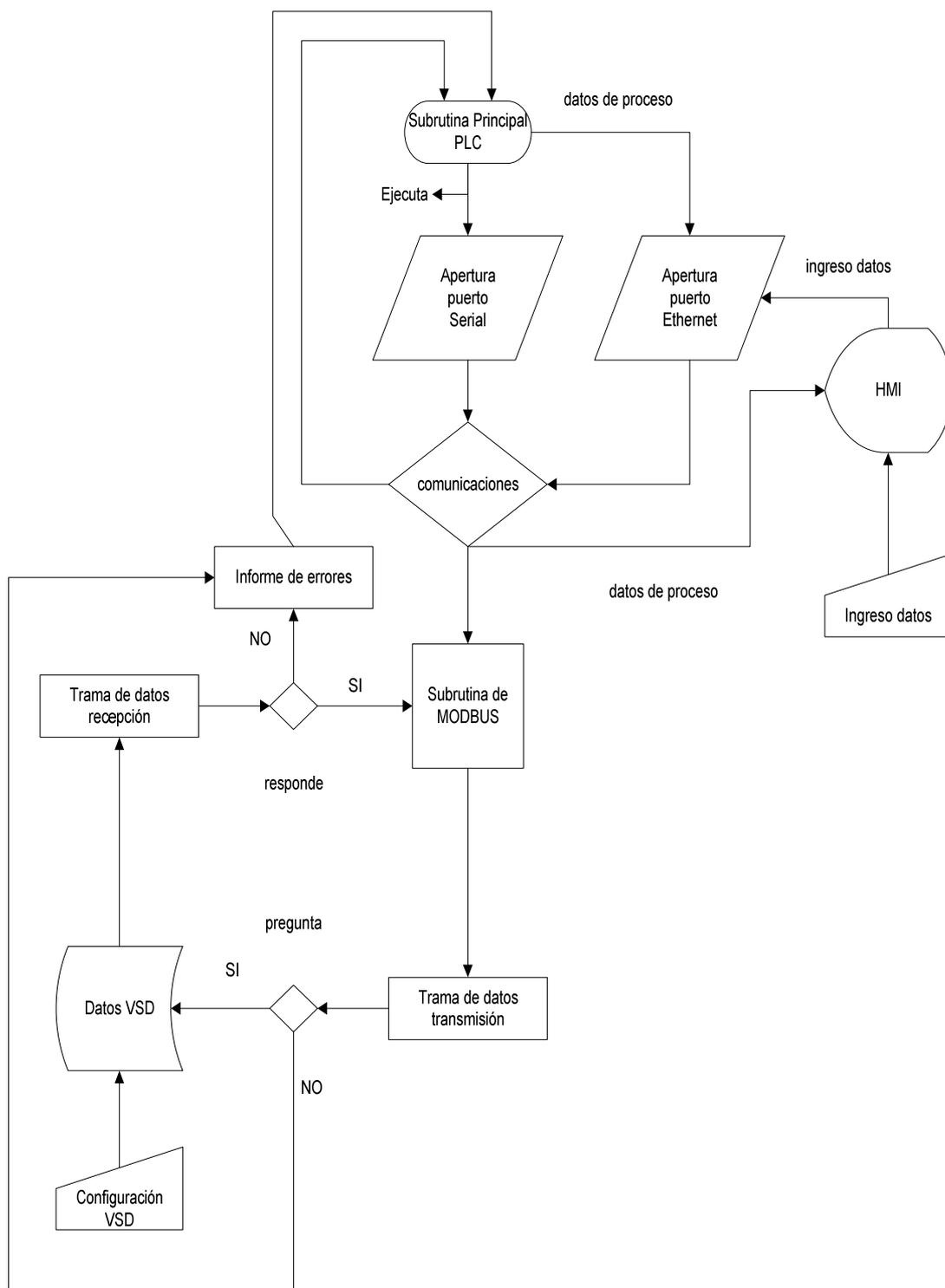


Figura 3.14 Diagrama de flujo prototipo – VSD comunicación MODBUS.

Para describir la figura 3.15 se considera el ciclo de scan de PLC, en el cual se evalúa las entradas, escanea subrutina, actualiza comunicaciones y ejecuta

salidas. Bajo este concepto desarrollado en el marco conceptual se procede con la creación de algoritmos de para la programación del PLC.

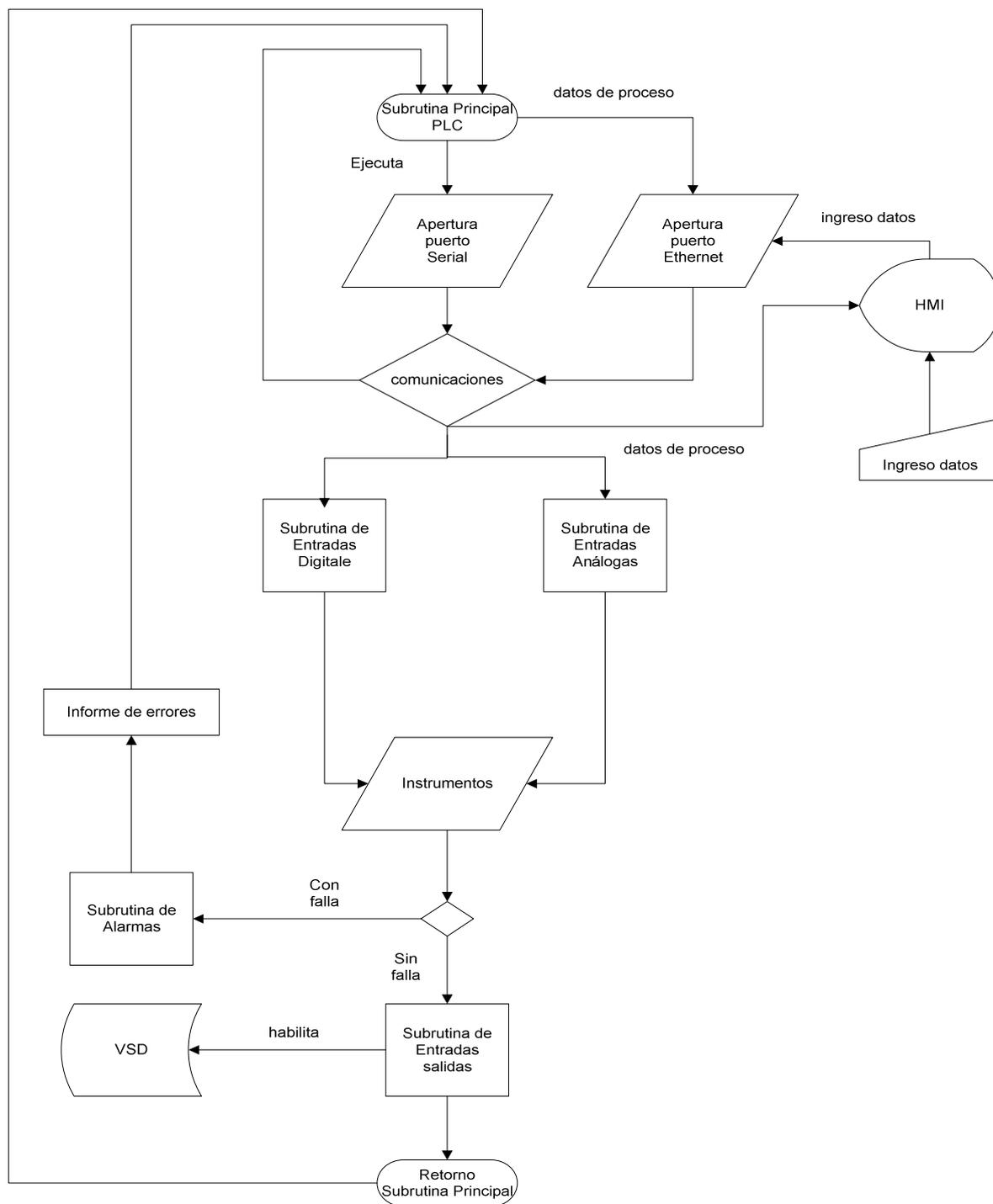


Figura 3.15 Diagrama de flujo instrumentación digital y analógica.

La funcionalidad de cada instrumento se detalla a continuación:

- PS01-LO, PS01-HI son switch de presión en succión son elementos de seguridad para presión baja o presión alta en la línea de succión de la bomba.
- PS02-LO, PS02-HI son switch de presión en descarga son elementos de seguridad para presión baja o presión alta en la línea de transmisión de la bomba.
- PT-001, PT-002 son transductores de presión en descarga y succión, elementos que son utilizados para el control, debido a que transmiten valores escalares de la presión existente en las líneas de trabajo de la bomba
- LS-OIL, V03-HI son un switch de nivel y un switch de vibración respectivamente. Su función es proteger a la bomba sobre causas externas, en el caso del aceite que sirve para la lubricación mecánica y en la vibración que no se produzca rupturas mecánicas en las estructura interna de la bomba.
- Los pulsadores de emergencia son elementos que sirven para detener el proceso, muchas veces se utiliza por situaciones de peligro o fallas críticas.

- Las luces y alarma sonora, sirven para informar los estados del proceso, si está en falla, tiene alarmas, si está sin fallas, la operación es correcta.

### **3.2.3 Diseño Mecánico**

El prototipo a desarrollar a más de ser una unidad que garantice información confiable y un control de procesos seguro debe cumplir varios requisitos mecánicos para que se pueda adaptar de manera fácil en las plantas industriales. Los principales requisitos en el diseño mecánico son el tamaño (hacerlo lo más pequeño que sea posible) y que tenga una resistencia mecánica para el trabajo a la intemperie. Esto se debe a dos razones fundamentales:

- Si el gabinete es demasiado grande la instalación en campo del prototipo va a requerir de obra civil y la fabricación mecánica de soportes, también el costo económico aumentaría.
- Se desconoce del espacio físico donde vaya a operar el prototipo y en la instalación implicaría buscar un punto estratégico que esté al alcance del personal de operación.

Otros aspectos requeridos para el diseño mecánico es que tenga una buena presentación en su estructura interna y externa, que sea fácil de transportar y fácil de instalar, que sea duradero y se pueda dar soporte de mantenimiento fácilmente.

En la figura 3.16 se expone la estructura frontal externa que tendrá el prototipo, se puede apreciar al panel IP55 y en la puerta de éste la interfaz HMI, tres luces indicativas, una de color rojo para falla, una de color amarillo para alarma y una de color verde para funcionamiento del equipo VSD. En la parte inferior está un pulsador tipo hongo mantenido que es el paro de emergencia o ESD local.

Las dimensiones del gabinete para el prototipo han sido establecidas de acuerdo a la suma de las dimensiones de los equipos que van en la parte interna y externa del gabinete. En este diseño se debe tomar en consideración las temperaturas de operación a las que pueden ser sometidos los equipos eléctricos del prototipo para que la disipación de calor propia de cada equipo no genere problemas en la el funcionamiento.

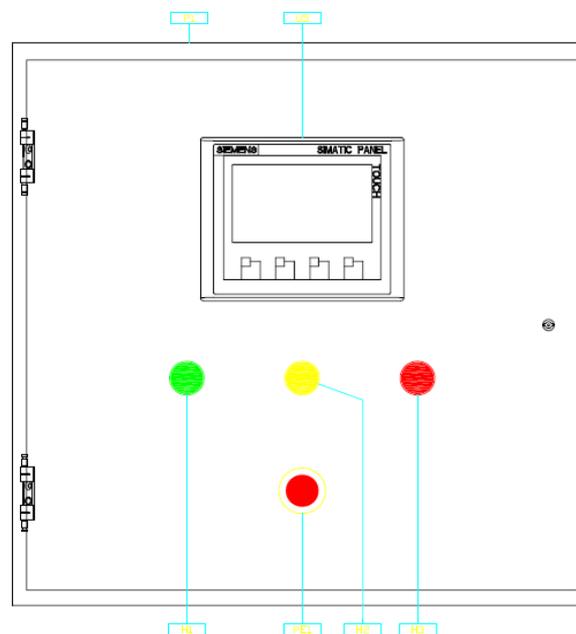


Figura 3.16 Vista frontal externa del prototipo.

En las tablas 3.2 y 3.3 se muestran los datos de las dimensiones de cada equipo y los componentes seleccionados para el prototipo. Una vez analizados se

procede con la selección del gabinete.

Equipos instalación interna	Cantidad	Alto	Ancho	Profundidad	Ancho Total
	uni.	mm	mm	mm	mm
PLC S7-1200	1	100	100	70	100
Switch Scalance	1	130	40	110	40
Fuente 24 Vdc	1	90	80	60	80
Bornera tipo fusible	14	60	7	50	98
Bornera de paso	17	60	6	50	102
Sujetado de grupo	5	60	7	50	35
Marcador de grupo	5	40	8	60	40
Total ancho = $\sum(\text{ancho individual} \times \text{cantidad})$ mm					495

Tabla 3.2 Dimensiones de equipos y componentes internos del prototipo.

En la tabulación mostrada los equipos electrónicos tienen medidas aproximadas en el alto, de igual manera las borneras se asemejan en dimensión de alto.

Para la ubicación en el gabinete se evalúa el ancho total de los componentes y equipos definiendo que es conveniente realizar dos segmentos paralelos. Una para la ubicación de los equipos y otra para las borneras.

Equipos instalación externa	Cantidad	Alto	Ancho	Profundidad	Diametro
	uni.	mm	mm	mm	mm
HMI KTP-400	1	116	141	50	-
Luz piloto	3	-	-	10	22
Pulsador Emergencia	1	-	-	40	22

Tabla 3.3 Dimensiones de equipos y componentes externos del prototipo.

La medida de profundidad del switch industrial sirve como referencia para la selección de profundidad del gabinete. Las dimensiones recomendadas para el prototipo son 400 mm de alto, 400 mm de ancho y 200 mm de profundidad. Eso permite almacenar a los equipos sin ningún inconveniente garantizando su funcionalidad, adicional cumple uno de los requisitos que consiste en obtener un

producto pequeño y confiable por la protección externa.

En la figura 3.17 se expone las dimensiones finales del prototipo, revisadas y aprobadas. Los diagramas completos pueden ser revisados en la sección de Anexos.

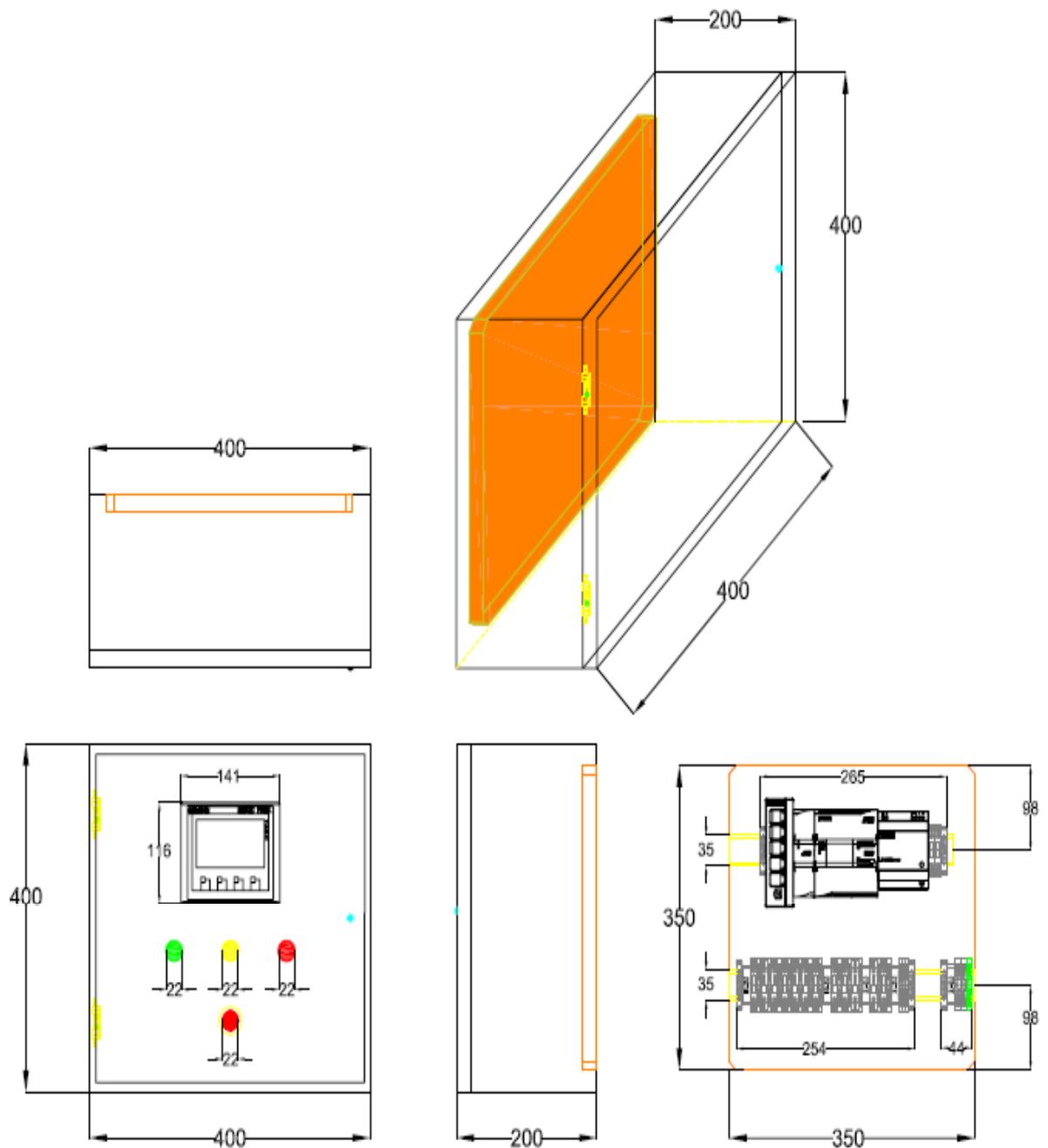


Figura 3.17 Dimensiones generales del prototipo.

### 3.3 Montaje del sistema

El proceso de montaje del prototipo permite conocer situaciones que en la teoría no se mencionan totalmente. Manipular físicamente los equipos ayuda a constatar información y datos de placa que vienen incorporados en la carcasa externa, éstos ayudan a familiarizarse más con estos equipos.

La importancia de la investigación inicial ayuda a las labores de desarrollo en el montaje, ya que se puede correr el riesgo de dañar o quemar un equipo.

#### 3.3.1 Montaje de hardware

En el montaje de hardware se requiere utilizar elementos auxiliares de apoyo entre estos protoboard, cables eléctricos, potenciómetros, luces, breakers, VSD para pruebas, etc.

Se inicia con la instalación del módulo de expansión de comunicación al PLC, posteriormente sigue la alimentación con energía eléctrica al equipo. En la figura 3.18 se muestra los pasos iniciales.



Figura 3.18 Instalación de módulo y energización de PLC.

Se puede constatar con una marca en rojo en la figura anterior la primera muestra del funcionamiento del equipo. Es la activación de un led de color amarillo indicando el arranque de la CPU del PLC en modo STOP (detenido). Con una fuente interna de 24Vdc que trae incorporado en el chasis el PLC, se procede a realizar una simple inspección del funcionamiento de entradas digitales.

No es necesario tener un programa ejecutándose en la CPU para comprobar el funcionamiento de este módulo. En la figura 3.19 se ve la muestra de activación de una entrada digital.



Figura 3.19 Activación de una entrada digital de PLC.

Esta fuente es una buena herramienta para proceder con las pruebas de los módulos en entradas digitales y entradas análogas, a estas últimas hay que dar un trato especial ya que su tensión de operación es de 0 a 10 Vdc. Una de las soluciones es fabricar una fuente de corriente continua o generar un divisor de tensión para obtener la señal requerida.

El estado de una entrada discreta se la puede comprobar por la activación de leds en color verde, esto ayuda a evidenciar que la entrada está o no está activada. En el caso de las entradas análogas no se las puede comprobar a simple vista, se requiere crear un programa, configurar la dirección de control en la memoria del PLC, establecer comunicación e ir a un parámetro importante que es establecer conexión en línea con la aplicación. En la sección de montaje de software se habla del procedimiento.

El módulo de comunicación RS-485 tiene en su chasis dos tapas que cubren al conector DB9 que es para la conexión a la red, dos leds que indican al TX transmisor y al RX receptor **(1)** y un led de color verde para evidenciar su activación por medio del bus de datos internos del PLC **(2)**. Este equipo no posee ningún programa los leds TX, RX permanecen apagados. En la figura 3.20 se muestra al módulo serial.

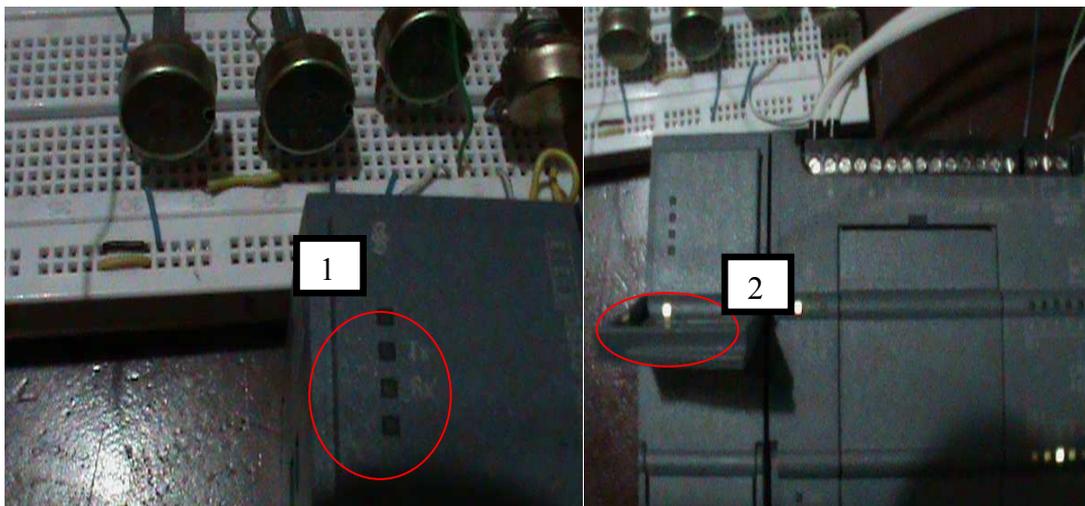


Figura 3.20 Activación de módulo RS-485.

Para comprobar el funcionamiento de las salidas digitales, se debe cargar un

programa sencillo que active una salida cuando el estado de una entrada sea verdadero o igual a 1 lógico. Las salidas del PLC son de tipo relé; cuando una de éstas se activa está acompañado de un sonido mecánico (click), típico de la activación de bobinas de relé. En la figura 3.21 se muestra esta activación.



Figura 3.21 Activación de módulo de salidas PLC.

Para la simulación de la señal analógica se crea un circuito de divisor de tensión para comprobar el funcionamiento de las entradas análogas. Se ha instalado 4 potenciómetros para simular una señal designada a cada canal analógico del PLC. En la figura 3.22 se muestra la representación del circuito para señales análogas.

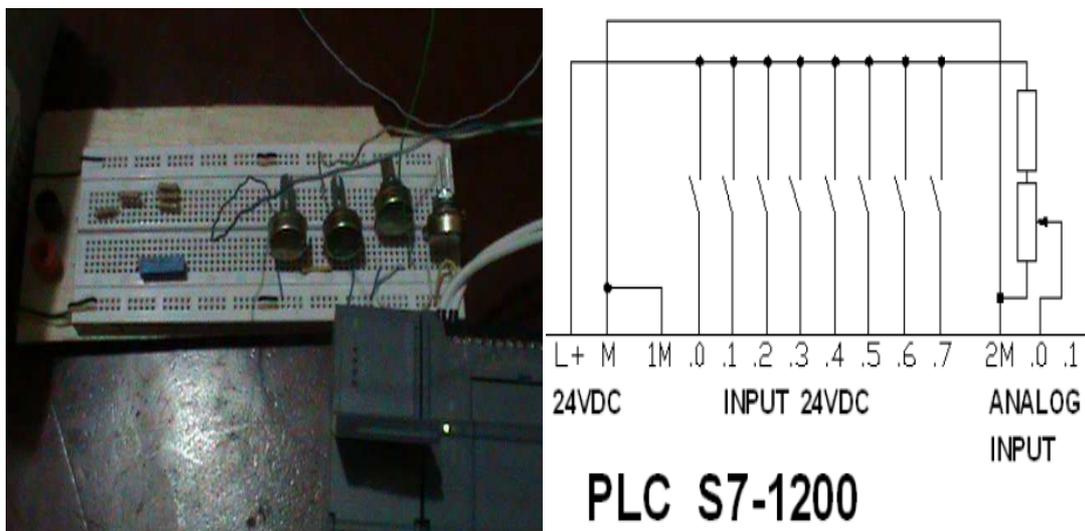


Figura 3. 22 Simulador se señal análoga.

El PLC es el principal elemento para desarrollar la ingeniería de programación, los equipos adicionales como son HMI, pruebas de comunicación MODBUS con el VSD requieren de un programa en el PLC bien estructurado y definido por lo cual no se requiere más pruebas en el montaje de hardware.

### **3.3.2 Montaje de software**

#### **3.3.2.1 Montaje de software PLC S7-1200**

El primer paso en el montaje de software es iniciar con la programación del S7-1200, para la cual se requiere el software TIA Portal instalado en una PC, un patch cord (cable de enlace Ethernet) y una conexión TCP/IP.

La dirección IP que trae el equipo desde fábrica es 192.168.0.1; esta información está en el manual de operación que viene junto al equipo. A continuación se crea una aplicación para el desarrollo en el software TIA Portal, para establecer conexiones con el equipo. No es necesario configurar la cantidad de módulos adicionales que tiene el PLC, el software ayuda en la creación de éstos; en las figuras 3.23 y 3.24 se muestran las ventanas de configuración de tarjeta Ethernet de PC y acceso de conexión al PLC respectivamente.

El software realiza una prueba de conectividad con el equipo PLC, al establecer la conexión se puede evidenciar las condiciones actuales del equipo y la información se despliega inmediatamente en otra pantalla del software.

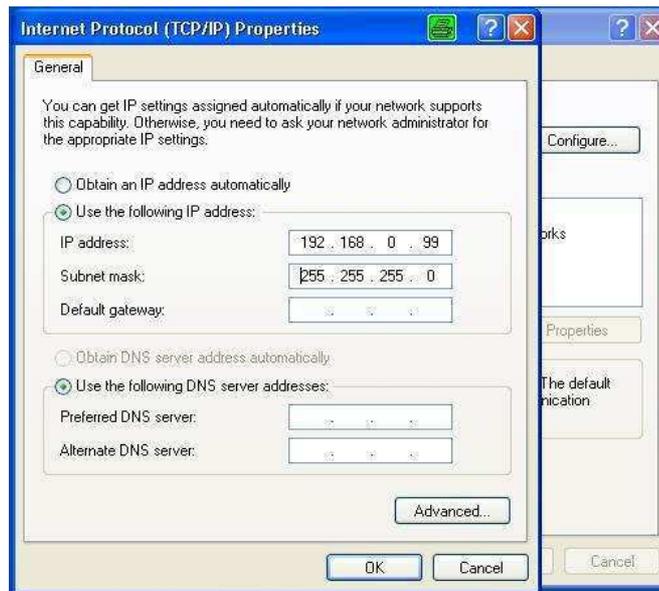


Figura 3.23 Asignación de dirección TCP/IP a PC.

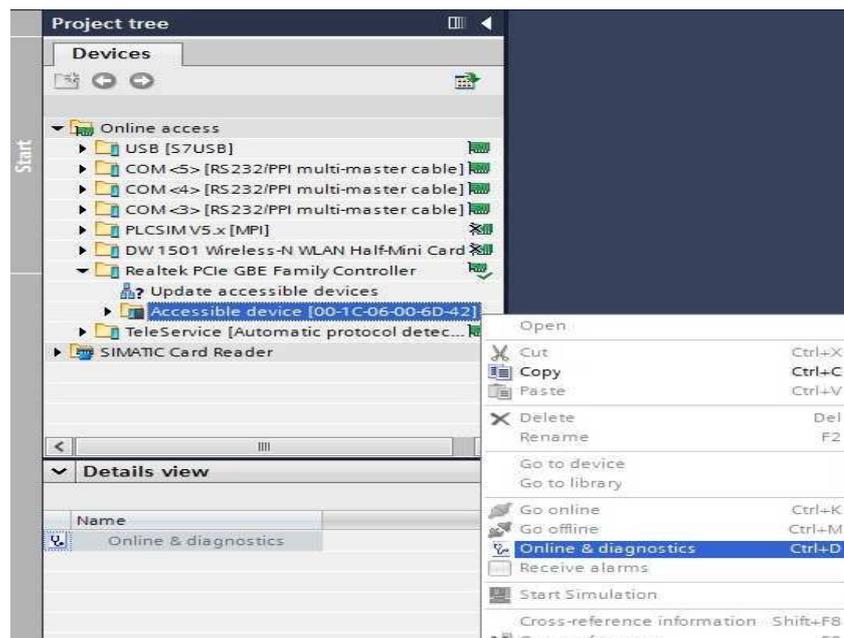


Figura 3.24 Conexión TCP/IP PLC S7-1200 parte 1.

En la figura 3.25 se muestra la conexión TCP/IP asignada al equipo (1), el estado de la CPU detenido o corriendo (2), una de las ventajas de este software en comparación con otras marcas es el sistema integrado de comunicaciones, en

otros equipos se requieren dos o más software para entablar comunicaciones con el equipo.

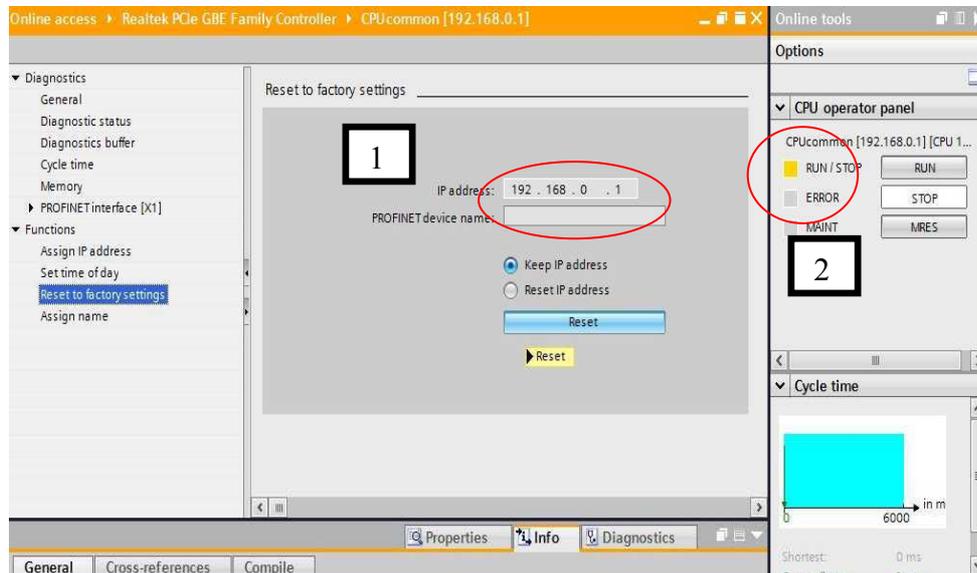


Figura 3. 25 Conexión TCP/IP PLC S7-1200 parte 2.

Para la creación de subrutinas y el desarrollo del programa base, se debe asignar una subrutina principal (Main) en la lógica de control para familiarizarse con los comandos, instrucciones y parámetros de configuración del software. En la figura 3.26 se indica la creación del programa base.

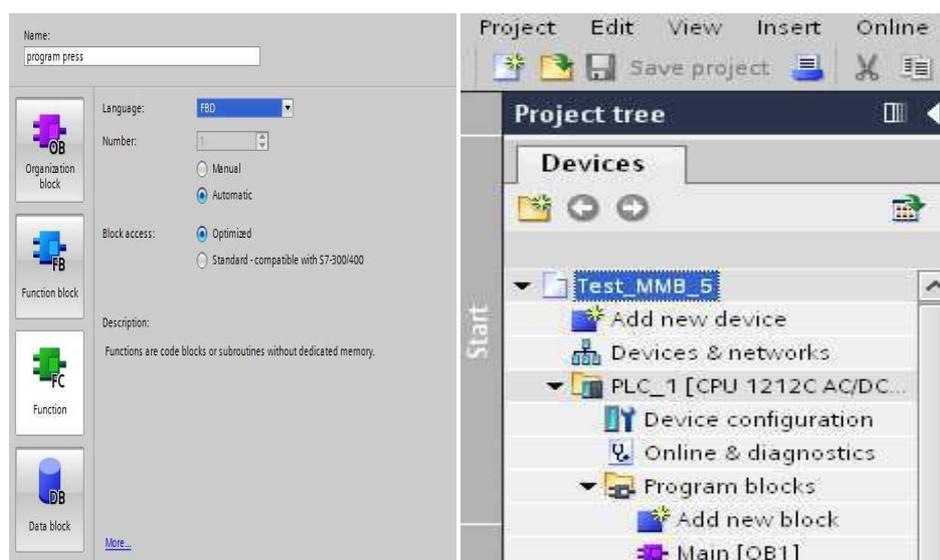


Figura 3.26 Elaboración de programa base.

La estructura de programación del proyecto está organizada de la siguiente manera:

- Creación de TAGs de programa.
- Creación de subrutinas auxiliares para ingreso de programación.
- Creación temporizadores base para condiciones de operación con retardos.
- Creación de Bits auxiliares para enclavamientos.
- Pasos de la programación en cada subrutina auxiliar.
  - Subrutina de comandos digitales.
  - Subrutina comando analógicos.
  - Subrutina de fallas.
  - Subrutina MODBUS.
  - Depuración de fallas programa.
  - Optimización del programa.

#### **3.3.2.1.1 Creación de TAGs de programa**

Este desarrollo es el paso inicial en la etapa de programación y sirve para asignar símbolos o marcas a los elementos del programa. Aquí se realiza un direccionamiento de cada TAG a un espacio en la memoria del equipo.

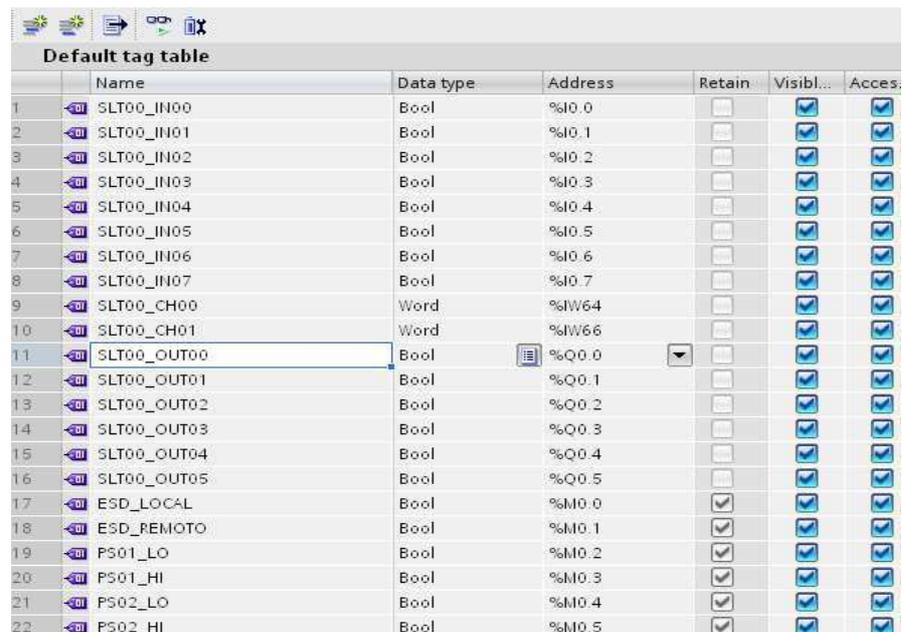
El PLC tiene conjuntos de palabras de programación de 8 bits. Es la base más pequeña de palabras, teniendo en consideración los siguientes datos:

1 byte = 8 bits.

1 Word = 2 bytes o 16 bits.

1 DWord = 4 bytes o 32 bits.

En la figura 3.27 se muestra una parte de la designación de las variables requeridas para la creación de algoritmos. La base de la estructura de los TAGs se ha tomado de la tabla 3.1 matriz de instrumentos para prototipo. En la programación éstas son las marcas que se asignará a las instrucciones requeridas



	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces:
1	SLT00_IN00	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SLT00_IN01	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SLT00_IN02	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SLT00_IN03	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	SLT00_IN04	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SLT00_IN05	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	SLT00_IN06	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	SLT00_IN07	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	SLT00_CH00	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	SLT00_CH01	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	SLT00_OUT00	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	SLT00_OUT01	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	SLT00_OUT02	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	SLT00_OUT03	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	SLT00_OUT04	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	SLT00_OUT05	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	ESD_LOCAL	Bool	%M0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	ESD_REMOTO	Bool	%M0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	PS01_LO	Bool	%M0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	PS01_HI	Bool	%M0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	PS02_LO	Bool	%M0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	PS02_HI	Bool	%M0.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.27 TAGs de programa del prototipo.

### 3.3.2.1.2 Creación de Subrutinas

Las subrutinas auxiliares son creadas para establecer seguridades en el sistema, desde la subrutina principal se llama a las auxiliares. De lo explicado en la sección 3.2.2 diseño de software, éstas no se pueden ejecutar si las condiciones del sistema no son las correctas. Éstas sirven también para ordenar todas las instrucciones programadas dentro de un sólo conjunto, así la búsqueda de fallas dentro del programa no se hace extremadamente largo y tedioso. En la figura 3.28 se muestra creación de subrutinas auxiliares.

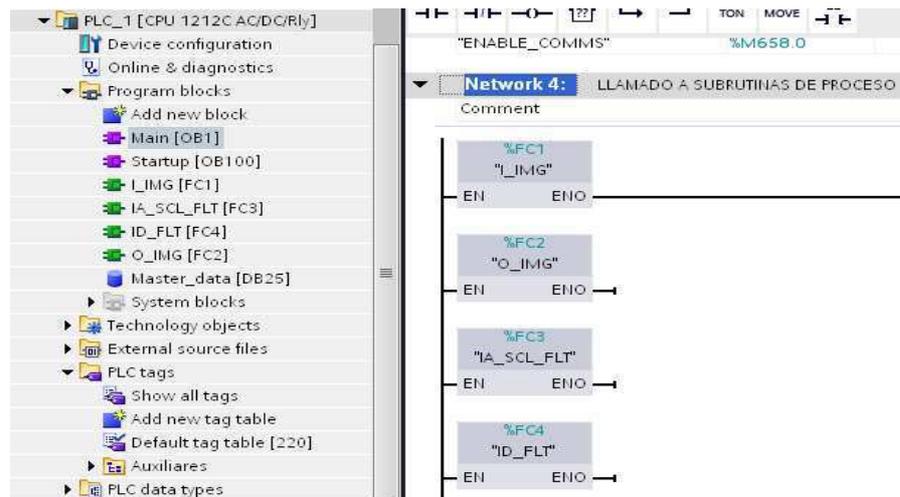


Figura 3.28 Creación de subrutinas auxiliares.

### 3.3.2.1.3 Creación de temporizadores

Los temporizadores son las instrucciones más utilizadas a nivel de programación que facilitan el comando de acciones retardando tiempos requeridos por actualización de datos, disparo de alarmas, etc. Para el programa a desarrollar esta instrucción ayuda a controlar procesos de la comunicación MODBUS, del retardo en la generación de alarmas, reset de fallas, etc. En la figura 3.29 la base de temporizadores.

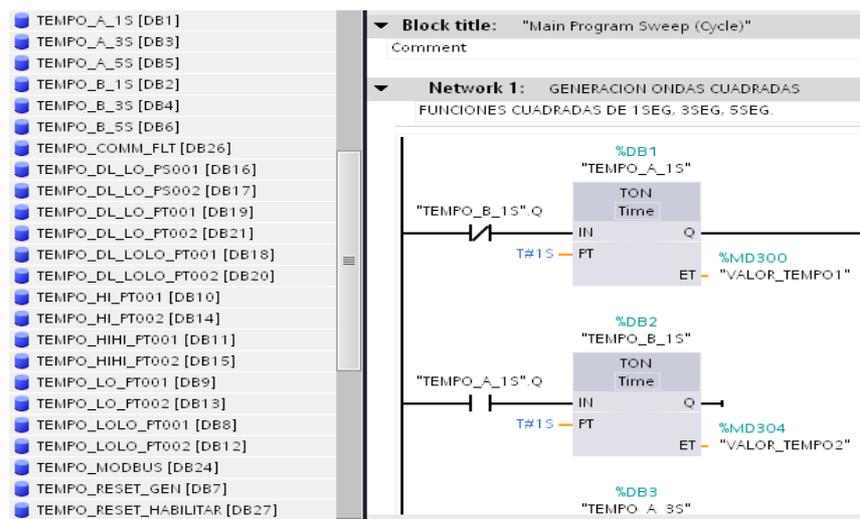


Figura 3.29 Creación de temporizadores.

### 3.3.2.1.4 Creación de bits auxiliares

El bit auxiliar en la programación ayuda a la activación física de salidas y entradas locales del PLC. Su función es cambiar el estado lógico de verdadero a falso ante posibles cortes de energía eléctrica, por la razón que si se produce un corte de energía eléctrica al retornar ésta, los bits no vuelvan a activarse y provocar accidentes a los operadores o daños en las máquinas. En la figura 3.30 se presenta a bits auxiliares asignados a entradas digitales.

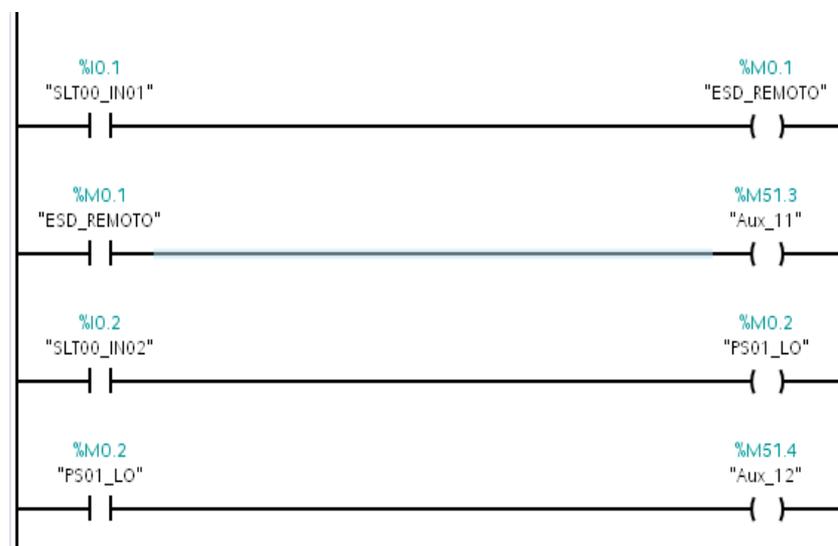


Figura 3.30 Creación de bits auxiliares.

### 3.3.2.1.5 Pasos de la programación

Un total de 220 TAGs son requeridos para el desarrollo de la programación del prototipo de control y monitoreo. En esta etapa del proyecto el trabajo en cada subrutina genera muchos errores de direccionamiento, escalamiento análogo y de comunicación MODBUS. De las experimentaciones realizadas se crearon bloques cíclicos que ayuda a mejorar en parte los errores. En la figura 3.31 se muestra representación del desarrollo del programa del prototipo.

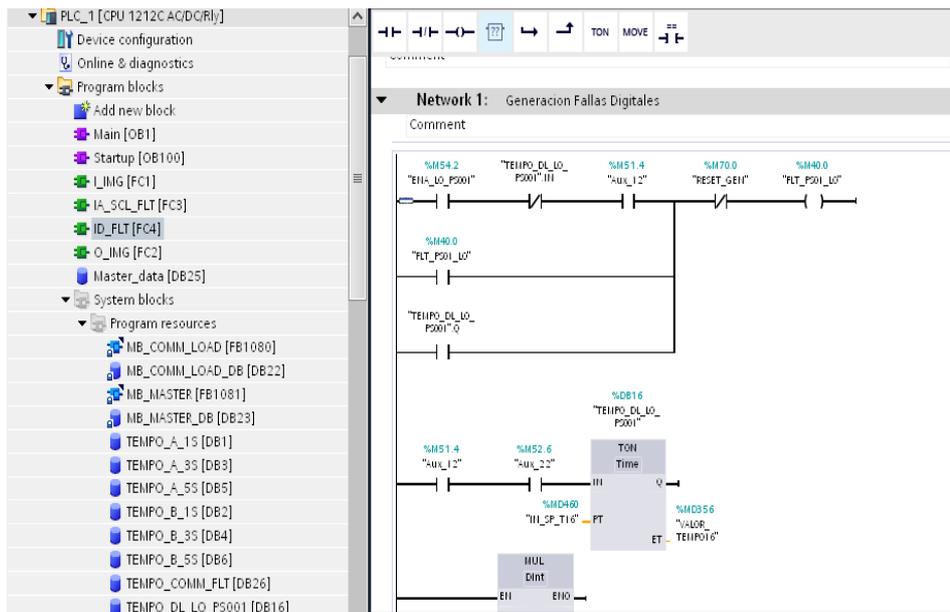


Figura 3.31 Pasos de la programación.

### 3.3.2.2 Montaje de software en HMI KTP-400

La programación en el HMI es una aplicación desarrollada en el equipo KTP-400 para interactuar con el proceso a ser controlado. Las pantallas de visualización se generan a partir de la tabla 3.1 matriz de instrumentos asignados al prototipo y de la figura 3.13 diagrama de instrumentación del proceso.

Se establece 20 pantallas distribuidas de la siguiente manera:

- 1 pantalla principal.
- 1 pantalla de proceso.
- 1 pantalla de control.
- 3 pantallas de datos.
- 3 pantallas de gráficas.
- 10 pantallas de configuraciones.
- 1 pantalla para alarmas.

Los pasos iniciales al igual que el equipo PLC se requiere establecer una conexión TCP/IP, posteriormente se hace una apertura del puerto de comunicación, asignando una conexión punto a punto con el PLC para que pueda tomar los datos de las variables asignadas en este equipo. En la figura 3.32 se muestra la conexión punto a punto Ethernet en el software TIA Portal.

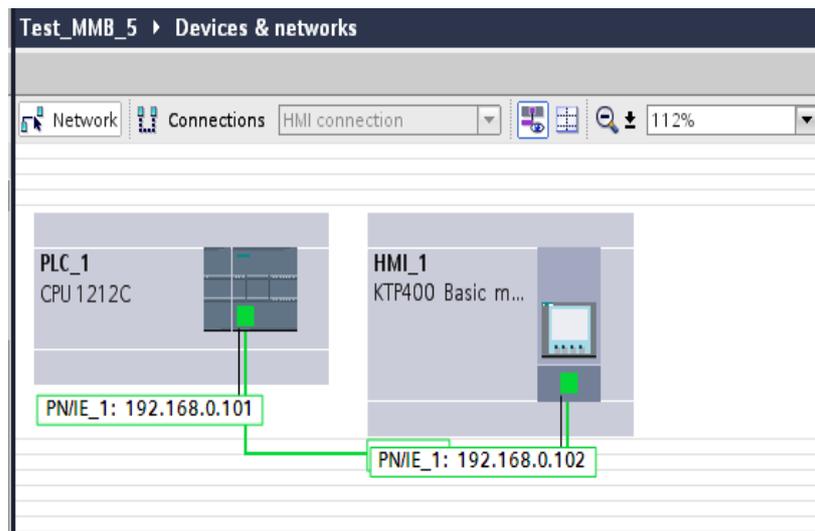


Figura 3.32 Conexión punto a punto PLC-HMI.

En la interfaz HMI se asigna a una pantalla como principal, en la cual se muestra la estructura global de la aplicación desarrollada. Esta pantalla permite accesos a otras pantallas haciendo una interacción de navegación dando toques sobre el botón que se desee activar.

En todas las pantallas se puede identificar 3 detalles del contenido. En la figura 3.33 se muestra el detalle del contenido en cada pantalla.

- 1) Barra de estado.
- 2) Área de de aplicación.

### 3) Barra de navegación.

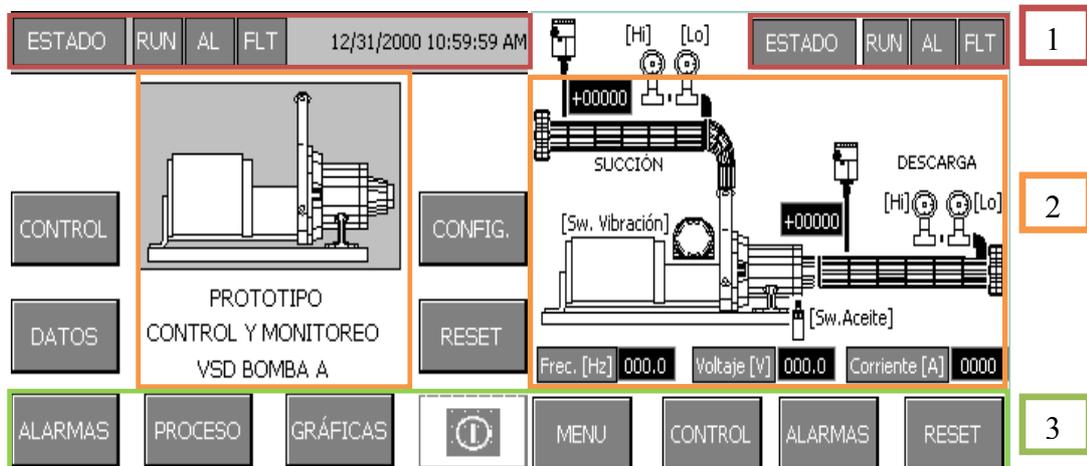


Figura 3.33 Desarrollo de pantalla para HMI.

**Barra de estado** está una visualización del estatus del VSD en el proceso también la hora y la fecha del día. En el estatus del proceso están las animaciones: (FLT) para identificar la presencia de una falla en el sistema, un estado en que el sistema no puede operar bajo ninguna circunstancia hasta corregir las fallas existentes; (AL) alarma que muestra una alerta en el proceso. Con la presencia de esta animación se puede seguir operando pero se debe tomar atención para no provocar paros de producción. Hora y fecha de la aplicación van ligadas a la pantalla de alarmas para constatar la instancia exacta al momento de producirse una alarma o falla.

**Área de la aplicación** aquí se encuentra los gráficos, datos obtenidos desde el VSD e instrumentos y en las pantallas de configuración donde se tiene la asignación de tiempos para alarmas y botones que permiten el control del proceso.

**Barra de navegación** es un conjunto de botones que se utiliza para dirigirse hacia otras pantallas de la aplicación.

En la figura 3.34 se muestra el detalle contenido en una pantalla para datos del VSD (1) y una pantalla para configuración de instrumento análogo (2),



Figura 3.34 Pantallas para visualización de datos del prototipo.

En las pantallas de curvas se visualiza el comportamiento de las presiones con respecto al tiempo. El valor está asignado para leer por 3 minutos el ciclo de operación de los instrumentos análogos.

En la figura 3.35 se muestra la pantalla para graficar la presión de succión y la presión de descarga.

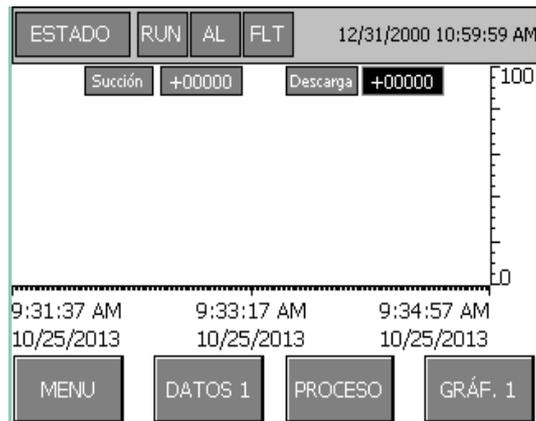


Figura 3.35 Pantalla para visualización de gráficas de instrumentos análogos

### 3.4 Construcción de un sistema prototipo que se pueda operar a la intemperie con grados de protección IP para su funcionamiento en zonas con ambiente corrosivo

Para iniciar la implementación del sistema se requiere hacer una revisión a la figura 3.4 o diagrama eléctrico PMC-001-001, donde se muestra el listado de elementos requeridos. En la figura 3.36 se muestran los equipos antes de la implementación.



Figura 3.36 Componentes para implementación de prototipo.

El proceso de implementación se inicia con las pruebas físicas de equipos, para la ubicar dentro del gabinete metálico, esta es una tarea requerida para comprobar si el diseño realizado en el diagrama eléctrico PMC-001-003 cumple las dimensiones expuesta en el documento. En la figura 3.37 se muestra el detalle de las pruebas físicas para la implementación.



Figura 3.37 Pruebas físicas de componentes para implementación del prototipo.

Comprobada las dimensiones parciales de los equipos, se procede a trazar y señalar las medidas para la ubicación de riel DIN, troqueles y perforaciones circulares. En la figura 3.38 se muestra el detalle de perforación e instalación mecánica.

Avanzando con el ensamble se procede a realizar una limpieza general para instalar las borneras de interconexión, los equipos y componentes. En esta labor el prototipo está en un 90% para finalmente realizar las conexiones eléctricas en el prototipo. En la figura 3.39 se muestra la instalación de equipos.

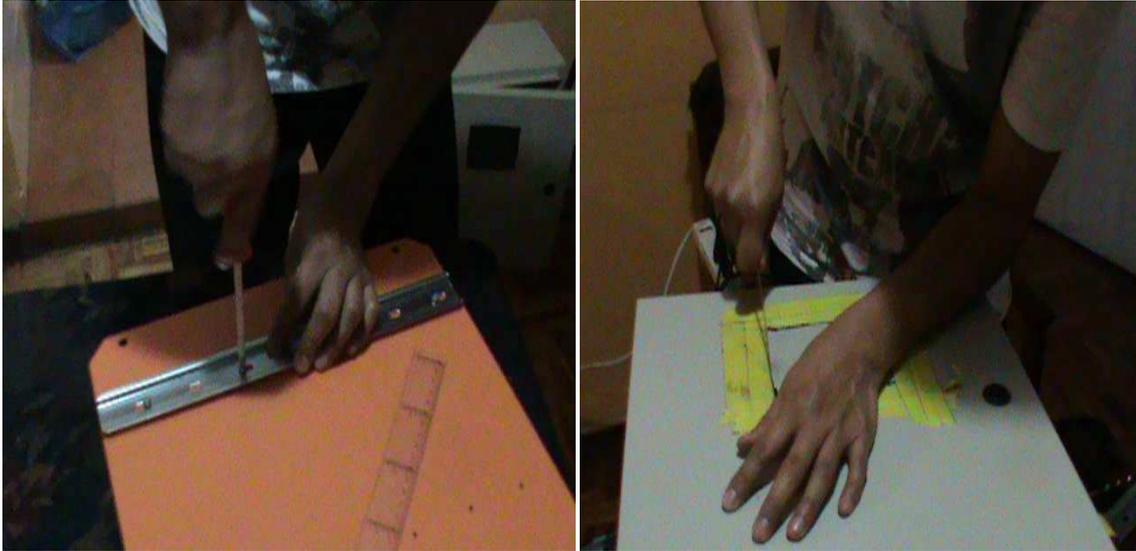


Figura 3.38 Corte e instalación mecánica del prototipo.



Figura 3. 39 Instalación de equipos del prototipo.

A continuación se realiza las conexiones de los equipos, basados en los diagramas eléctricos PMC-001-001 al PMC-001-007. Se utiliza el código eléctrico ecuatoriano para la asignación de cables de colores para diferenciar voltajes y señales. Los códigos utilizados son:

Voltaje corriente continua: (+) 24Vdc, cable de color rojo.

(-) 0Vdc, cable de color negro.

Voltaje corriente alterna: (L1) 120 Vac, cable de color marrón.

(L2/N) Neutro, cable de color negro.

Entradas digitales: (+) 24Vdc, cable de color naranja.

Salidas digitales: (+) 24Vdc, cable de color rojo.

Entradas análogas: (+) 0- 10Vdc cable de color blanco.

Finalmente marcaciones en los cables dentro del prototipo, que es un estándar para identificación del tipo de energía que tiene el conductor Vac. y Vdc, importante para las labores de mantenimiento o detección de fallas. En las figuras 3.40 y 3.41 se detallan la construcción final del prototipo.



Figura 3.40 Construcción mecánica general de prototipo parte 1.



Figura 3.41 Construcción mecánica general de prototipo parte 2.

### 3.4.1 Verificación de la instalación de equipos según diagramas

Se inicia con un detalle descriptivo y comparativo del proceso que ha tenido el prototipo desde el diseño hasta la construcción.

En la figura 3.42, se expone el diseño preliminar a la derecha y la construcción mecánica a la izquierda. Están ubicados los equipos detallados en la tabla. 3.2 componentes internos del gabinete. El detalle de los equipos es el siguiente:

- 1) Doble fondo de gabinete.
- 2) Switch industria.
- 3) Módulo RS485.
- 4) PLC.
- 5) Fuente auxiliar 24Vdc.
- 6) Protecciones, porta fusibles.
- 7) Borneras de interconexión.

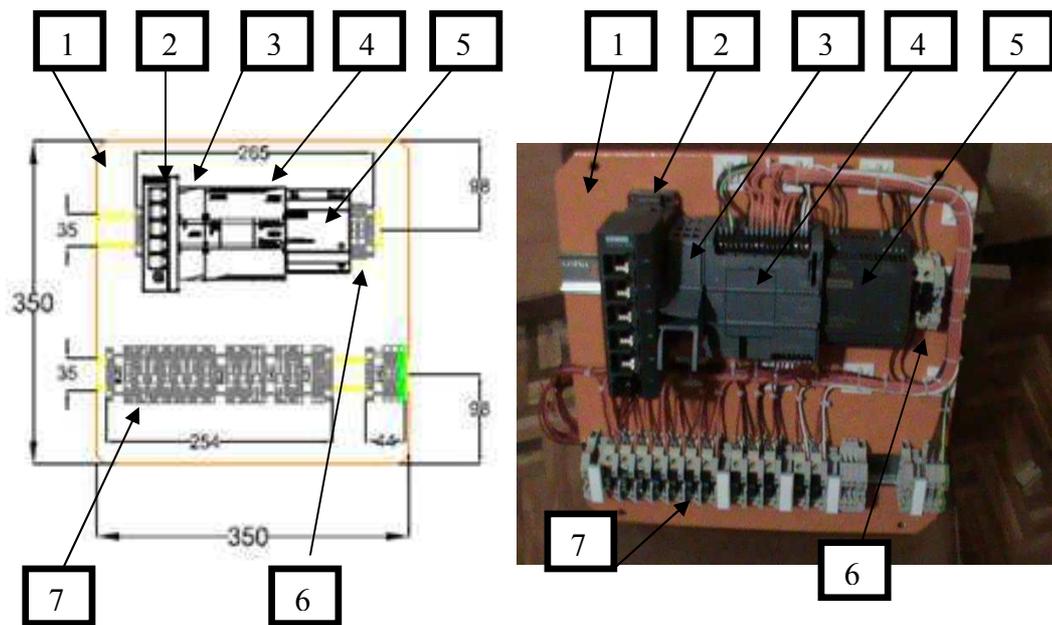


Figura 3.42 Descripción de construcción interna del prototipo parte 1.

Las conexiones de campo para entradas y salidas digitales, entradas analógicas, red MODBUS y la acometida se han distribuido en bloques para diferenciar las conexiones y seguir un orden de acuerdo a la estructura física del prototipo.

En la figura 3.43 se muestra la distribución de borneras de interconexión.

- 1) Entradas digitales: DI-SLOT00, entradas digitales slot en chasis 0.
- 2) Salidas digitales: DO-SLOT00, salidas digitales slot en chasis 0.
- 3) Entradas análogas: AI-SLOT00, entradas análogas slot en chasis 0.
- 4) Red MODBUS: A+, B-, shield, slot en chasis 1.
- 5) Acometida: Fase, neutro, tierra eléctrica.

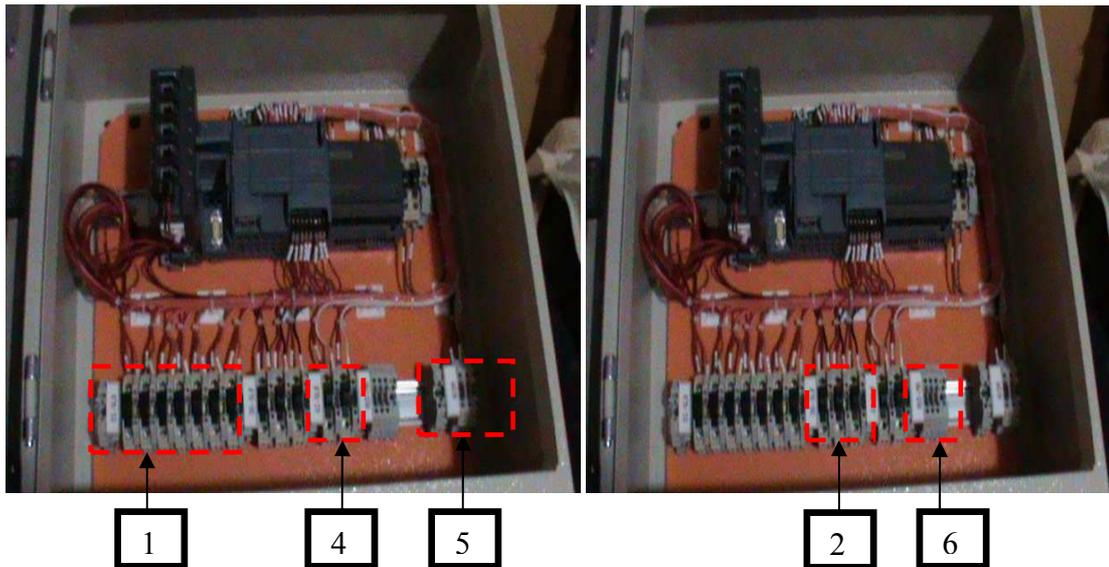


Figura 3.43 Descripción de construcción interna del prototipo parte 2.

En la estructura externa del prototipo al igual que en el PLC, se toma en referencia del documento PMC-001-003. La interfaz HMI debe calzar exactamente en el troquel realizado al gabinete, sin tener un juego mecánico para garantizar la protección IP55 que tiene el exterior.

En la figura 3.44 se detalla la ubicación de los siguientes equipos y componentes del prototipo:

- 1) Interfaz HMI.
- 2) Luz verde para indicar para estado VSD.
- 3) Luz amarilla para indicar presencia de alarmas.
- 4) Luz roja para indicar presencia de fallas.
- 5) Paro de emergencia ESD local.

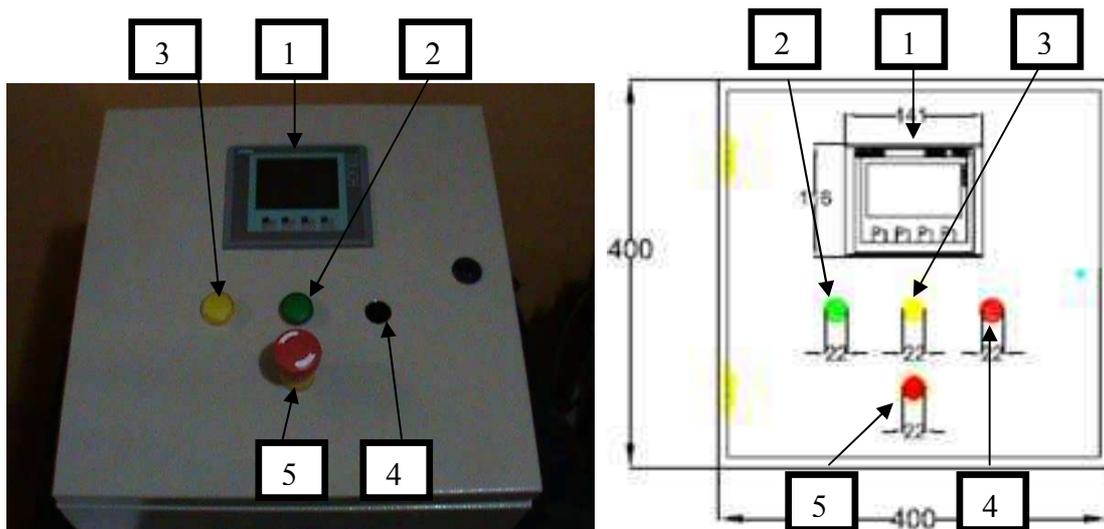


Figura 3.44 Descripción de implementación externa del prototipo.

### 3.4.2 Configuraciones del sistema prototipo

El proceso de control se inicia con el establecimiento de comunicaciones Ethernet del PLC, HMI y estación remota. El equipo VSD se configura bajo los parámetros MODBUS requeridos del sistema, si existen varios nodos se debe asignar una dirección independiente a cada módulo.

La configuración del VSD se lo realiza de manera manual, teniéndose los siguientes parámetros:

- Nodo: 100
- Velocidad: 9600
- Datos: 8 bits
- Paridad: No
- Parada: 1 bit

Las comunicaciones entre el prototipo y el VSD sean o no satisfactorias se las

muestra en la pantalla de visualización y en el módulo de comunicación RS-485. La conexión en línea con el PLC garantiza la primera etapa del proceso. En la figura 3.45 se muestra el estatus de comunicación MODBUS.



Figura 3. 45 Estatus de comunicación MODBUS del prototipo.

En el siguiente paso se procede a la verificación del estado lógico y los datos, de entradas digitales y análogas respectivamente. En la pantalla de proceso se muestra el estado de cada transmisor, switch y la información del valor generado por los transductores de presión.

En la figura 3.46 se muestra a los instrumentos que estén correctamente conectados con el envío de datos **(1)**, caso contrario error en la leyenda que esta junto a cada uno **(2)**.

Para realizar la puesta en marcha del proceso las pruebas iniciales del encendido y apagado del equipo VSD se las realiza en vacío (sin carga). Éste es

un procedimiento obligatorio que garantiza que si hay algún error de funcionamiento no cause problemas mayores en el sistema. Siempre se lo realiza cuando inicia un nuevo proceso de control. Para eliminar las posibilidades de errores, en el programa deben pasar las pruebas internas de funcionamiento, las cuales se hará con el VSD de baja carga.

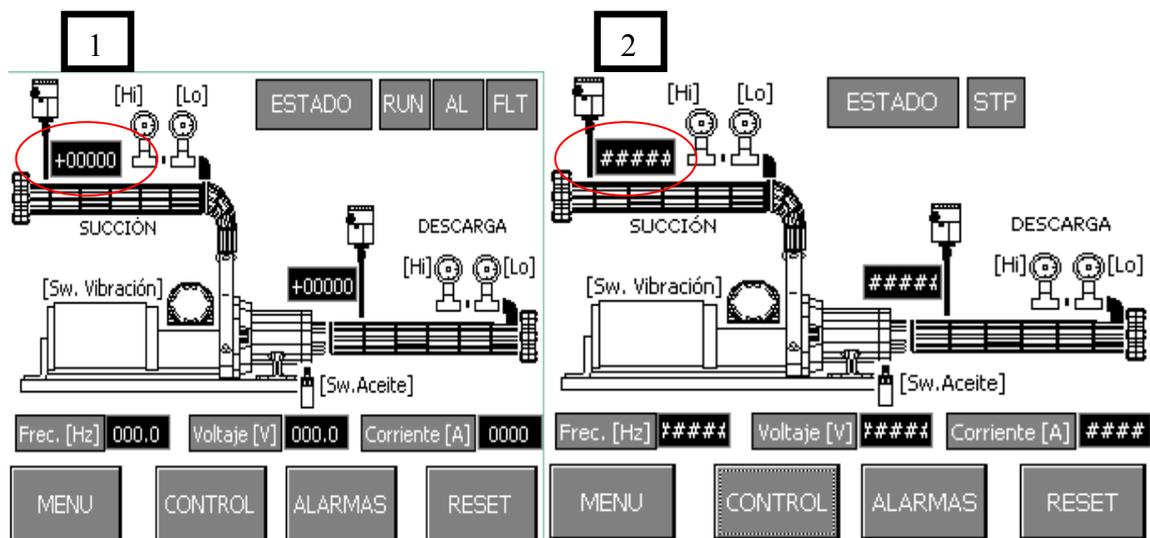


Figura 3.46 Estatus de instrumentos conectados al prototipo.

Continuando con el proceso de configuración, en las pantallas de configuración se establece los parámetros de funcionamiento. Aquí se configuran la habilitación o inhibición de sensores, los tiempos de retardo en el disparo de fallas y alarmas, las presiones de trabajo mínimas y máximas, bajo-bajo (LOLO), bajo (LO), alto (HI), alto-alto (HIHI). Requerimientos importantes por el tipo de funcionamiento que poseen las bombas longitudinales sean de reinyección o transferencia. Cada uno de los instrumentos tiene sus parámetros de configuración. La figura 3.47 se muestra las pantallas para cargar valores de configuración.

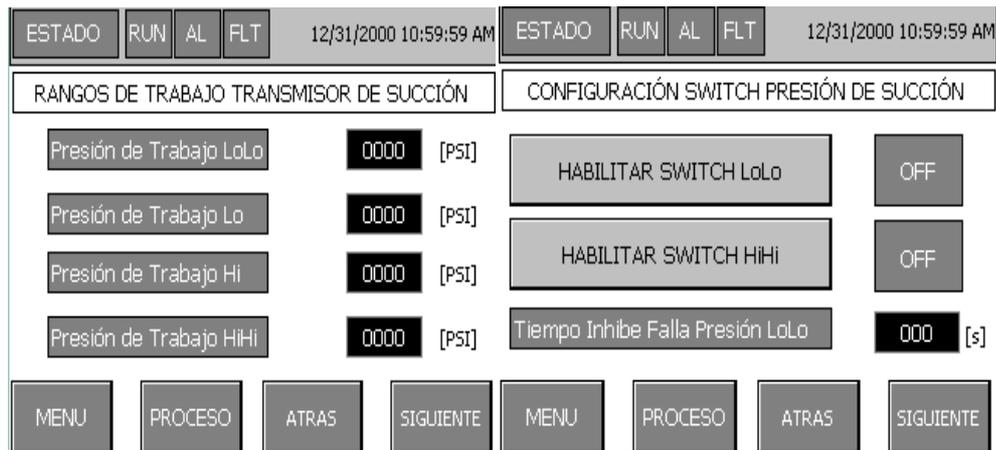


Figura 3.47 Configuración de parámetros para instrumentos.

El último paso para el control del VSD se muestra en la figura 3.48. Es la habilitación y el arranque desde la interfaz HMI, para lo cual se debe configurar la frecuencia de trabajo de la bomba y generar la habilitación. Ésta última permite activar un temporizador descendente, el cual es un permisivo del sistema para inhibir por el tiempo designado a los instrumentos en falla.



Figura 3.48 Configuración de arranque de VSD.

La función de este permisivo es romper la inercia mecánica del motor y obtener presión de trabajo en las tuberías de las líneas.

Para cumplir las condiciones de funcionamiento en las pantallas de monitoreo y gráficas, (figura 3.49), se muestran los datos del proceso y valores entregados por los instrumentos análogos. A partir de este punto los datos también son entregados a la estación remota. Esta visualización es de ayuda para el personal de producción y mantenimiento para evaluar el comportamiento del VSD.

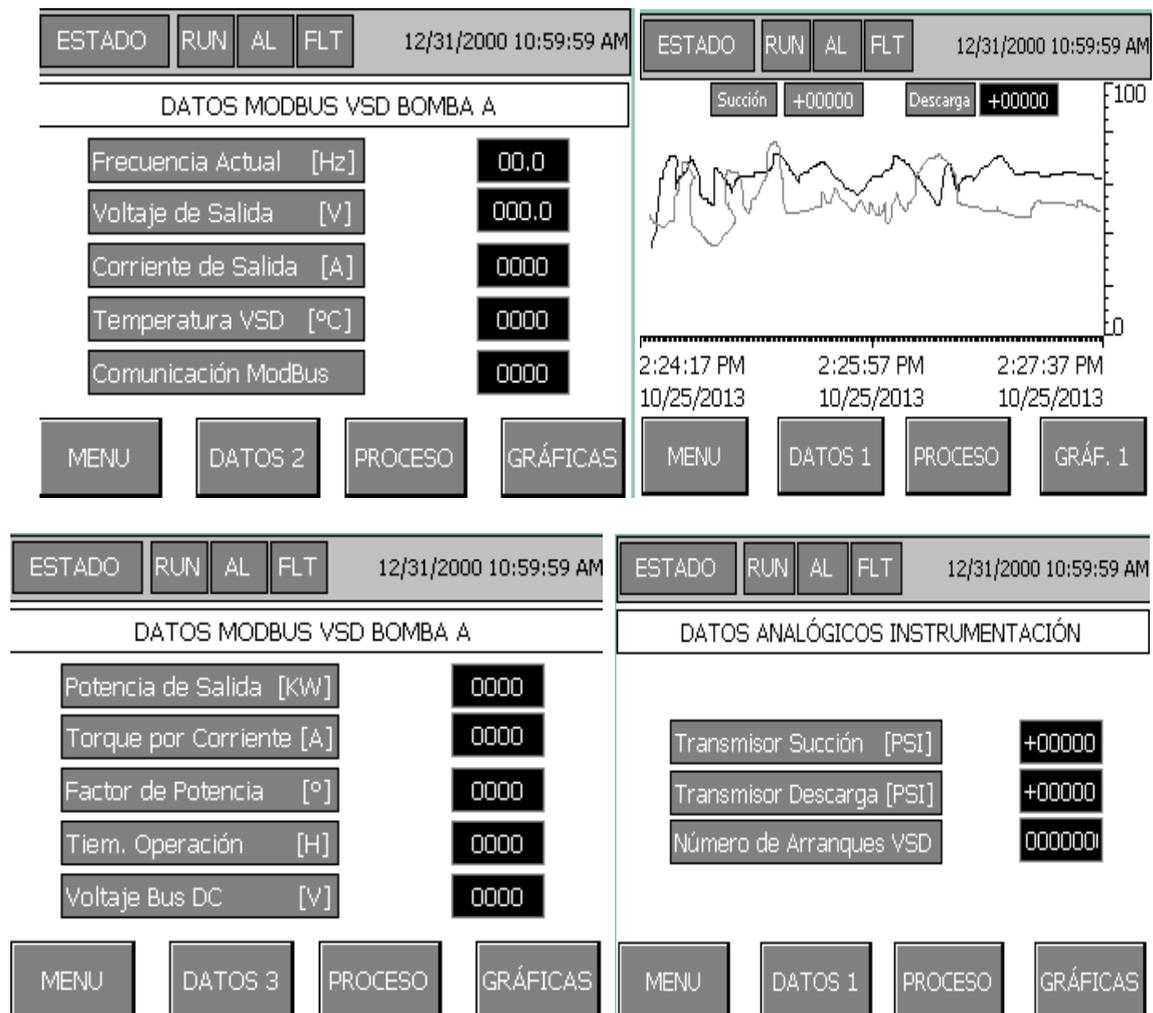


Figura 3.49 Pantallas de proceso para datos y gráficas.

### 3.5 Pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema prototipo en condiciones normales y críticas

A continuación se detalla las pruebas realizadas al sistema prototipo:

#### 3.5.1 Enlace del Sistema

Para el desarrollo del enlace del sistema se detalla tres componentes utilizadas en las pruebas:

- Prototipo y simulador de señales de campo.
- Computadora con aplicación para simulación de estación central de control y monitoreo.
- VSD para pruebas en baja carga.

Se ha implementado una mesa de pruebas mostrada en la figura 3.50.

El sistema prototipo muestra fallas y alarmas, que están presentes porque aún no se han configurado parámetros del sistema.



Figura 3.50 Pruebas de funcionamiento.

Para condiciones seguras, se ha instalado un usuario y una contraseña en la configuración del proceso, ya que estos datos no pueden ser manipulados por cualquier persona, únicamente por operadores designados. En la figura 3.51 se muestra el ingreso de la contraseña.



Figura 3.51 Ingreso de contraseña.

Para cargar los valores para la simulación del proceso, aleatoriamente se han elegido datos con los cuales se pretende comprobar su funcionalidad; en el proceso los datos deben ser asignados de acuerdo a cada instrumento análogo y el operador del VSD debe asignar los tiempos para disparos de fallas.

En la figura 3.52 se muestra el registro de tiempos, los set points de entradas análogas, la habilitación y deshabilitación de sensores en una herramienta de ayuda, para si en algún momento se dañe cualquier instrumento pueda funcionar con los instrumentos de respaldo, de tal manera que no afecte la producción del VSD. Todas las configuraciones están distribuidas en 10 pantallas de visualización.

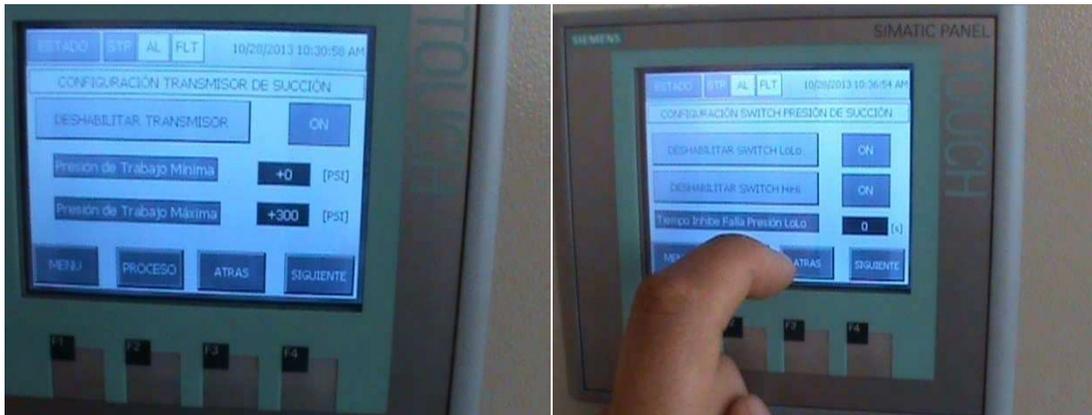


Figura 3.52 Configuración de parámetros.

### 3.5.2 Conectividad de Redes

En la pantalla de visualización datos 1 se puede evidenciar la conectividad de la red MODBUS, desde el PLC al VSD. La figura 3.53 muestra la intermitencia de leds del módulo serial y al lado derecho la pantalla HMI con la lectura de temperatura actual del VSD y el parámetro de comunicaciones en valor 1. Este último oscila entre 0 y 1 para comprobar la conectividad.



Figura 3. 53 Comunicación MODBUS establecida.

### 3.5.3 Revisión de Alarmas

Para la revisión de alarmas se puede observa en la pantalla de proceso con

animaciones o en la pantalla de alarmas con la descripción, la hora y fecha de la ocurrencia del evento. En la figura 3.54 se evidencia las alarmas existentes.



Figura 3.54 Alarmas y fallas presentes en prototipo.

### 3.5.4 Operación

Validadas las comunicaciones el sistema está listo para arrancar desde la interfaz HMI. Cumpliendo el ciclo del proceso se establece la frecuencia de trabajo, se habilita el sistema, se inhibe las fallas por el tiempo establecido en la configuración con el botón reset; esta condición se hace para romper la inercia mecánica del motor comandado por el VSD y obtener flujo y presión en las tuberías del proceso. En la figura 3.55 se muestra el ingreso de frecuencia y la activación del VSD.



Figura 3.55 Activación VSD.

### 3.5.5 Proceso

El arranque del VSD es desarrollado con éxito, se registra la velocidad establecida. Para optimizar el funcionamiento los valores de los transductores de presión son manipulados para graficar la existencia de presión en el sistema.

En las figuras 3.56 y 3.57 se muestra el proceso de funcionamiento.

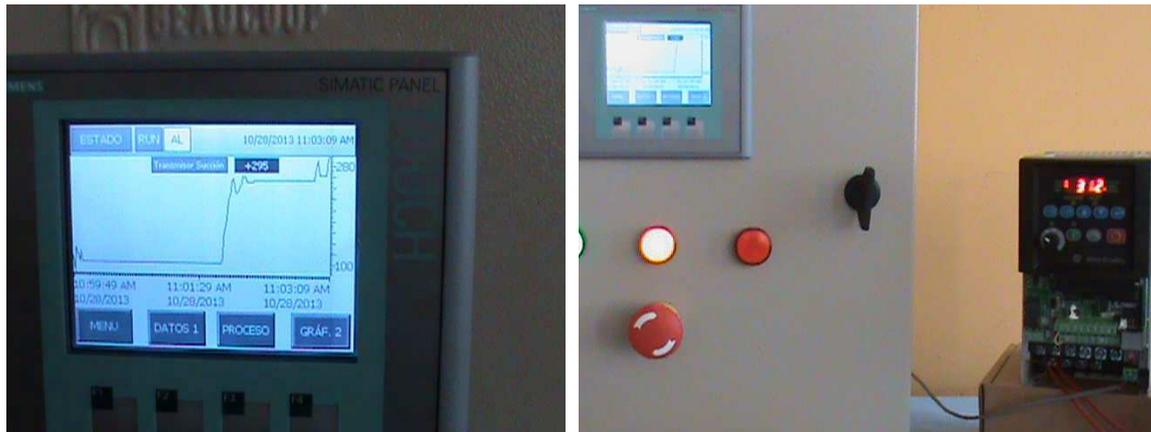


Figura 3.56 Gráfica de transductores y arranque VSD.



Figura 3.57 Registro de datos prototipo y VSD.

### 3.5.6 Datos de simulación en estación remota

En la figura 3.58 se muestra los datos en la pantalla de la estación remota, registrando valores que describen la operación del sistema logrando el

funcionamiento completo del prototipo.

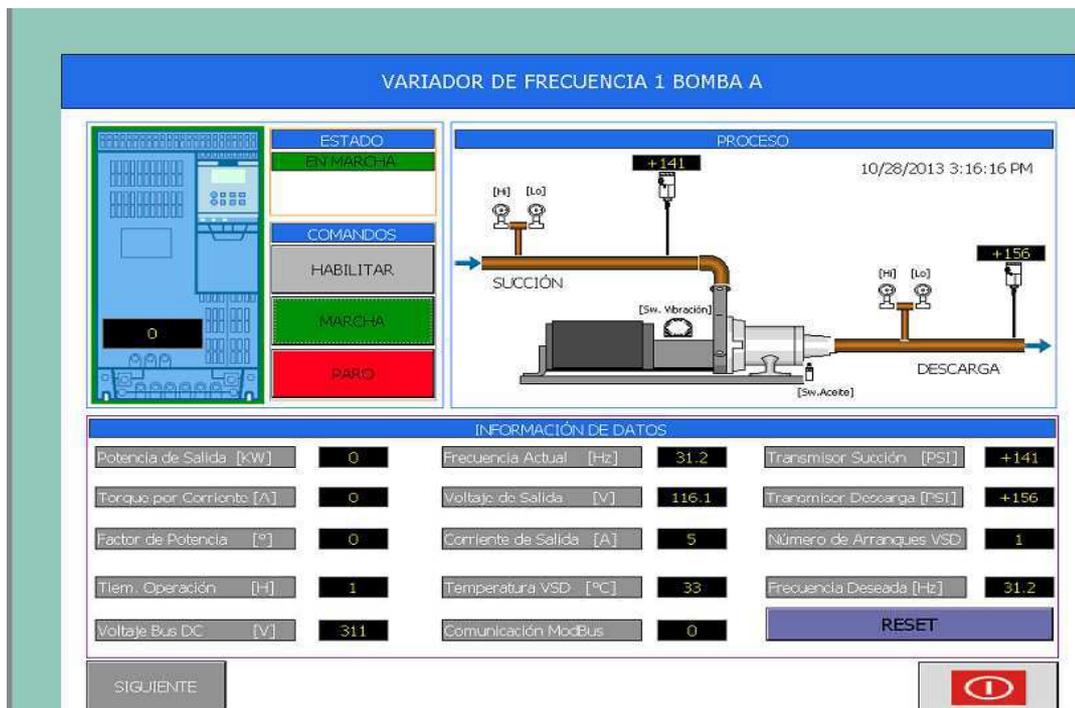


Figura 3.58 Registro de datos desde prototipo.

### 3.5.7 Resultados obtenidos de la simulación en baja carga

De las pruebas realizadas se ha tomado cuatro variables de monitoreo para describir el comportamiento del VSD en función del tiempo. Las variables tomadas son:

- Frecuencia de trabajo.
- Voltaje de salida.
- Corriente de salida.
- Temperatura del equipo.

En las pruebas realizadas al VSD se ingresó valores de frecuencia mediante la interfaz HMI. Los valores tabulados en la tabla 3.4 son una muestra de la serie de datos obtenidos en las pruebas realizadas al sistema prototipo.

Datos	Tiempo [min]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]	Frecuencia [Hz]
1	0	0	0	26	0
2	1	5	46.6	26	12.5
3	2	5	47.3	26	12.7
4	3	5	48.4	26	13
5	4	5	49.2	25	13.2
6	5	5	54.7	25	14.7
7	10	5	55.1	25	14.8
8	12	6	55.9	25	15
9	14	6	55.9	24	15
10	16	6	58.1	24	15.6
11	18	5	58.5	24	15.7
12	20	5	63.3	24	17
13	23	5	67.1	24	18
14	26	5	70.8	24	19
15	29	5	74.4	24	20
16	30	5	85.6	24	23
17	35	5	89.3	24	24
18	38	6	91.2	24	24.5
19	40	5	100.4	24	27
20	41	6	111.5	24	30
21	42	6	113.5	24	30.5
22	43	6	115.4	24	31
23	44	5	137.6	24	37
24	45	5	138	24	37.1
25	48	5	148.7	24	40
26	53	5	150	24	40.3
27	55	5	151.4	24	40.7
28	57	5	152.6	24	41
29	59	5	159.9	24	43
30	60	5	174.7	24	47
31	65	5	186	24	50
32	67	5	223.3	24	60
33	70	5	223.3	24	60
34	70.5	5	223.3	24	60
35	74	0	0	24	0

Tabla 3.4 Datos tabulados de pruebas realizadas.

### 3.5.8 Pruebas finales de aceptación de ensamble del prototipo

Culminada las pruebas internas y tabulados los datos de operación obtenidos, el prototipo es sometido a pruebas finales de aceptación de ensamble. Estas pruebas finales se las realiza mediante un listado descriptivo de acciones, conexiones y verificaciones que contiene el prototipo. Con esto se garantiza el óptimo funcionamiento para que pueda ser instalado en el campo.

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE ENSAMBLE	
<b>PROYECTO:</b> PROTOTIPO PARA SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO.	
<b>TITULO:</b> PUEBAS DE ENTRADAS - SALIDAS DE PLC Y DATOS EN HMI.	

PLC S7-1200						
DESCRIPCIÓN:		Módulo de entradas digitales slot 0				
BORNERA	TAG	DESCRIPCIÓN	CONEXIONES		VERIFICACIONES	
			INTERNAS	SEÑAL	HARDWARE	SOFTWARE
1	I0:00	PARO DE EMERGENCIA PANEL PROTOTIPO ESD	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
2	I0:01	PARO DE EMERGENCIA REMOTO ESD	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
3	I0:02	SWITCH SEGURIDAD PRESIÓN SUCCIÓN BAJA BAJA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
4	I0:03	SWITCH SEGURIDAD PRESIÓN SUCCIÓN ALTA ALTA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
5	I0:04	SWITCH SEGURIDAD PRESIÓN DESCARGA BAJA BAA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
6	I0:05	SWITCH SEGURIDAD PRESIÓN DESCARGA ALTA ALTA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
7	I0:06	SWITCH DE SEGURIDAD VIBRACIÓN BOMBA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo
8	I0:07	SWITCH DE SEGURIDAD NIVEL BAJO DE ACEITE BOMBA	OK	DI- N.A	Operativo	Operativo

PLC S7-1200						
DESCRIPCIÓN:		Módulo de salidas digitales slot 0				
BORNERA	TAG	DESCRIPCIÓN	CONEXIONES		VERIFICACIONES	
			INTERNAS	OPERACION	HARDWARE	SOFTWARE
1	O0:00	LUZ PARA ESTADO VSD ACTIVADO	OK	DO - ACTIVADO	Operativo	Operativo
2	O0:01	LUZ ESTADO DE ALARMAS PROCESO	OK	DO - ACTIVADO	Operativo	Operativo
3	O0:02	LUZ ESTADO DE FALLAS PROCESO	OK	DO - ACTIVADO	Operativo	Operativo
4	O0:03	ALARMA SONORA	OK	DO - ACTIVADO	Operativo	Operativo
5	O0:04	HABILITACIÓN	OK	DO - ACTIVADO	Operativo	Operativo
6	O0:05	RESERVA	OK	NO APLICA	Operativo	Operativo

PLC S7-1200						
DESCRIPCIÓN:		Módulo de entradas análogas slot 0				
BORNERA	TAG	DESCRIPCIÓN	CONEXIONES		VERIFICACIONES	
			INTERNAS	SEÑAL	HARDWARE	SOFTWARE
1	I0:00(+)	TRANSDUCTOR PRESIÓN DE SUCCIÓN	OK	AI- 0-10 V	Operativo	Operativo
2	I0:01(+)	TRANSDUCTOR PRESIÓN DE DESCARGA	OK	AI- 0-10 V	Operativo	Operativo

MHI KTP-400						
DESCRIPCIÓN:		Pantallas de operación de proceso				
ÍTEM	TAG	DESCRIPCIÓN	CONEXIONES		VERIFICACIONES	
			ANIMACIONES	ACCIÓN	HARDWARE	SOFTWARE
1	M1	PANTALLA PRINCIPAL DE LA APLICACIÓN	OK	Si permite navegar	Operativo	Operativo
2	C1	PANTALLA DE CONTROL DE VSD	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
3	P1	PANTALLA DE PROCESO	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
4	CF1	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
5	CF2	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
6	CF3	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
7	CF4	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
8	CF5	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
9	CF6	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
10	CF7	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo

MHI KTP-400						
DESCRIPCIÓN:		Pantallas de operación de proceso				
ÍTEM	TAG	DESCRIPCIÓN	CONEXIONES		VERIFICACIONES	
			ANIMACIONES	ACCIÓN	HARDWARE	SOFTWARE
11	CF8	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
12	CF9	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
13	CF10	PANTALLA DE CONFIGURACIÓN	OK	Ingreso/Lectura valores	Operativo	Operativo
14	GR1	PANTALLA DE GRÁFICA PRESIÓN SUCCIÓN	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
15	GR2	PANTALLA DE GRÁFICAS PRESIÓN DESCARGA	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
16	GR3	PANTALLA DE GRÁFICAS PRESIÓN SUCCIÓN - DESCARGA	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
17	DT1	PANTALLA DATOS PROCESO	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
18	DT2	PANTALLA DE DATOS PROCESO	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
19	DT3	PANTALLA DE DATOS PROCESO	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo
20	AL	PANTALLA VISUALIZACIÓN ALARMAS	OK	Lectura de valores	Operativo	Operativo

Tabla 3.5 Lista de pruebas de aceptación de ensamble.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y COSTOS

#### 4.1 Análisis de Resultados

El comportamiento del VSD se representa en cuatro gráficos utilizando los datos de la muestra tabulada de la tabla 3.4.

La gráfica de la figura 4.1 describe varios puntos de operación, con pendientes positivas y al final de la función una pendiente negativa por la acción de un paro de proceso forzado, pulsando los switch de seguridad de alta presión. La respuesta a los cambios ingresados y la estabilización de los datos en el VSD son menores a 2 segundos, validando un buen rendimiento en la comunicación MODBUS.

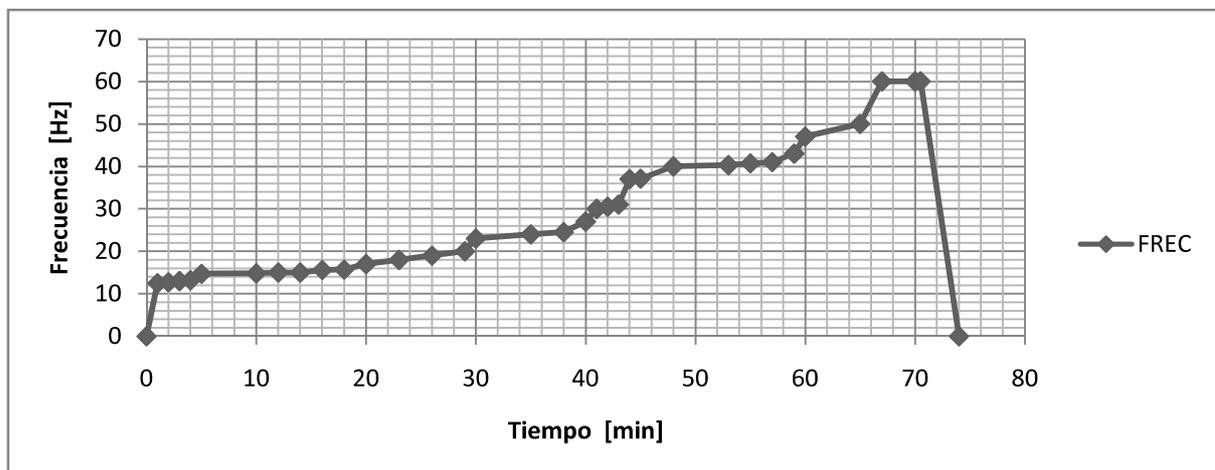


Figura 4.1 Gráfica Frecuencia vs. Tiempo de VSD.

El gráfico de la figura 4.2, describe una función con varios puntos de operación de pendientes positivas y además entre intervalos de tiempo existen etapas

contantes. La corriente de salida depende del voltaje de salida que suministra el VSD al motor. Esta información puede variar si la carga es mayor.

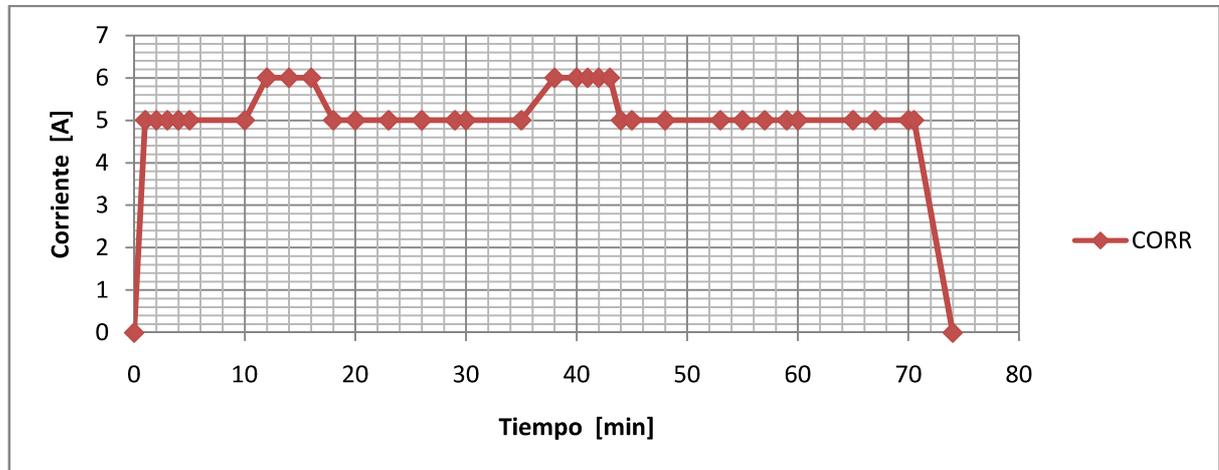


Figura 4.2 Gráfica Corriente de salida vs. Tiempo de VSD.

El gráfico de la figura 4.3 muestra a la función Voltaje de salida vs Tiempo. Este parámetro varía en función de la frecuencia ingresada desde el HMI y existe una similitud con la gráfica de la frecuencia, de ahí el principio de funcionamiento del VSD, el cual es, la velocidad de funcionamiento de un motor A.C. controlado por VSD, varía en función del factor de corrección de la onda sinusoidal del voltaje.

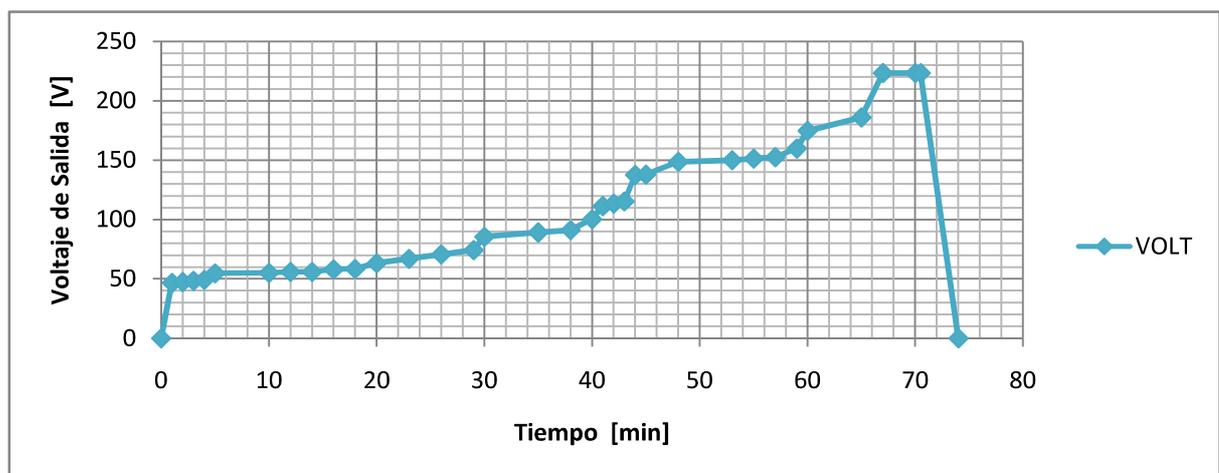


Figura 4.3 Gráfica Voltaje de salida vs. Tiempo de VSD.

En la gráfica de la figura 4.4 se muestra el último parámetro, la temperatura del VSD. Este valor es muy importante en el proceso de operación. La temperatura de trabajo informa el comportamiento de los filtros capacitivos internos del VSD, junto a las horas de encendido y el número de arranques del equipo.

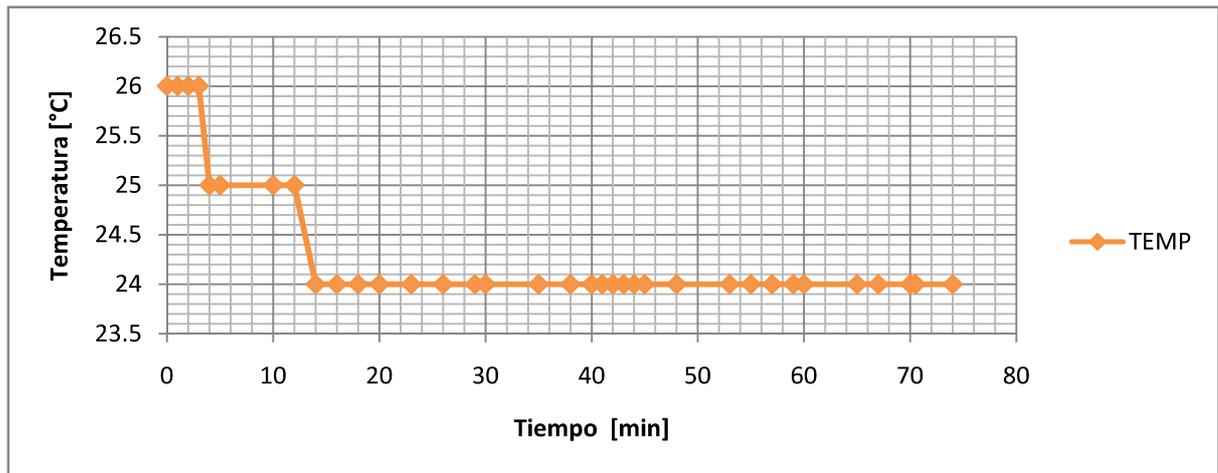


Figura 4.4 Gráfica Temperatura vs. Tiempo de VSD.

## 4.2 Matriz FODA

F	O
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Está implementado con equipos de calidad para procesos industriales.</li> <li>• Desarrollo mecánico y montaje con mano de obra local, bajo costo.</li> <li>• Prototipo pequeño, buena presentación interna-externa, fácil de transportar, duradero, cómodo para labores en mantenimiento.</li> <li>• Cumple normativa industrial de la estructura interna y externa.</li> <li>• Permite maniobras ergonómicas para comandos de VSD.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototipo con posibilidad de expansión en puertos de comunicación y I/O para procesos de mayor demanda en instrumentos.</li> <li>• Flexibilidad en ampliación de variables de monitoreo.</li> <li>• Repuesta inmediata para repuestos y accesorios de reemplazo.</li> <li>• Industria ecuatoriana que requiere un prototipo de este tipo para mejorar estrategias en mantenimiento.</li> <li>• Posibilidad de aumentar la producción para procesos en serie.</li> </ul>
D	A
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pantalla monocromática, en comparación con equipos internacionales que usan pantallas a color.</li> <li>• Falta de respaldo de energía en situaciones de corte de energía.</li> <li>• Falta de módulo inalámbrico para implementación de comunicación GPRS.</li> <li>• Acometidas de alimentación sin protección de energía regulada.</li> <li>• Falta de un sistema de seguridad mecánica en puerta para evitar manipulaciones no asignadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manipulación mecánica de prototipo por personal no autorizado para la operación.</li> <li>• Insectos, clima y falta de mantenimiento en las estaciones de operación.</li> <li>• Manipulación de aplicaciones PLC, HMI, con riesgo a plagio de programas.</li> <li>• Manipulación y contacto de pantalla HMI con herramientas.</li> <li>• Golpes producidos por la instalación del prototipo en campo.</li> </ul>

Figura 4.5 Matriz FODA de proyecto.

### 4.3 Costos del Proyecto

El costo detallado es de acuerdo a la lista de precios de venta al público.

#### 1.- Costos de equipos

Ítem	Cant.	Descripción	Código o número de parte	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Fuente 24Vdc @ 2.5A. Entrada 120VAC	6EP1332-1SH43	\$89.00	\$89.00
2	1	Switch industrial 5 puertos	6GK5005-0BA00-1AA3	\$275.00	\$275.00
3	1	Controlador lógico programable PLC	6ES7212-1BE31-0XB0	\$355.00	\$355.00
4	1	Módulo de expansión serial	6ES7241-CH31-0XB0	\$185.00	\$185.00
5	1	Pantalla táctil KTP-400	AV6647-0AA11-3AX0	\$379.05	\$379.05

<b>Costo total equipos</b>				<b>\$1,283.05</b>
----------------------------	--	--	--	-------------------

#### 2.- Costo de componentes

Ítem	Cant.	Descripción	Código o número de parte	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Luz piloto verde	XB4-BVB3	\$22.55	\$22.55
2	1	Luz piloto rojo	XB4-BVB4	\$22.55	\$22.55
3	1	Luz piloto amarillo	XB4-BVB5	\$22.55	\$22.55
4	14	Borneras portafusible	8WA1011-1SF12	\$5.35	\$74.90
5	17	Bornera de paso	8WA1011-1DG11	\$0.35	\$5.95
6	1	Bornera puesta a tierra eléctrica	8WA1011-GND	\$1.75	\$1.75
7	5	Marcación identificación de grupo	M12MX	\$1.50	\$7.50
8	5	Prisionero de sujeción	8AW1011-AEJ	\$1.32	\$6.60
9	1	Riel tipo DIN	DR1-1	\$5.25	\$5.25
10	2	Patch cord Cat. 5e.	1007954	\$6.70	\$13.40
11	1	Cable serial DB9	-	\$0.35	\$0.35
12	1	Pulsador tipo hongo	800TH-001	\$22.70	\$22.70
13	1	Gabinete metálico IP55 Dim: 400x400x200 (Al-An-Pr)	Beaucoup	\$45.01	\$45.01

<b>Costo total componentes</b>	<b>\$251.06</b>
--------------------------------	-----------------

## 3.- Costo de accesorios

Ítem	Cant.	Descripción	Código o número de parte	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Cables de interconexión y marcas	GLB	\$12.54	\$12.54
2	1	Placa de pruebas	GLB	\$33.40	\$33.40

<b>Costo total accesorios</b>	<b>\$45.94</b>
-------------------------------	----------------

## 4.- Costo de insumos

Ítem	Cant.	Descripción	Código o número de parte	Costo Unitario	Costo Total
1	1	Impresiones	GLB	\$45.00	\$12.54
2	1	Transporte	GLB	\$22.70	\$22.70
3	1	Material de consulta	GLB	\$15.00	\$45.01

<b>Costo total insumos</b>	<b>\$80.25</b>
----------------------------	----------------

<b>COSTO TOTAL DE PROTOTIPO</b>	<b>\$1,660.30</b>
---------------------------------	-------------------

Tabla 4.1 Costos del proyecto.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se diseñó y programó un prototipo de control y monitoreo, basado en un controlador lógico programable PLC e interfaz humano máquina HMI, para controlar y obtener de datos de equipos VSD, cuya información es disponible para ser monitoreada a través de una plataforma SCADA desde una estación central remota.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del control implantado en el prototipo, se concluye que el algoritmo desarrollado es de fácil operación y adecuado para aplicaciones en las cuales se requiere información del proceso. Sin necesidad de recurrir a la implementación de más instrumentación, la toma de datos manuales y sin pérdidas de tiempo en movilizaciones de operarios de mantenimiento.
- Se concluye la importancia de obtener un conocimiento técnico en base a estudios y análisis previo a la selección, dimensionamiento, pruebas de hardware y software para implementar equipos que ayudan en la optimización de procesos, generando disminución de costos en las matrices de producción.

- Se concluye sobre los beneficios que brinda la comunicación serial MODBUS, existente aún en equipos muy modernos como son los VSD. Por ser una red característicamente determinística, en la industria se genera todavía requerimientos sobre control y monitoreo de proceso utilizando este tipo de comunicación.
- Se concluye que se puede alcanzar una eficiencia para desarrollar sistemas prototipos industriales que demandan nuevos estándares de producción por medio de la utilización de sistemas supervisorios.

## 5.2 Recomendaciones

- Para la utilización del sistema se recomienda verificar que todos los instrumentos de campo y equipos del prototipo se encuentren encendidos y debidamente conectados sea en conexiones eléctricas o de comunicaciones. Un aspecto muy importante a considerar es que en el PLC se encuentre encendido y de color verde el led de status RUN para poder asignar valores de configuración desde la interfaz HMI.
- El mantenimiento preventivo es un punto importante a considerar en un proceso industrial. Las empresas desarrollan planes de revisión en los equipos de potencia y dan muy poco interés a equipos como son HMI y PLC. Se recomienda realizar una inspección y un mantenimiento periódico en software y hardware a estos equipos, para que operen en condiciones normales, sobre todo porque suelen afectarse en ambientes

húmedos, corrosivos e incluso por insectos que buscan alojarse dentro de los componentes electrónicos por el calor que generan los equipos.

- Para continuar con el proceso de la automatización es importante recomendar al cliente final, la importancia de realizar un historial eventos ocurridos por la operación de los VSD y así poder llegar a otra etapa como es la trazabilidad de los procesos.
- Para el comisionamiento de redes y señales de instrumentos de campo a conectarse dentro del prototipo se recomienda las pruebas SAT (pruebas de aceptación en sitio) para eliminar errores ajenos al proceso como pueden ser señales cruzadas o cables rotos en su estructura de cobre, puestas a tierra con voltajes flotantes, situaciones que son muy comunes en instalaciones nuevas y antiguas.

## BIBLIOGRAFÍA

GUERRERO, Vicente/MARTINEZ, Luis/YUSTE, Ramón. *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 1, [fecha de consulta: 5 Septiembre 2013]. Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>

MANDADO, Enrique, *Autómatas programables y Sistemas de Automatización*, Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 1, Pág. (3-88). Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

RODRIGUEZ, Aquilino, *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo, 2009. Capítulo 5 Pág. (263-274) y Capítulo 6 Pág. (363-366). Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

SNOW, Dennis. *Plant Engineer's Reference Book*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2002. Capítulo 25, Pág. (14). Disponible en: <http://books.google.com.ec/books>.

## BIBLIOGRAFÍA WEB

“KTP-400”, compárese: *Support Automation Siemens*. Disponible en: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=es&objid=6AV66470AK113AX0&caller=view>.

“MODBUS”, compárese: *MODBUS Application Protocol Specification*. Disponible en: <http://www.modbus.org>.

“Micrologix 1100”, compárese: Rockwell Software. Disponible en: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1763-in001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1763-in001_-en-p.pdf).

“Multifunction electrical meter”, compárese: *ETON IQ250-260*. Disponible en: <http://www.eton.com>.

“PV300”, compárese: *Rockwell Automation*. Disponible en: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-um014\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-um014_-es-p.pdf).

“S7-1200”, compárese: *SIEMENS SCE*. Disponible en: [www.siemens.com/sce](http://www.siemens.com/sce).

“S7-1200”, compárese: *Support Automation Siemens*. Disponible en: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/34143557?func=cslib.csinfo&objId=34143557&objAction=csView&nodeid0=41886031&lang=es&siteid=cseus&aktprim=0&extranet=standard&viewreg=WW&load=treecontent&meilenstein=ALLE>.

“TWIDO”, compárese: *Schneider Electric*. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/533-programmable-controller-twido>.

“VFD”, compárese: *Joliet Technologies*. Disponible en: [http://www.joliettech.com/what\\_is\\_a\\_variable\\_frequency\\_drive.htm](http://www.joliettech.com/what_is_a_variable_frequency_drive.htm).

“VFD”, compárese: *Joliet Technologies*. Disponible en: [http://www.joliettech.com/what\\_is\\_a\\_variable\\_frequency\\_drive-how\\_vfd\\_works.htm](http://www.joliettech.com/what_is_a_variable_frequency_drive-how_vfd_works.htm).

“TWIDO”, compárese: *Schneider Electric*. Disponible en: <http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3900-pac-plc-other-controllers/3920-controllers-plc-for-commercial-machines/533-programmable-controller-twido>.

# ANEXOS

# **Programa**

# **PLC S7-120**

# **PLANOS ELÉCTRICOS**

Test\_MMB\_5

1

2

3

4

A

# Table of contents

Main [OB1]	3 - 1
------------	-------

B

C

D

E

F

Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	1st View	Version
		Sheet 2 - 1

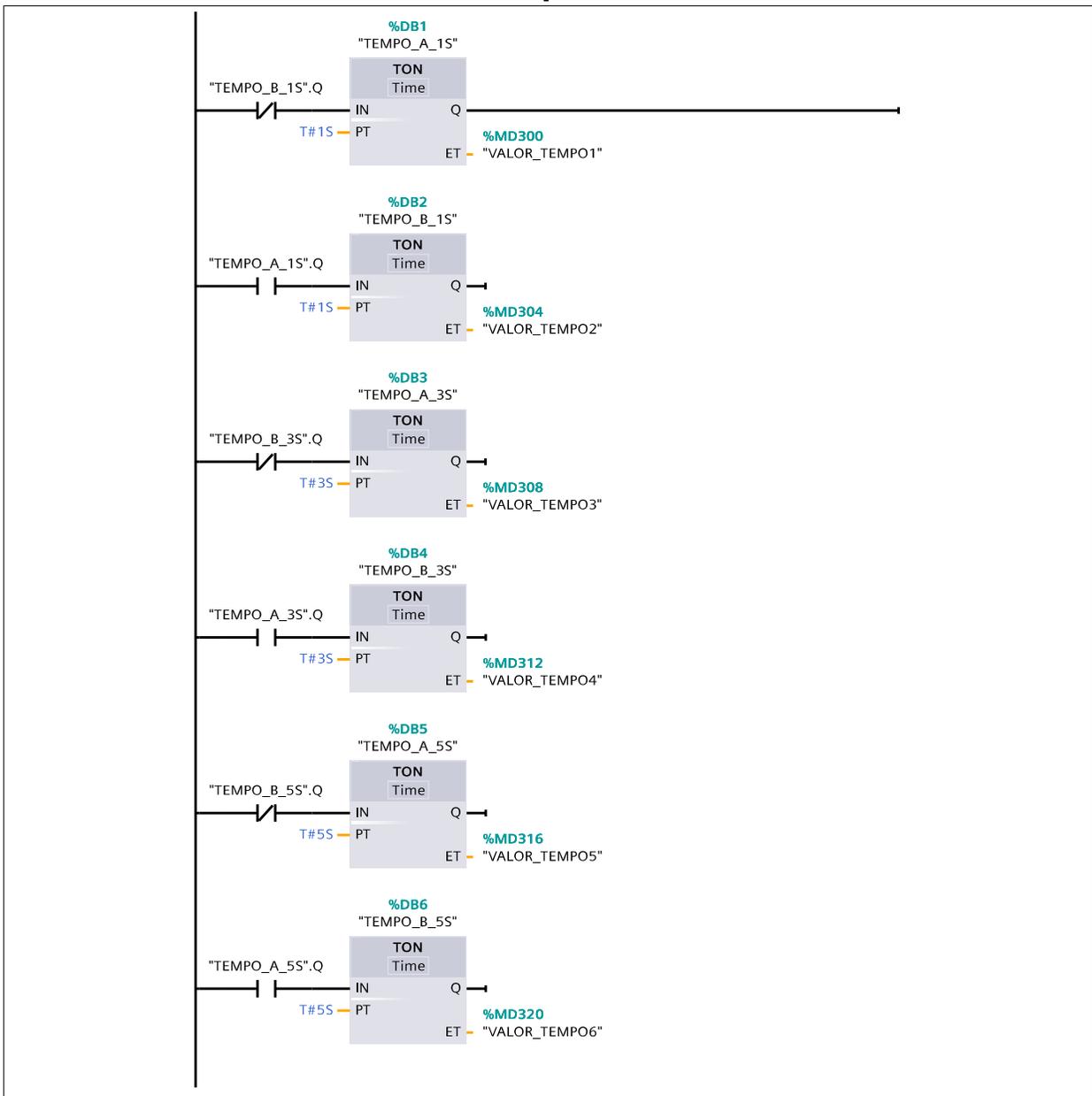
**Main [OB1]**

Main Properties			
General			
Name	Main	Number	1
Type	OB.ProgramCycle	Language	LAD
Information			
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	
Name	Data type	Offset	Comment
Temp			

**Network 1: GENERACION ONDAS CUADRADAS**

FUNCIONES CUADRADAS DE 1SEG, 3SEG, 5SEG.

Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
Checked By	1st View	Version	Sheet 3 - 1
Approved By			

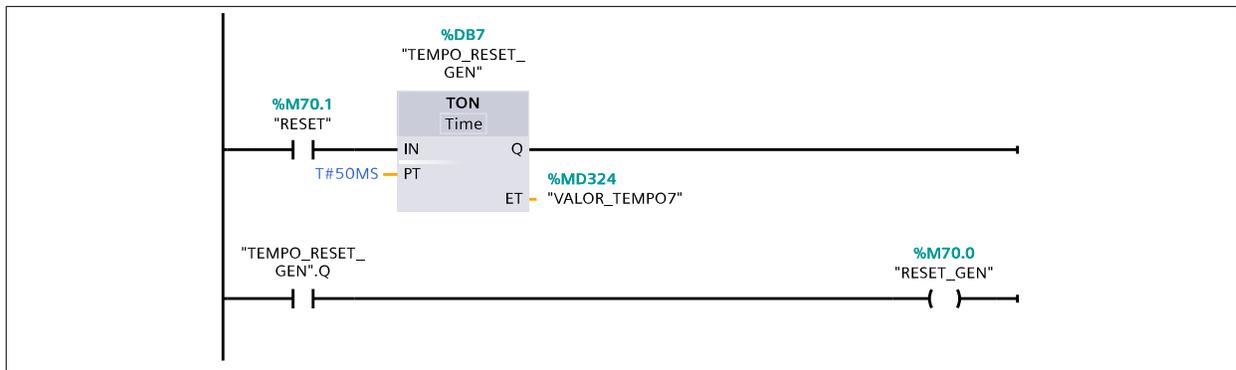


Symbol	Address	Type	Comment
"TEMPO_A_1S"	%DB1	IEC_Timer	
T#1S	T#1S	Time	
"TEMPO_B_1S"	%DB2	IEC_Timer	
"TEMPO_B_1S".Q		Bool	
"VALOR_TEMPO1"	%MD300	Time	T1 A 1SEG
"TEMPO_A_3S"	%DB3	IEC_Timer	
"TEMPO_A_3S".Q		Bool	
T#3S	T#3S	Time	
"VALOR_TEMPO2"	%MD304	Time	T2 B 1SEG

Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
	Checked By	1st View	Version
Approved By			Sheet 3 - 2

Symbol	Address	Type	Comment
"TEMPO_A_1S"	%DB1	IEC_Timer	
"TEMPO_A_1S".Q		Bool	
"VALOR_TEMPO3"	%MD308	Time	T3 A 3SEG
"VALOR_TEMPO4"	%MD312	Time	T4 B 3SEG
"TEMPO_B_5S"	%DB6	IEC_Timer	
T#5S	T#5S	Time	
"TEMPO_B_5S"	%DB6	IEC_Timer	
"TEMPO_A_5S"	%DB5	IEC_Timer	
"TEMPO_A_5S".Q		Bool	
"VALOR_TEMPO5"	%MD316	Time	T5 A 5SEG
"TEMPO_B_1S"	%DB2	IEC_Timer	
"TEMPO_A_3S"	%DB3	IEC_Timer	
"TEMPO_B_3S"	%DB4	IEC_Timer	
"TEMPO_B_3S"	%DB4	IEC_Timer	
"TEMPO_B_3S".Q		Bool	
"TEMPO_A_5S"	%DB5	IEC_Timer	
"VALOR_TEMPO6"	%MD320	Time	T6 B 5SEG

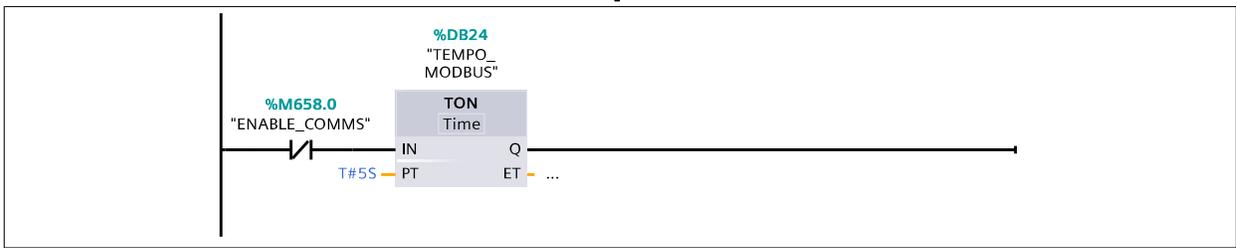
### Network 2: GENERACION RESET



Symbol	Address	Type	Comment
"TEMPO_RESET_GEN"	%DB7	IEC_Timer	
"VALOR_TEMPO7"	%MD324	Time	T7 RESET
"RESET"	%M70.1	Bool	RESET HMI
T#50MS	T#50MS	Time	
"RESET_GEN"	%M70.0	Bool	RESET SISTEMA
"TEMPO_RESET_GEN"	%DB7	IEC_Timer	
"TEMPO_RESET_GEN".Q		Bool	

### Network 3: TIEMPO ACTIVACION COMUNICACION MODBUS

Owner	Project name	Test_MMB_5	Date	10/25/2013
Operator	Project Path	D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st			
Approved By	Description 2nd	Language	en-US	
	1st View	Version	Sheet 3 - 3	



Symbol	Address	Type	Comment
T#5S	T#5S	Time	
"TEMPO_MODBUS"	%DB24	IEC_Timer	
"ENABLE_COMMS"	%M658.0	Bool	

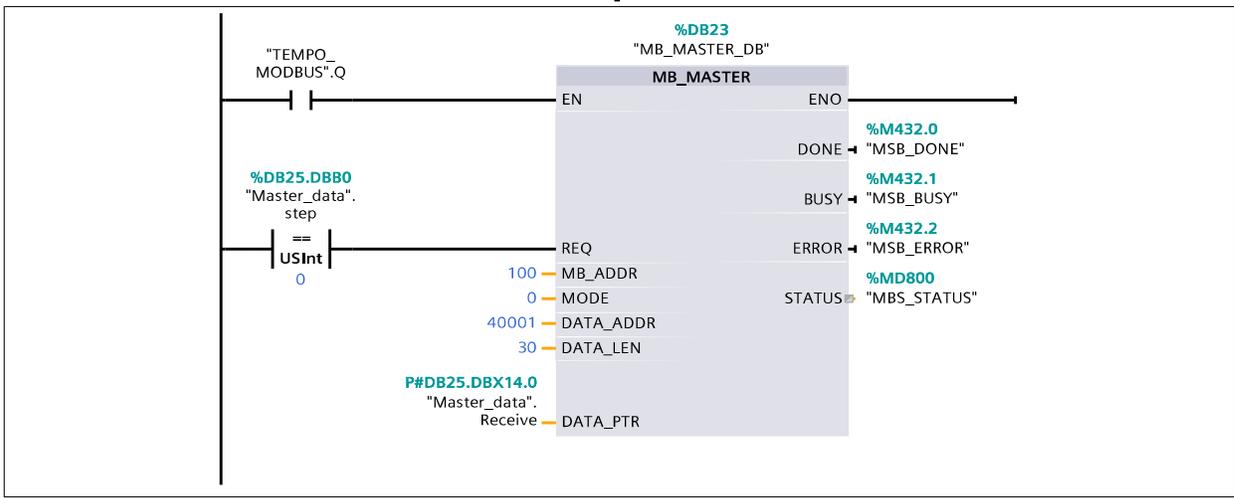
**Network 4: LLAMADO A SUBROUTINAS DE PROCESO**



Symbol	Address	Type	Comment
"L_IMG"	%FC1	Block_FC	
"O_IMG"	%FC2	Block_FC	
"IA_SCL_FLT"	%FC3	Block_FC	
"ID_FLT"	%FC4	Block_FC	

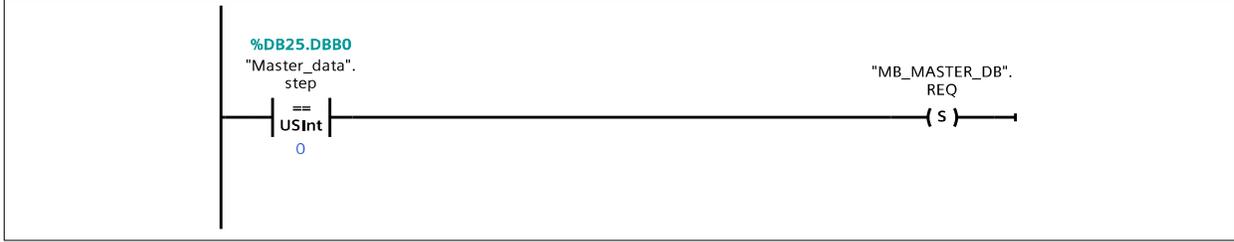
**Network 5: LECTURA DATOS MODBUS**

Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
Checked By	1st View	Version	Sheet 3 - 4



Symbol	Address	Type	Comment
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
100	100	UInt	
0	0	USInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
"Master_data".Receive	P#DB25.DBX14.0	Array	
"MSB_DONE"	%M432.0	Bool	
"MSB_BUSY"	%M432.1	Bool	
"MSB_ERROR"	%M432.2	Bool	
"MBS_STATUS"	%MD800	DWord	
"Master_data".step	%DB25.DB80	USInt	
"TEMPO_MODBUS"	%DB24	IEC_Timer	
"TEMPO_MODBUS".Q		Bool	
40001	40001	UDInt	
30	30	UInt	

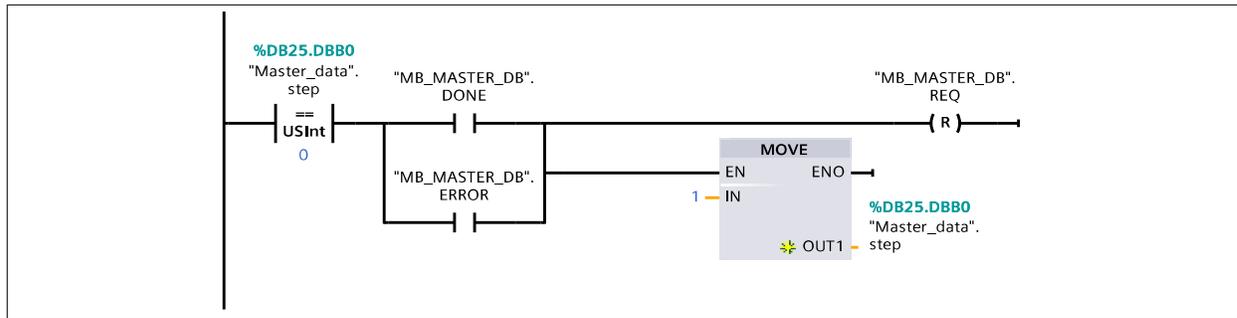
**Network 6: CICLO DE LECTURA DE DATOS MODBUS**



Symbol	Address	Type	Comment
0	0	USInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
"Master_data".step	%DB25.DB80	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request

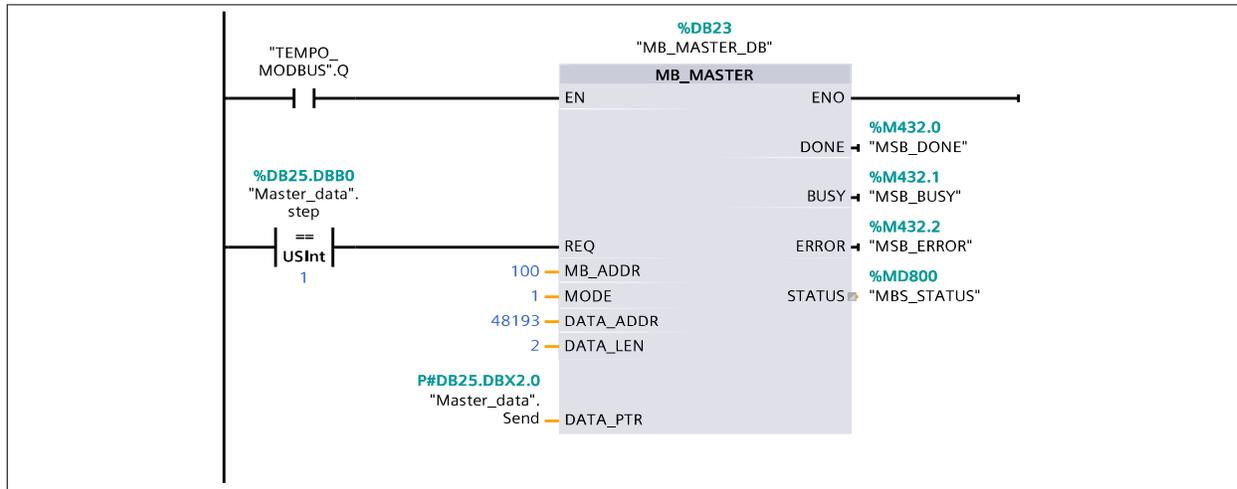
Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
Checked By	1st View	Version	Sheet 3 - 5

## Network 7: CICLO RESET DE LECTURA DE DATOS MODBUS



Symbol	Address	Type	Comment
0	0	USInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
1	1	USInt	
"Master_data".step	%DB25.DBB0	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request
"MB_MASTER_DB".DONE		Bool	Boolean indicating completion without error
"MB_MASTER_DB".ERROR		Bool	Boolean indicating completion with error

## Network 8: ESCRITURA DATOS MODBUS

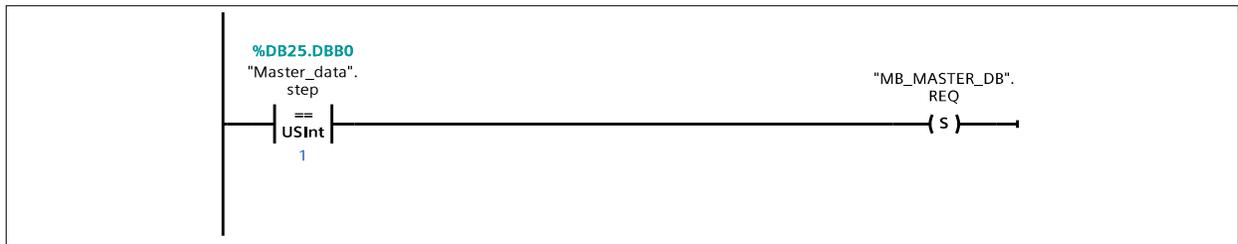


Symbol	Address	Type	Comment
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
100	100	UInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	

Owner	Project name	Test_MMB_5	Date	10/25/2013
Operator	Project Path	D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st			
Approved By	Description 2nd	Language	en-US	
	1st View	Version	Sheet 3 - 6	

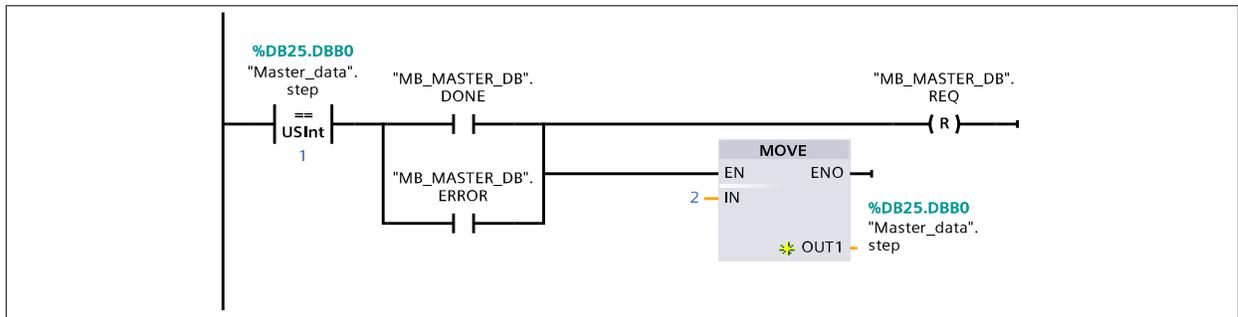
Symbol	Address	Type	Comment
"MSB_DONE"	%M432.0	Bool	
"MSB_BUSY"	%M432.1	Bool	
"MSB_ERROR"	%M432.2	Bool	
"MBS_STATUS"	%MD800	DWord	
1	1	USInt	
"Master_data".Send	P#DB25.DBX2.0	Array	
2	2	UInt	
"Master_data".step	%DB25.DBBO	USInt	
48193	48193	UDInt	
"TEMPO_MODBUS"	%DB24	IEC_Timer	
"TEMPO_MODBUS".Q		Bool	

### Network 9: CICLO DE ESCRITURA DE DATOS MODBUS



Symbol	Address	Type	Comment
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
1	1	USInt	
"Master_data".step	%DB25.DBBO	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request

### Network 10: CICLO RESET DE ESCRITURA DE DATOS MODBUS

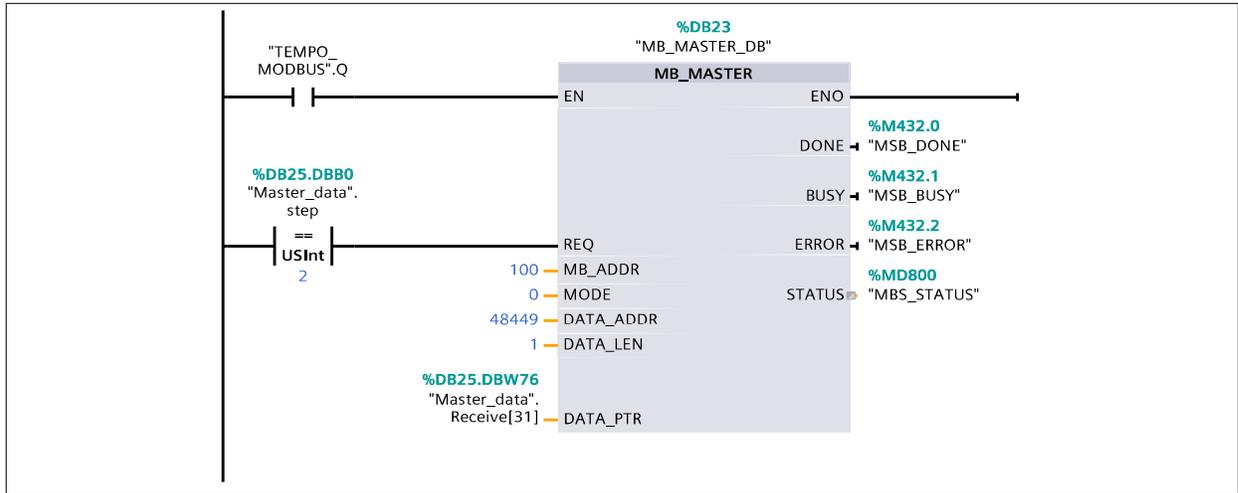


Symbol	Address	Type	Comment
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
1	1	USInt	
"Master_data".step	%DB25.DBBO	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	

Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	Description 2nd	Version
	1st View	Sheet 3 - 7

Symbol	Address	Type	Comment
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request
"MB_MASTER_DB".DONE		Bool	Boolean indicating completion without error
"MB_MASTER_DB".ERROR		Bool	Boolean indicating completion with error
2	2	USInt	

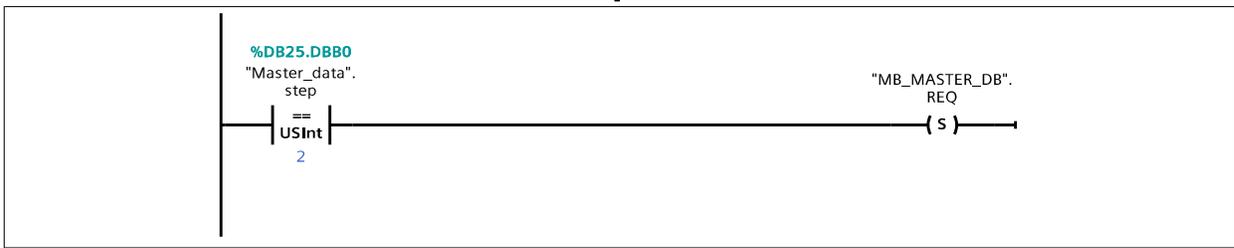
### Network 11: ESCRITURA ESTATUS MODBUS



Symbol	Address	Type	Comment
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
100	100	UInt	
0	0	USInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
"MSB_DONE"	%M432.0	Bool	
"MSB_BUSY"	%M432.1	Bool	
"MSB_ERROR"	%M432.2	Bool	
"MBS_STATUS"	%MD800	DWord	
"Master_data".step	%DB25.DBW0	USInt	
"TEMPO_MODBUS"	%DB24	IEC_Timer	
"TEMPO_MODBUS".Q		Bool	
2	2	USInt	
48449	48449	UDInt	
1	1	UInt	
31	31	Int	
"Master_data".Receive[31]	%DB25.DBW76	Int	

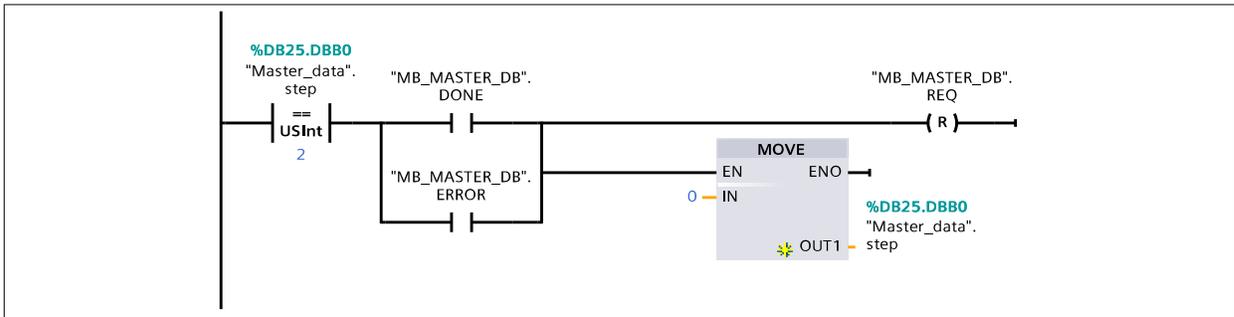
### Network 12: CICLO DE ESTATUS DE DATOS MODBUS

Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	1st View	Version
		Sheet 3 - 8



Symbol	Address	Type	Comment
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
"Master_data".step	%DB25.DBB0	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request
2	2	USInt	

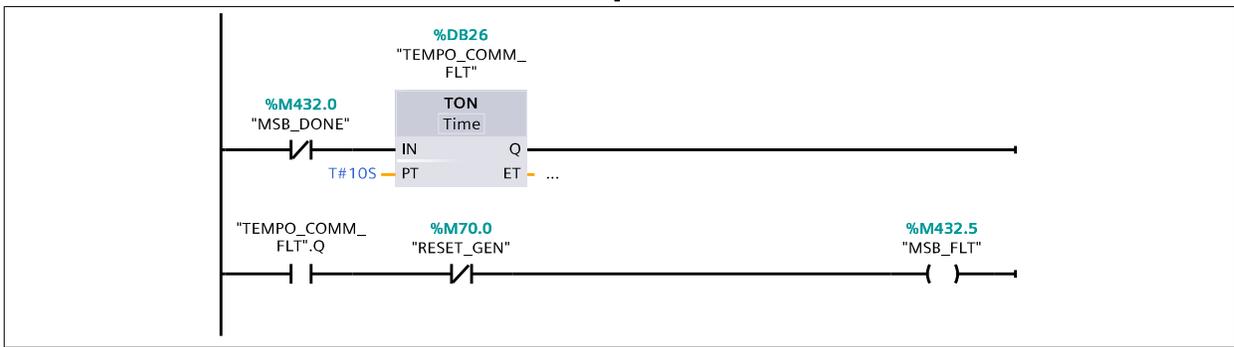
**Network 13: CICLO RESET DE ESTATUS DE DATOS MODBUS**



Symbol	Address	Type	Comment
0	0	USInt	
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
"Master_data".step	%DB25.DBB0	USInt	
"MB_MASTER_DB"	%DB23	Block_FB	
"MB_MASTER_DB".REQ		Bool	The enable to initiate a Modbus master request
"MB_MASTER_DB".DONE		Bool	Boolean indicating completion without error
"MB_MASTER_DB".ERROR		Bool	Boolean indicating completion with error
2	2	USInt	

**Network 14: TIEMPO APAGADO POR FALLA DE COMUNICACIONES**

Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
Checked By	1st View	Version	Sheet 3 - 9

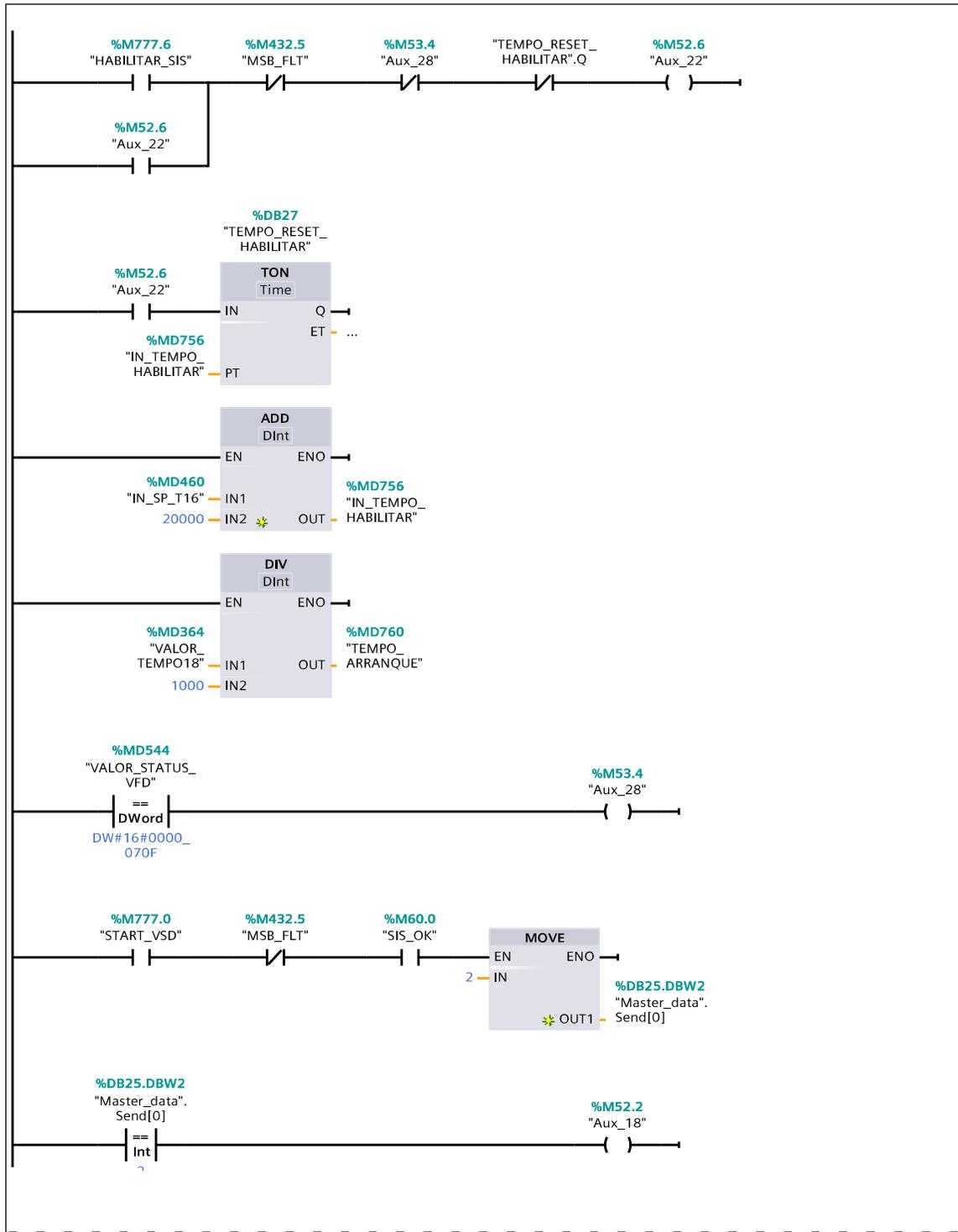


Symbol	Address	Type	Comment
"RESET_GEN"	%M70.0	Bool	RESET SISTEMA
"MSB_DONE"	%M432.0	Bool	
"TEMPO_COMM_FLT"	%DB26	IEC_Timer	
T#10S	T#10S	Time	
"TEMPO_COMM_FLT"	%DB26	IEC_Timer	
"TEM- PO_COMM_FLT".Q		Bool	
"MSB_FLT"	%M432.5	Bool	

**Network 15: ACTIVACION VSD**

Owner	Project name Test_MMB_5		Date 10/25/2013
	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location		
	Description 1st		
Designed By	Description 2nd		Language en-US
Checked By	1st View	Version	Sheet 3 - 10

Network 15: ACTIVACION VSD (1.1 / 2.1)

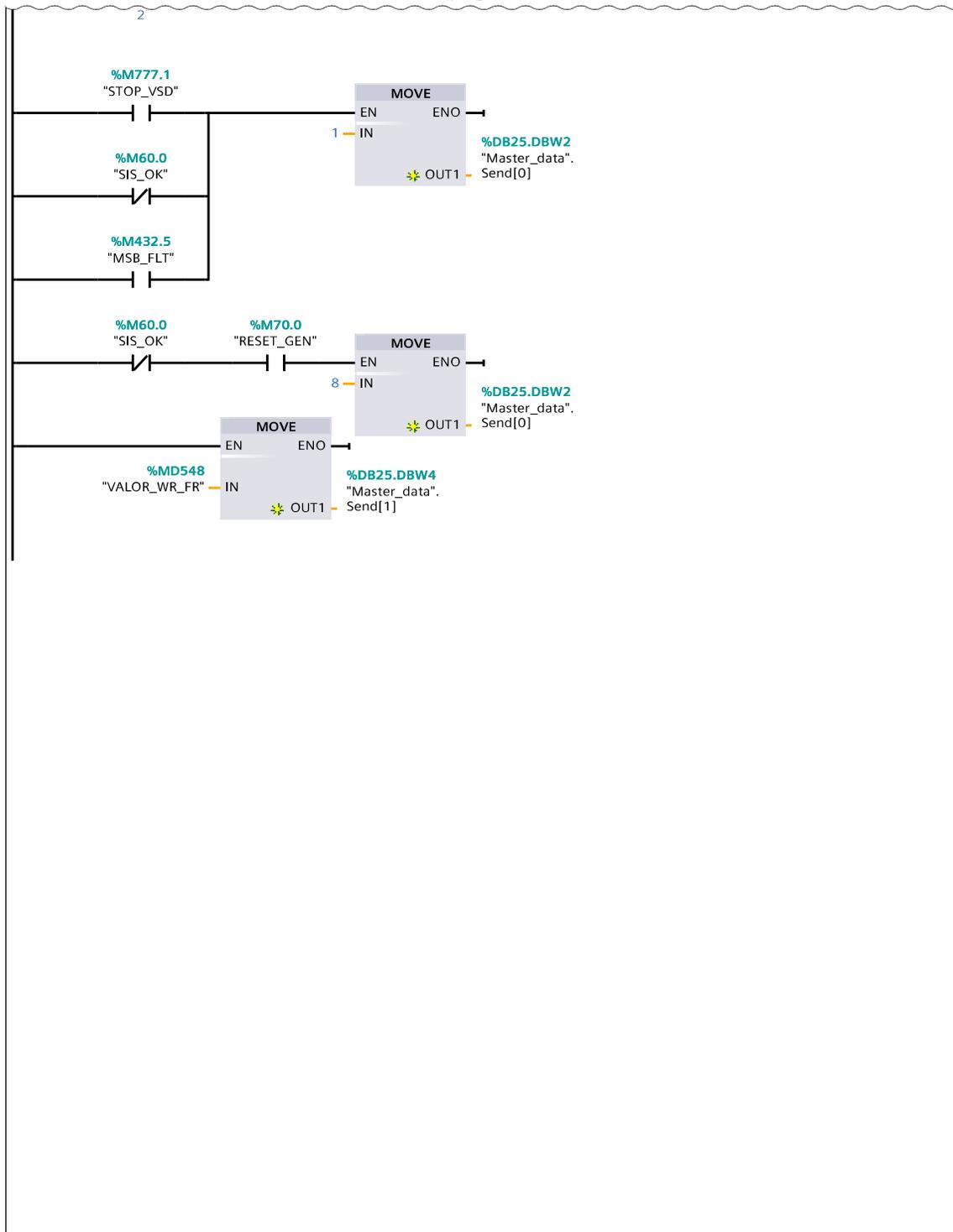


2.1 ( page 3 - 12)

Owner	Project name	Test_MMB_5	Date	10/25/2013
	Project Path	D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Operator	Location			
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 3 - 11	

Network 15: ACTIVACION VSD (2.1 / 2.1)

1.1 ( page 3 - 11)



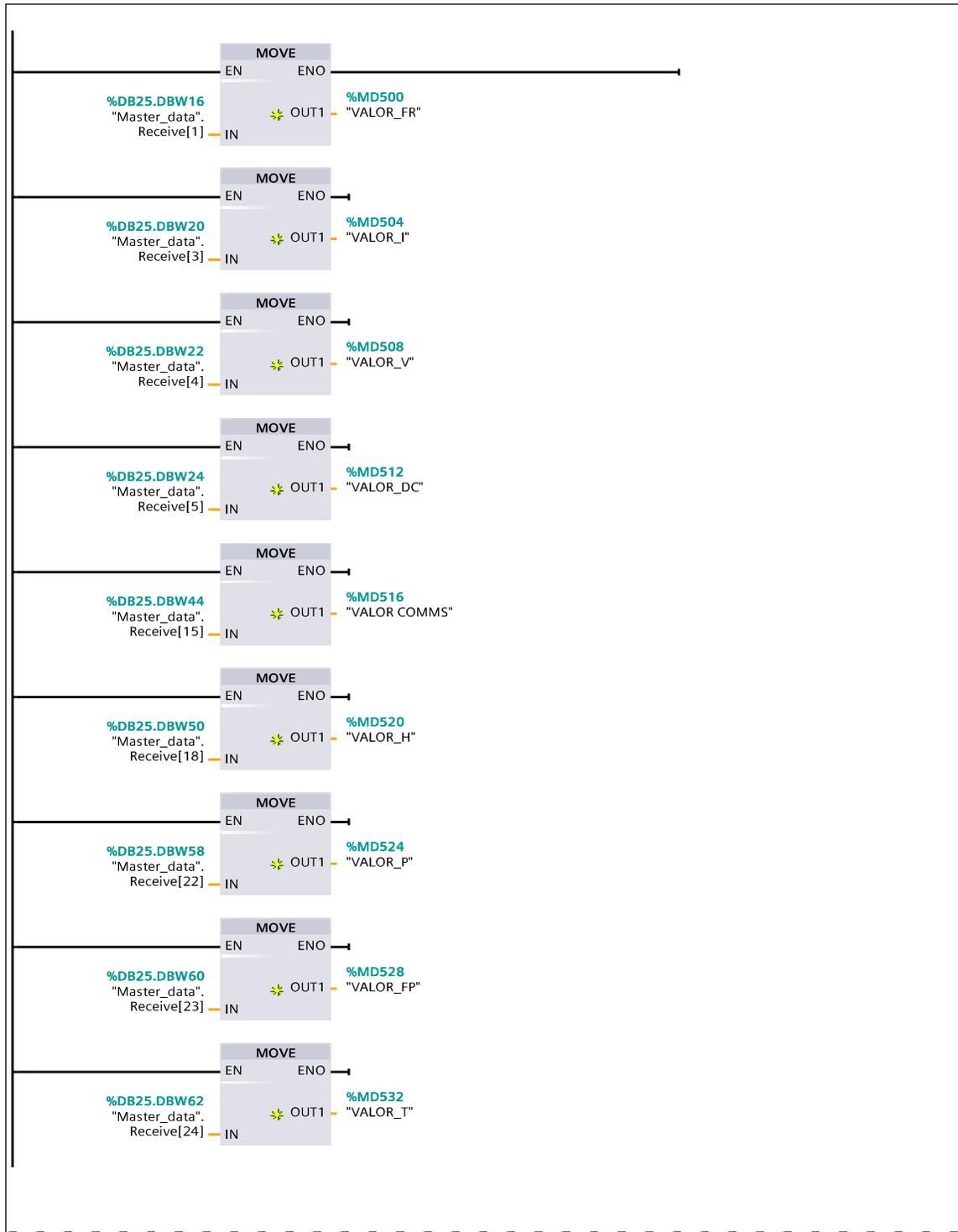
Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	Description 2nd	Version
	1st View	Sheet 3 - 12

Symbol	Address	Type	Comment
"RESET_GEN"	%M70.0	Bool	RESET SISTEMA
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
1	1	Int	
2	2	Int	
0	0	Int	
"Master_data".Send[0]	%DB25.DBW2	Int	
"START_VSD"	%M777.0	Bool	
"STOP_VSD"	%M777.1	Bool	
"SIS_OK"	%M60.0	Bool	Sistema OK
"Aux_22"	%M52.6	Bool	Bit auxiliar
"HABILITAR_SIS"	%M777.6	Bool	
"VALOR_STATUS_VFD"	%MD544	DWord	
"VALOR_WR_FR"	%MD548	DWord	
"Master_data".Send[1]	%DB25.DBW4	Int	
DW#16#0000_070F	DW#16#0000_070F	DWord	
"Aux_28"	%M53.4	Bool	Bit auxiliar
"TEMPO_RESET_HABILITAR"	%DB27	IEC_Timer	
"TEMPO_RESET_HABILITAR"	%DB27	IEC_Timer	
"TEMPO_RESET_HABILITAR".Q		Bool	
"IN_SP_T16"	%MD460	DWord	Ingreso valor a T16
"IN_TEMPO_HABILITAR"	%MD756	DInt	
20000	20000	DInt	
1000	1000	DInt	
"TEMPO_ARRANQUE"	%MD760	DInt	
"VALOR_TEMPO18"	%MD364	Time	T18 PT001
8	8	Int	
"Aux_18"	%M52.2	Bool	Bit auxiliar
"MSB_FLT"	%M432.5	Bool	

### Network 16: DATOS VSD

Owner	Project name	Test_MMB_5	Date	10/25/2013
	Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5		
Designed By	Location			
	Description 1st			
Checked By	Description 2nd		Language	en-US
Approved By	1st View	Version	Sheet 3 - 13	

Network 16: DATOS VSD (1.1 / 2.1)

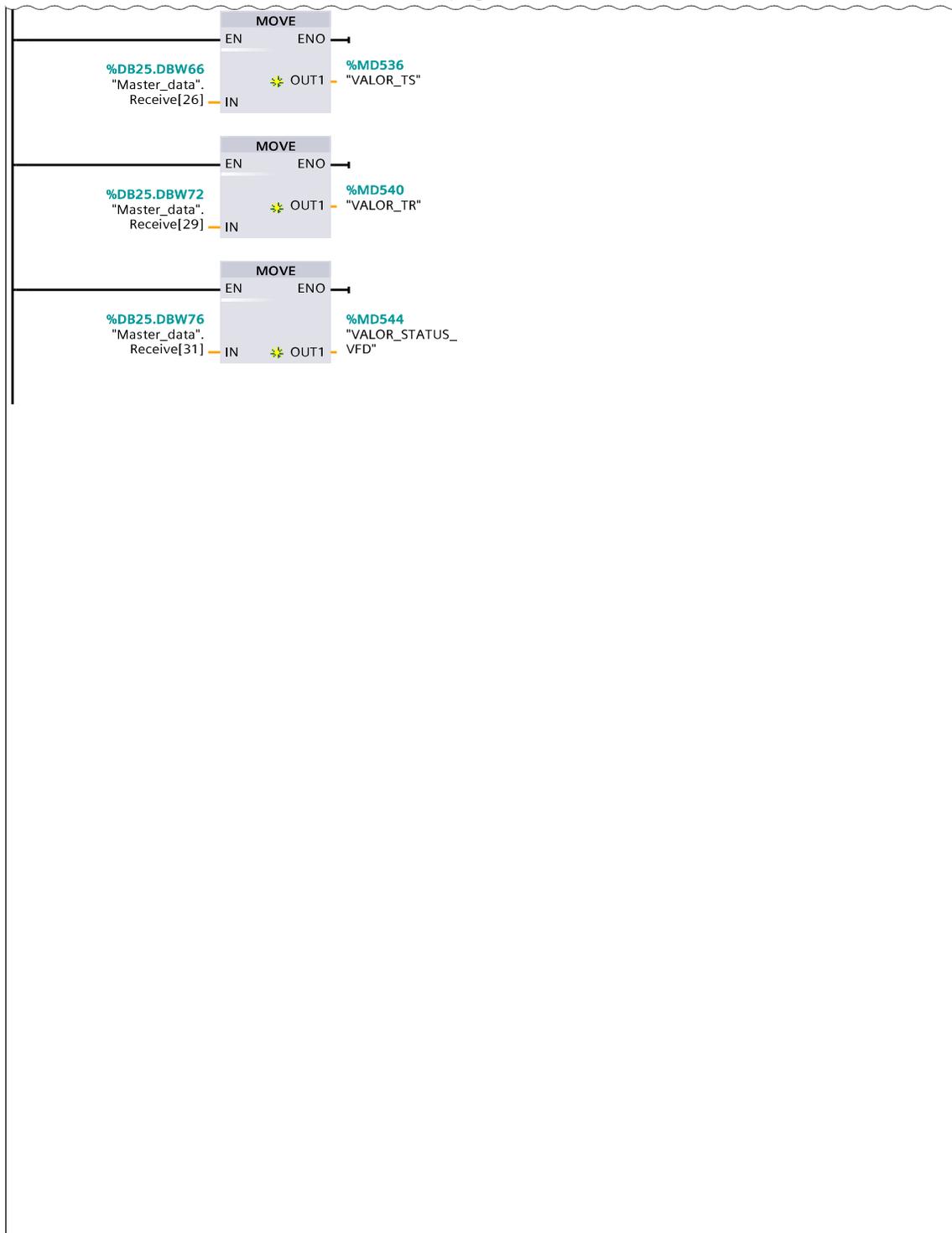


2.1 ( page 3 - 15)

Owner	Project name	Test_MMB_5		Date	10/25/2013
Operator	Project Path	D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5			
Designed By	Location				
Checked By	Description 1st				
Approved By	Description 2nd	Language	en-US		
	1st View	Version	Sheet 3 - 14		

Network 16: DATOS VSD (2.1 / 2.1)

1.1 ( page 3 - 14)



Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	Description 2nd	1st View
	Version	Sheet 3 - 15

Symbol	Address	Type	Comment
"Master_data"	%DB25	Block_DB	
1	1	Int	
31	31	Int	
"Master_data".Re- ceive[31]	%DB25.DBW76	Int	
"VALOR_FR"	%MD500	DWord	
"Master_data".Re- ceive[1]	%DB25.DBW16	Int	
3	3	Int	
"Master_data".Re- ceive[3]	%DB25.DBW20	Int	
4	4	Int	
"Master_data".Re- ceive[4]	%DB25.DBW22	Int	
"VALOR_I"	%MD504	DInt	
"VALOR_V"	%MD508	DWord	
5	5	Int	
"Master_data".Re- ceive[5]	%DB25.DBW24	Int	
"VALOR_DC"	%MD512	DWord	
15	15	Int	
"Master_data".Re- ceive[15]	%DB25.DBW44	Int	
"VALOR COMMS"	%MD516	DWord	
18	18	Int	
"Master_data".Re- ceive[18]	%DB25.DBW50	Int	
"VALOR_H"	%MD520	DWord	
22	22	Int	
"Master_data".Re- ceive[22]	%DB25.DBW58	Int	
"VALOR_P"	%MD524	DWord	
23	23	Int	
"Master_data".Re- ceive[23]	%DB25.DBW60	Int	
"VALOR_FP"	%MD528	DWord	
24	24	Int	
"Master_data".Re- ceive[24]	%DB25.DBW62	Int	
"VALOR_T"	%MD532	DWord	
26	26	Int	
"Master_data".Re- ceive[26]	%DB25.DBW66	Int	
"VALOR_TS"	%MD536	DWord	
29	29	Int	
"Master_data".Re- ceive[29]	%DB25.DBW72	Int	
"VALOR_TR"	%MD540	DWord	
"VALOR_STATUS_VFD"	%MD544	DWord	

A

B

C

D

E

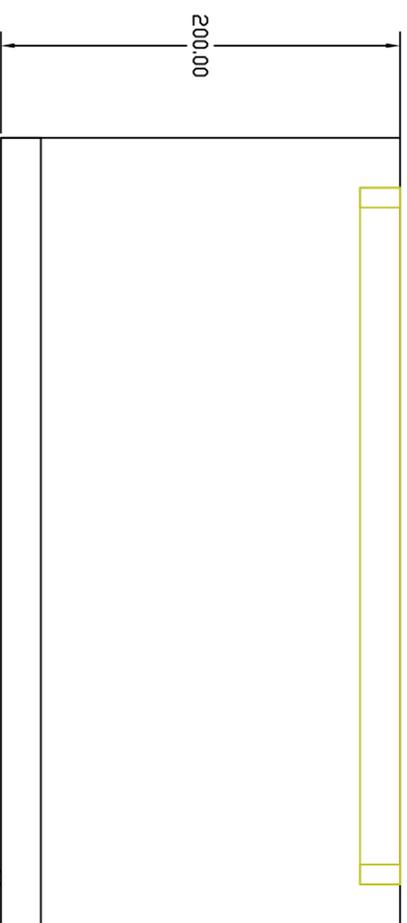
F

Owner	Project name Test_MMB_5	Date 10/25/2013
Operator	Project Path D:\TIA11_Documents\Automation\Test_MMB_5	
Designed By	Location	
Checked By	Description 1st	Language en-US
Approved By	1st View	Version
		Sheet 3 - 16

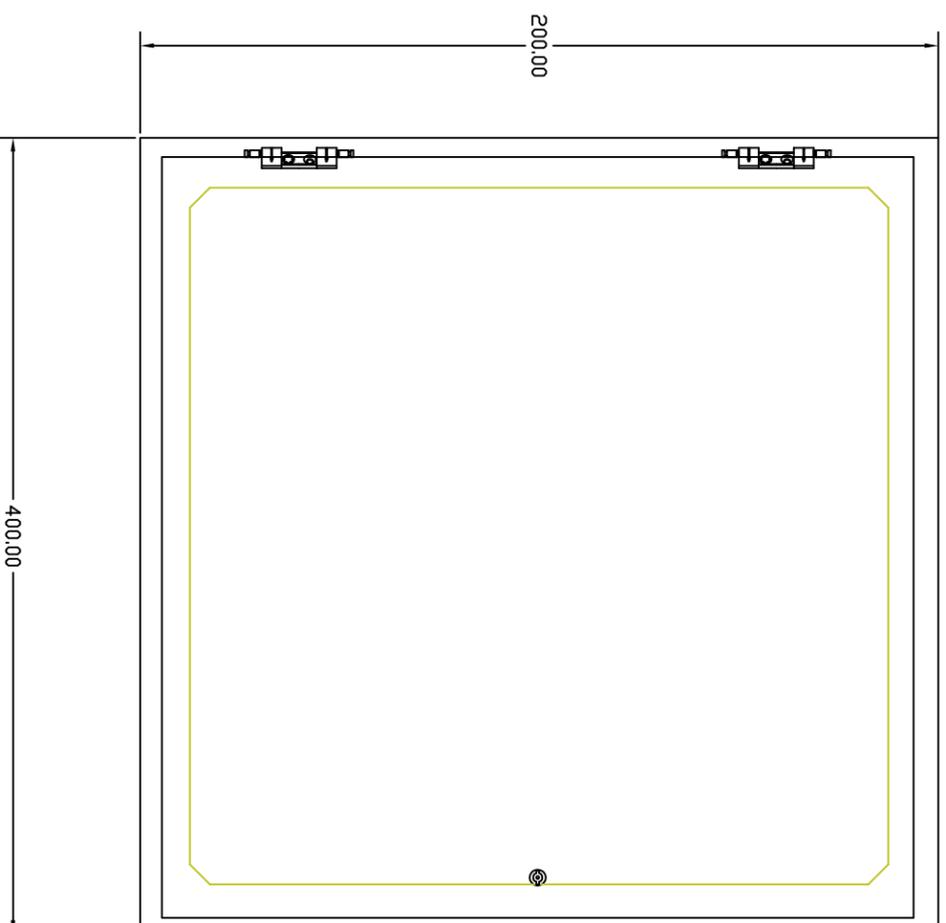
Item #	TAG de identificación	Cant.	Descripción	Número de parte
1	U1	1	Fuente 24 Vdc @ 2.5 A. Entrada:120-220 VAC. Salida: 24Vdc	6EP1332-1SH43
2	U2	1	Switch Industrial 5 puertos	6GK5005-0BA00-1AA3
3	U3	1	Controlador lógico programable S7-1200	6ES7212-1BE31-0XB0
4	U4	1	Módulo de expansión señal RS 422/485	6ES7241-CH31-0XB0
5	U5	1	Pantalla táctil KTP-400	6AV6647-0AA11-3AX0
6	H1	1	Luz piloto tipo led 22 mm. verde	3SB3644-8BA40
7	H2	1	Luz piloto tipo led 22 mm. roja	3SB3644-8BA20
8	H3	1	Luz piloto tipo led 22 mm. amarilla	3SB3644-8BA30
9	X1	14	Borneras porta fusible	8WA1011-1SF12
10	X2	17	Bornera de paso	8WA1011-1DG11
11	X3	1	Bornera para puesta a tierra eléctrica	8AW1011-GND
12	M1	5	Marcador para identificación de grupo	M12MX
13	M2	5	Prisionero de sujeción	8AW1011-AEJ
14	RD1	1	Riel tipo DIN	DR1-1
15	ETH	2	Patch cord Cat. 5e	1007954
16	CS	1	Cable señal conector DB9 configuración RS 485	-
17	V1	GLB	Cables de interconexión y marcas de cable	-
18	PE1	1	Pulsador tipo hongo emergencia	800TH-001
19	P1	1	Gabinete metálico IP55 Dim: 400x400x200 mm (AL-An-P1)	Beacoup
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				

Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-001
Aprobado por:	SSIGCHA	LISTA_DE_MATERIALES	Hoja: 01
Fecha aprobación:	NOV/2013		Hoja sig.: 02
			Rev. 0

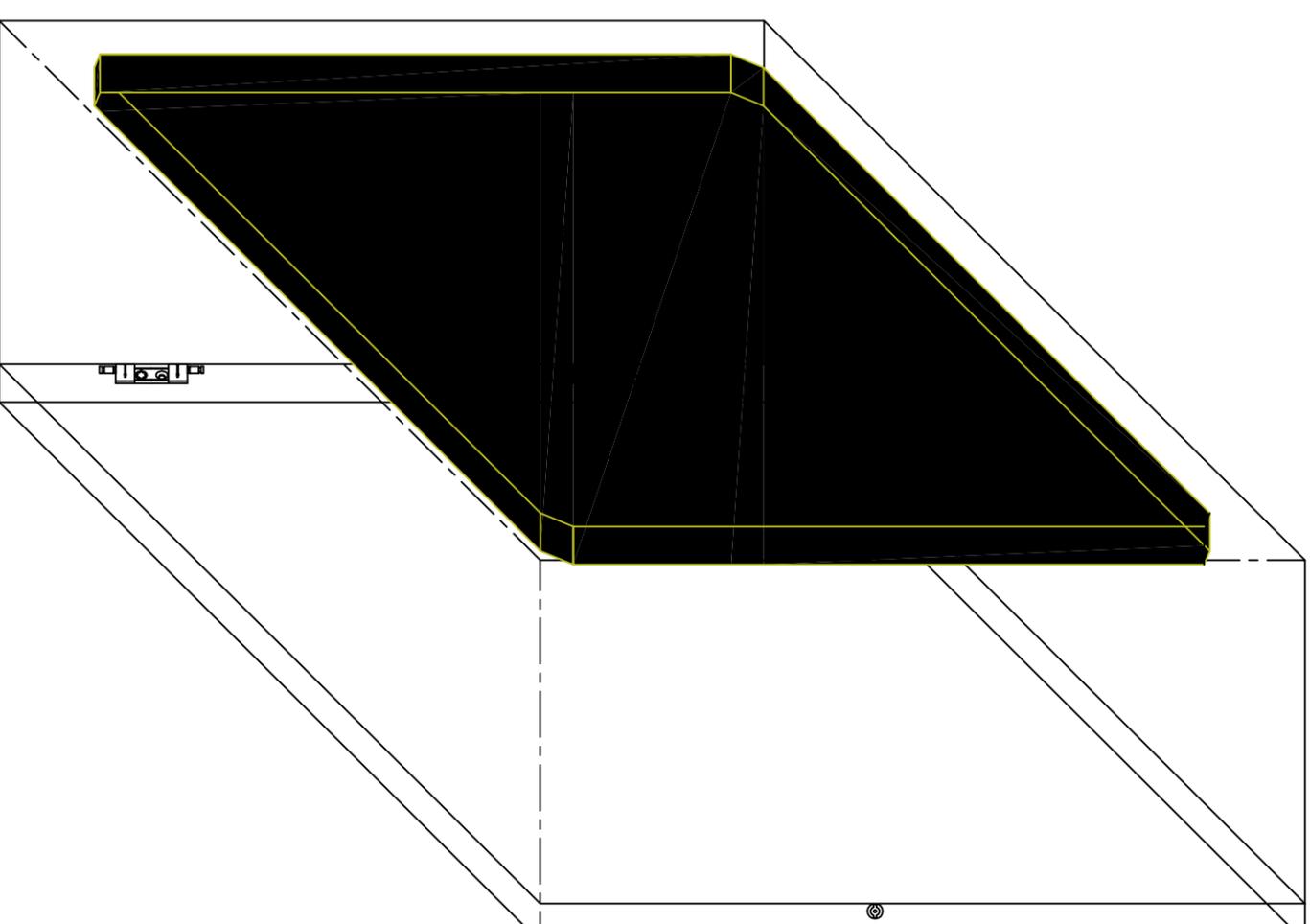
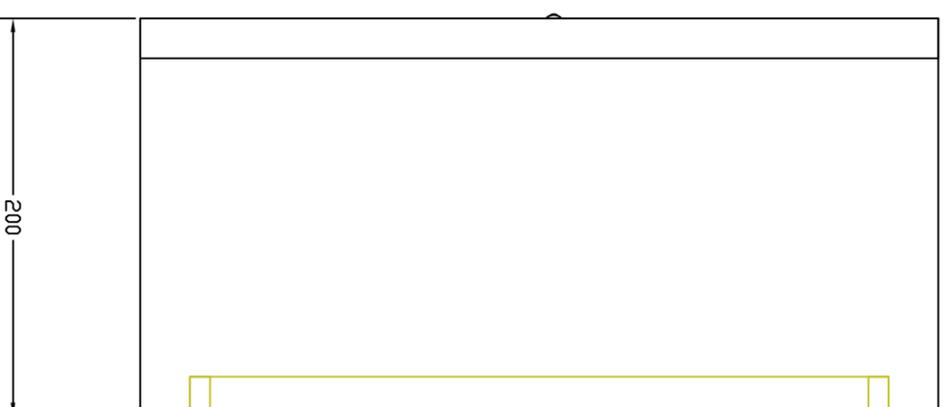
VISTA\_SUPERIOR



VISTA\_FRONTAL

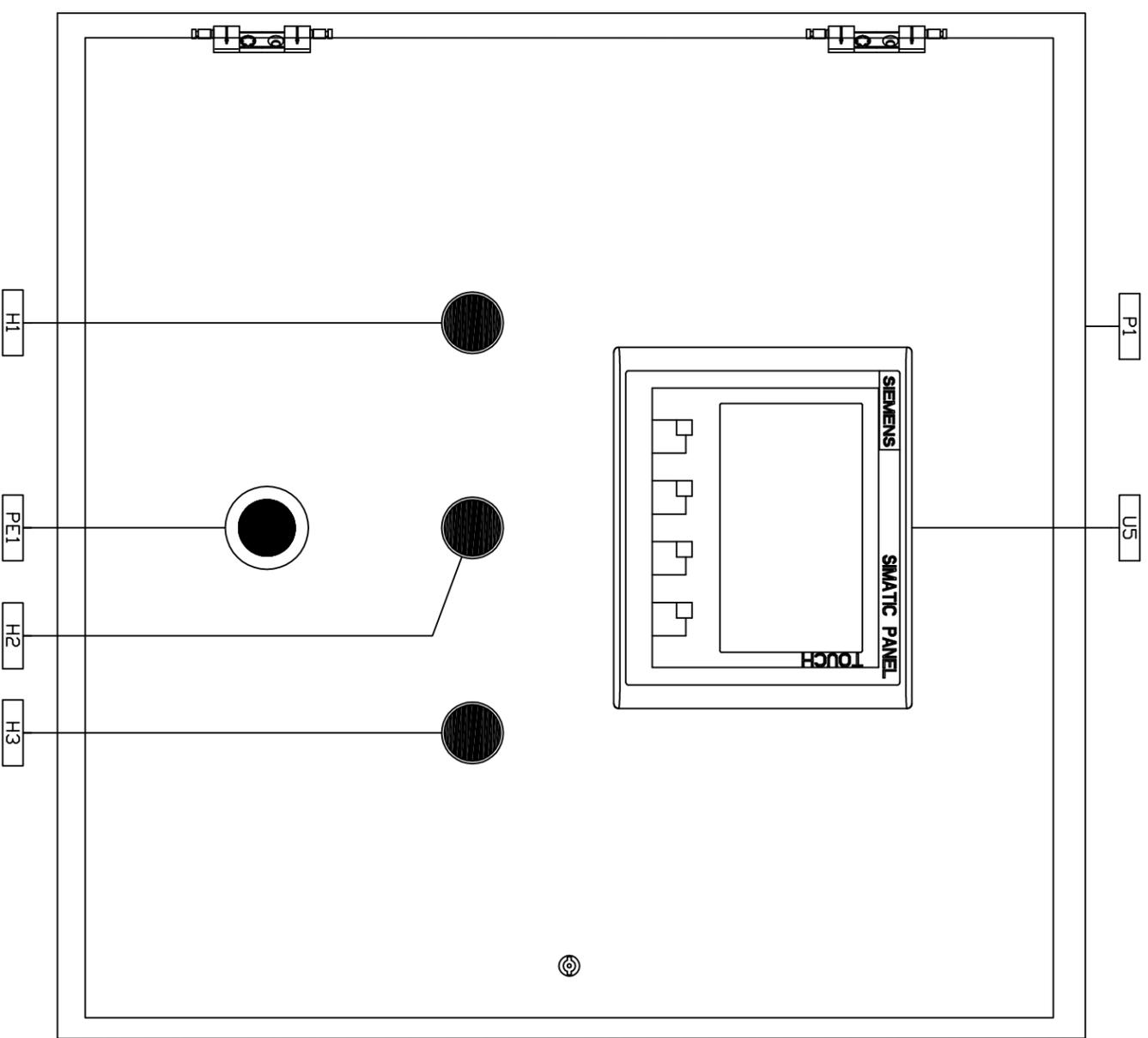
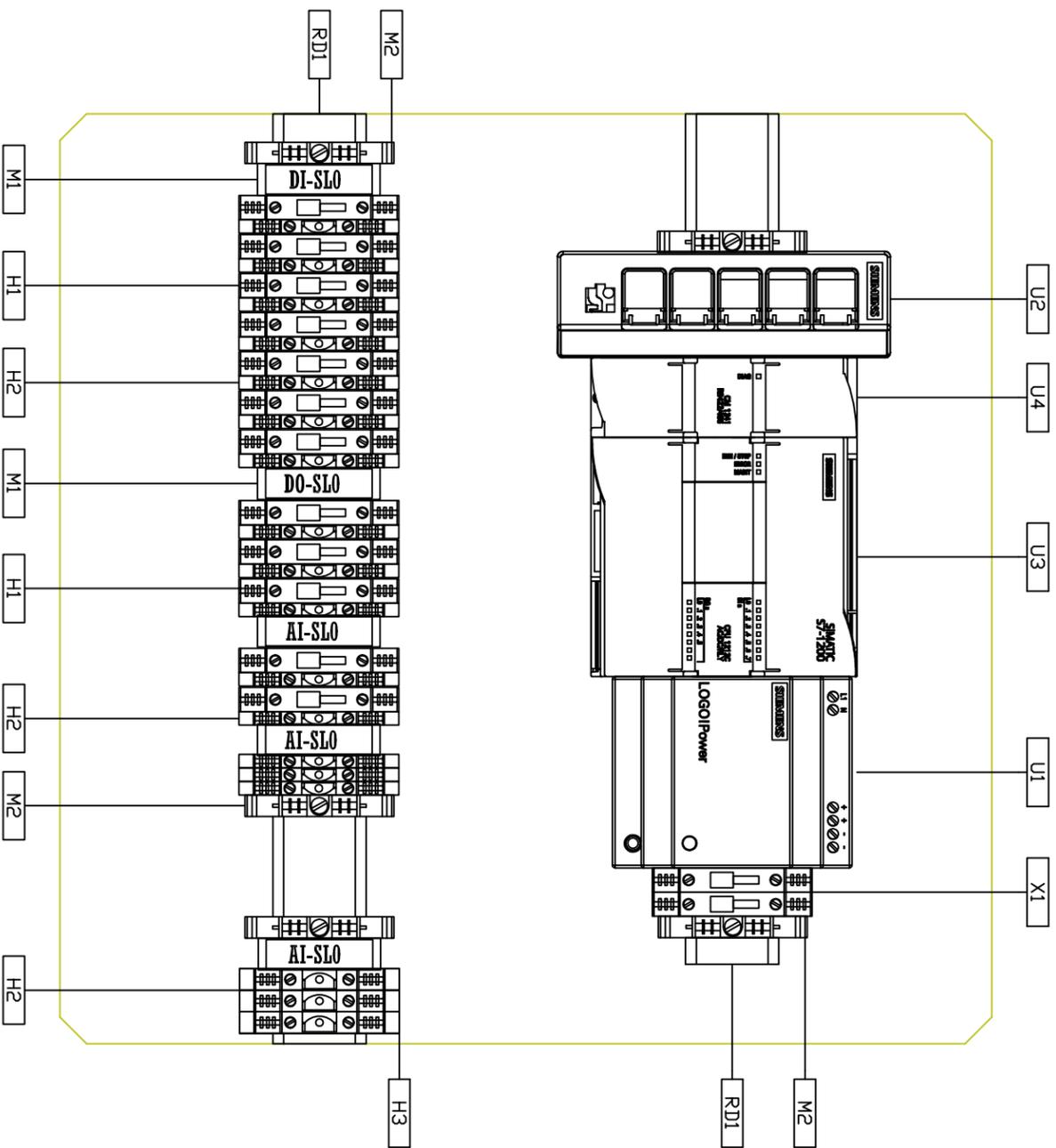


VISTA\_LATERAL  
DERECHA

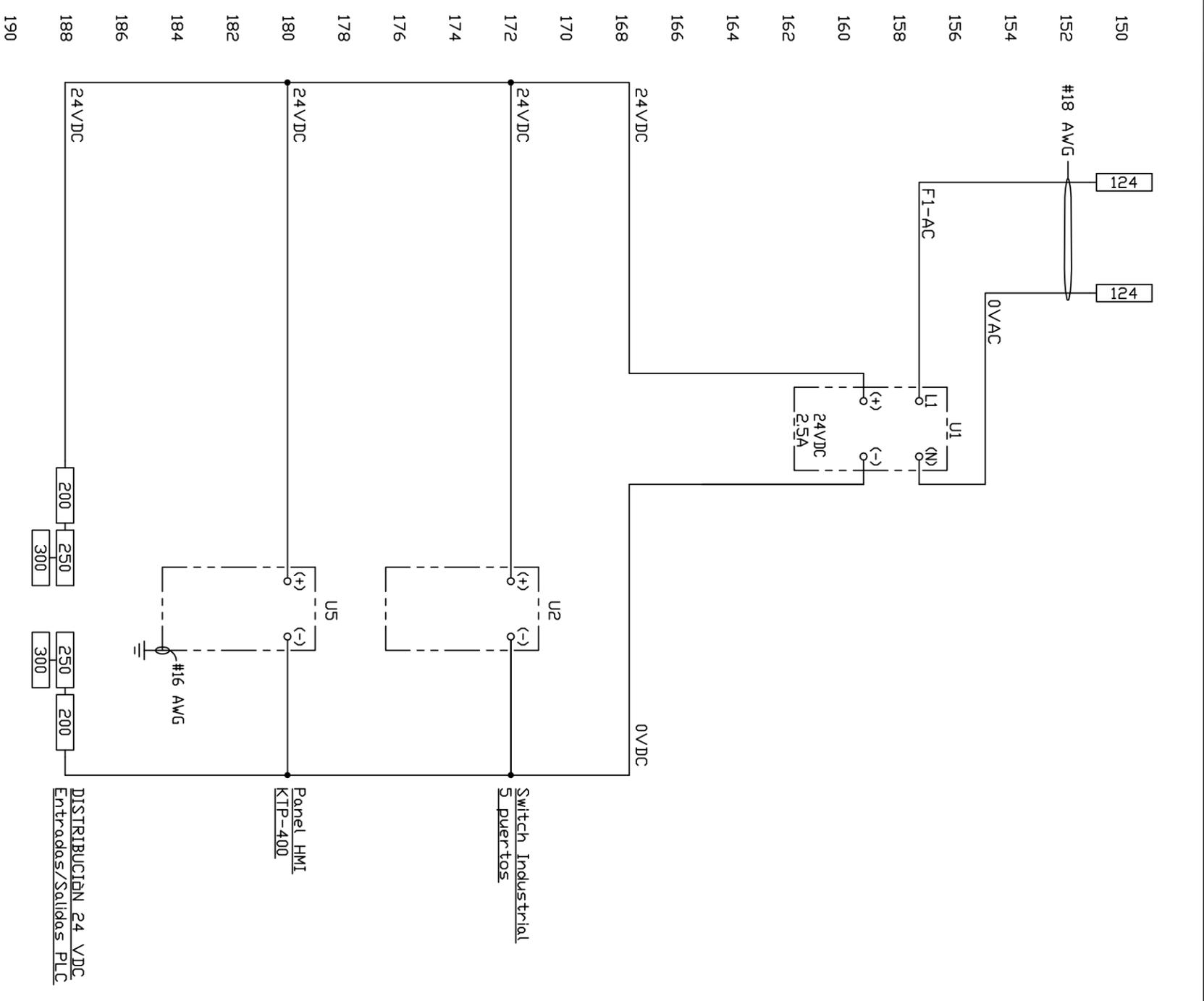
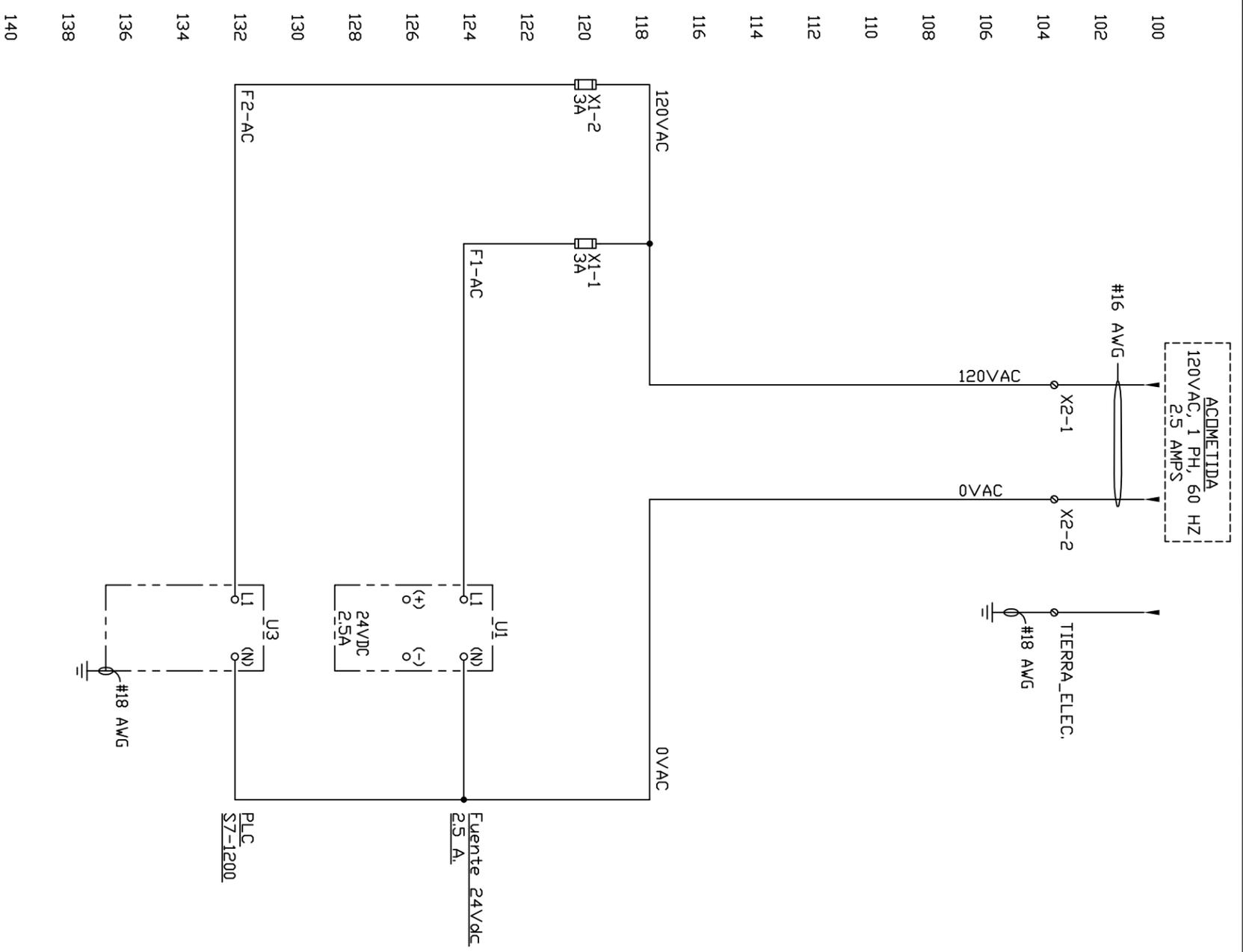


VISTA\_ISOMETRICA

Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-002
Aprobado por:	SSIGCHA	VISUALIZACIÓN_GENERAL_GABINETE_IP55	Hoja: 02
Fecha aprobación:	NOV/2013		Hoja sig.: 03
			Rev. 0



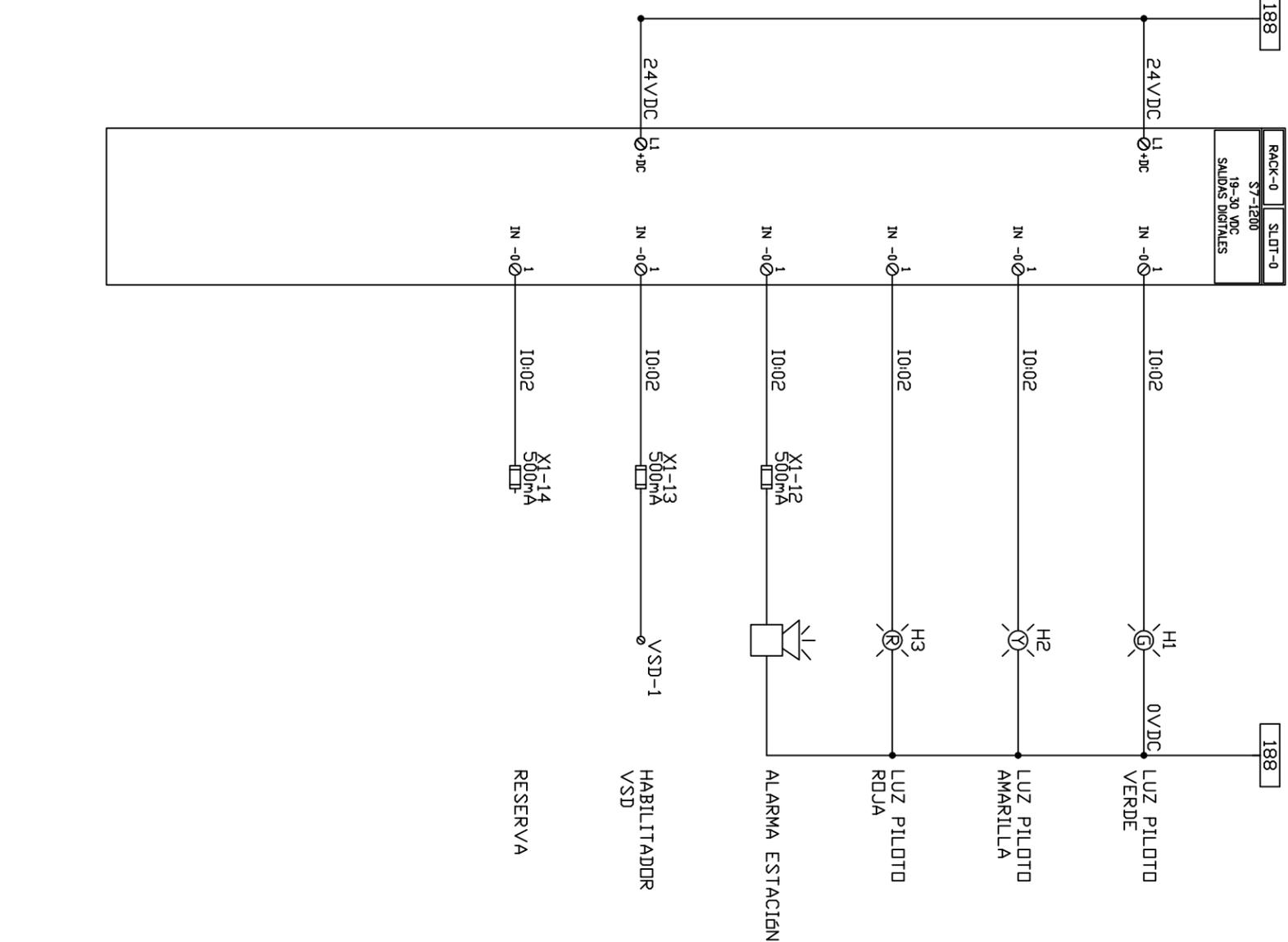
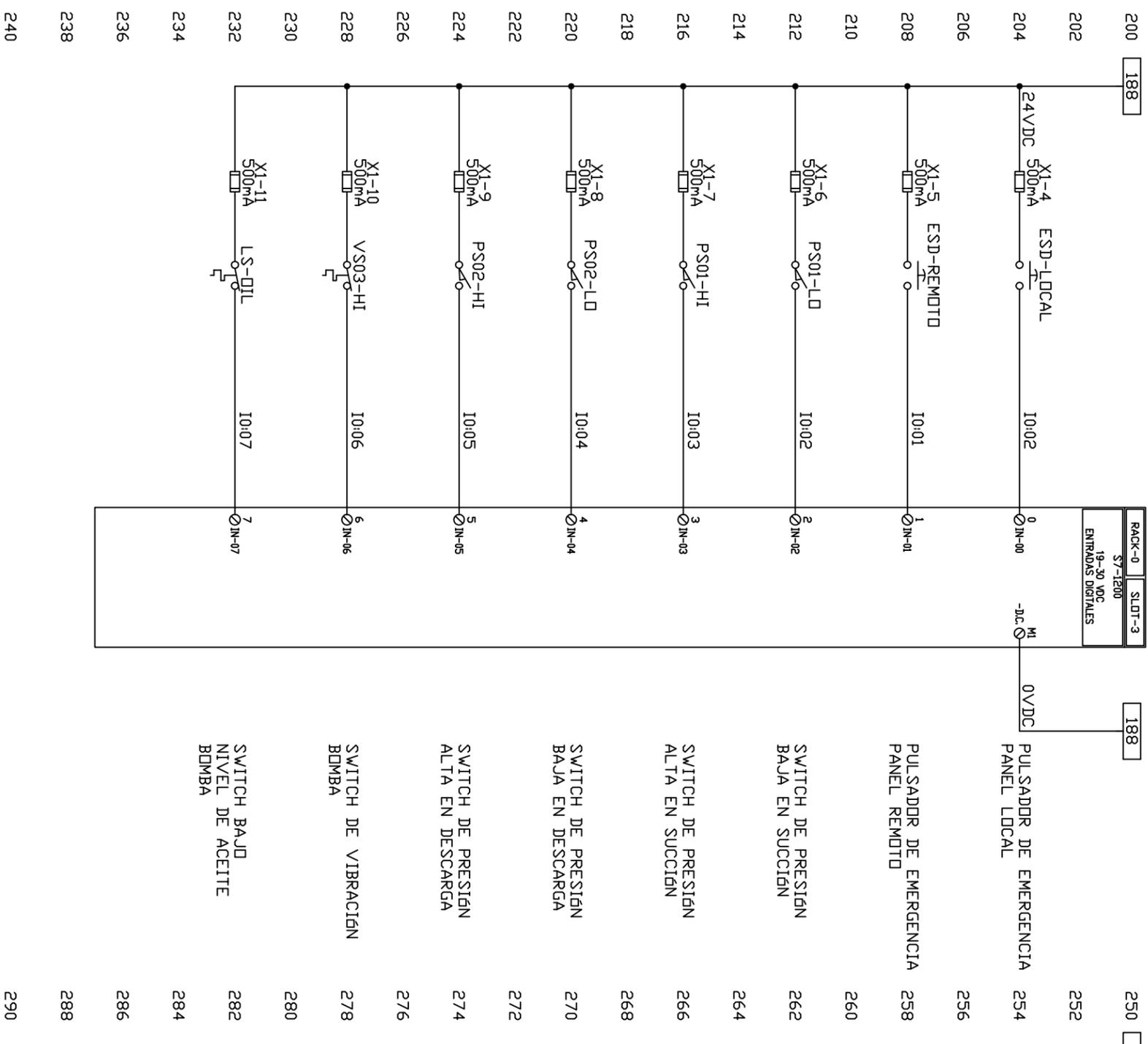
Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-003
Aprobado por:	SSIGCHA	VISUALIZACIÓN_GENERAL_EQUIPOS	Hoja: 03
Fecha aprobación:	NOV/2013		Hoja sig.: 04
			Rev. 0



**ATENCIÓN!**  
ENERGIA PROVISTA  
POR CLIENTE  
120 VAC 60 HZ  
MARRON A.C. CONTROL  
ROJO D.C. 24VDC  
NEGRO D.C. 0 VDC

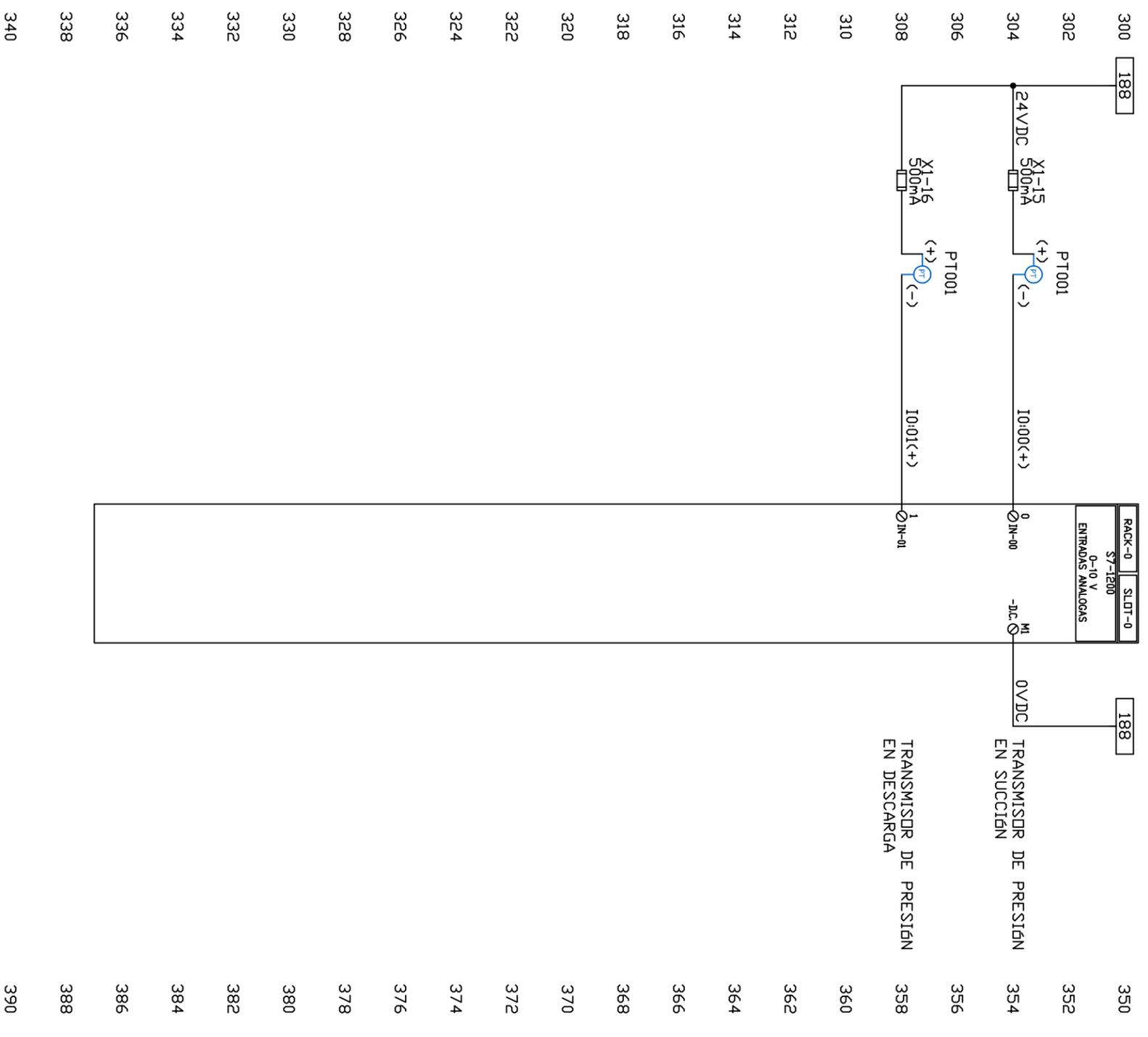
Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-004
Aprobado por:	SSIGCHA	DISTRIBUCIÓN_AC_DC	Hoja sig.: 05
Fecha aprobación:	NOV/2013		Rev. 0

BIANC.	IN. ANALOGA
NARANJ.	IN. DIGITAL
ROJO	DUT. DIGITAL
ROJO	D.C. 24VDC
NEGRO	D.C. 0 VDC



Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de siseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-005
Aprobado por:	SSIGCHA	CONEXIÓN_ENTRADAS_SALIDAS_DIGITALES	Hoja sig.: 06
Fecha aprobación:	NOV/2013		Rev. 0

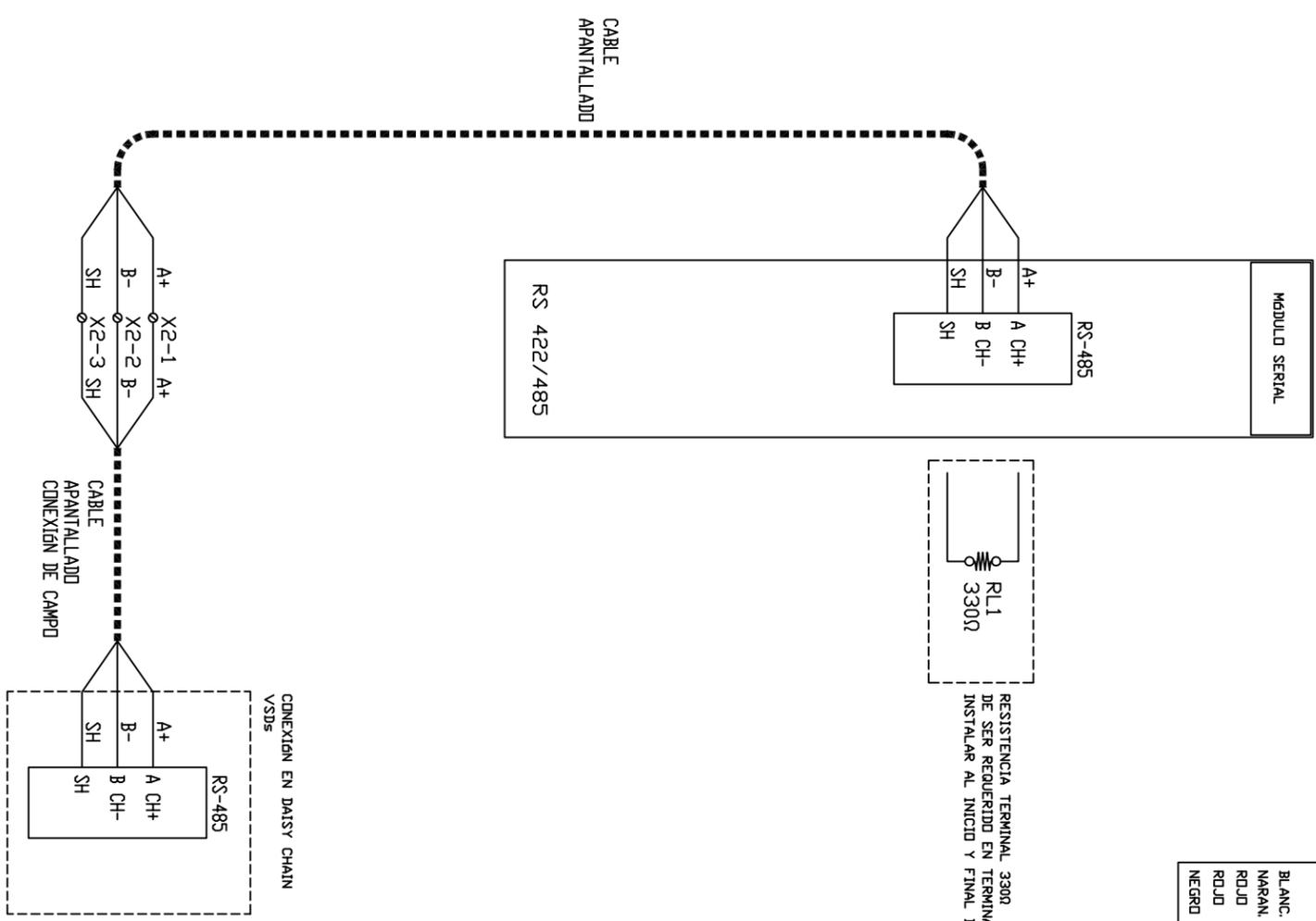
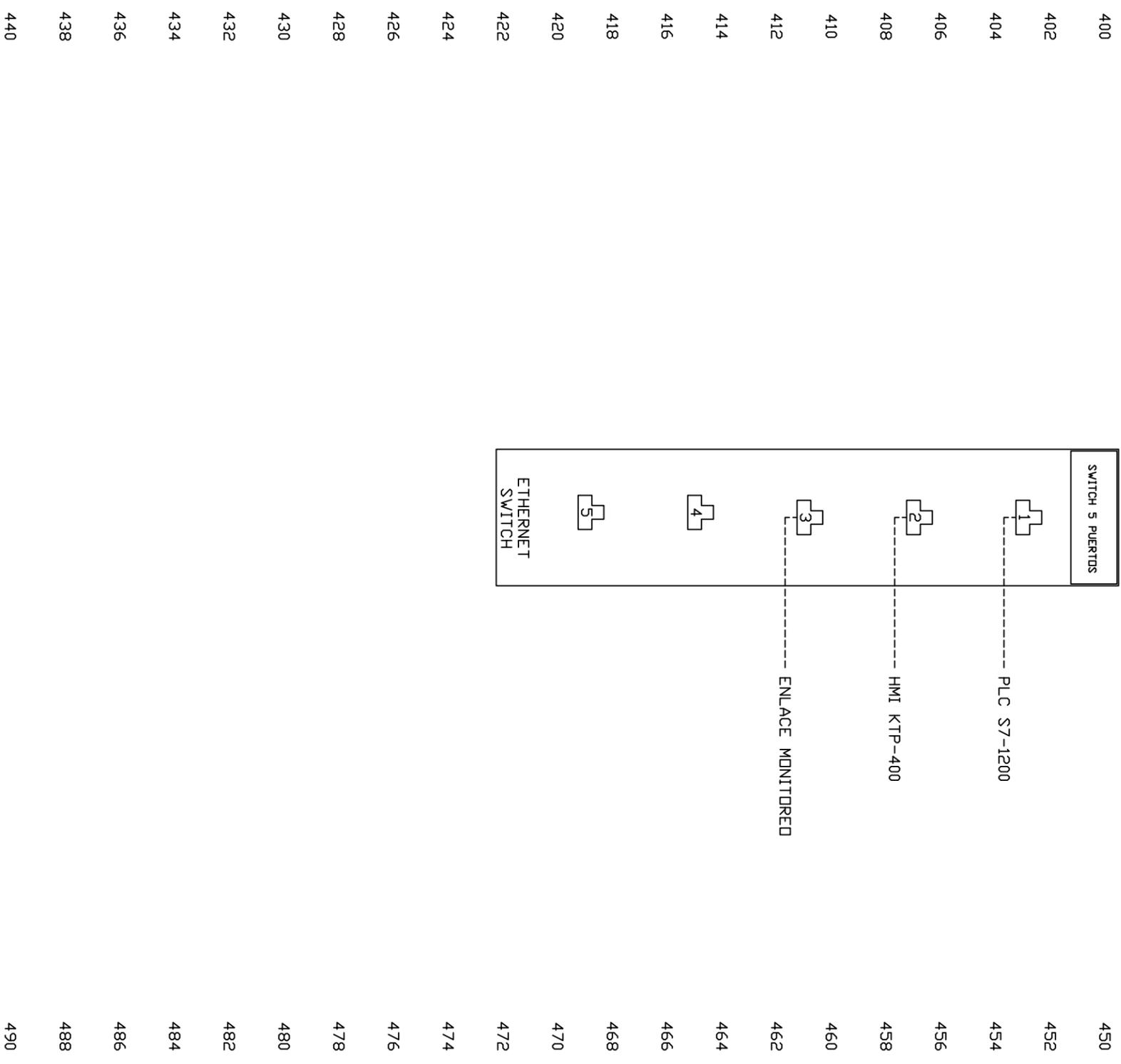
RACK-0	SLOT-3	S7-1200	19-30 VDC	ENTRADAS DIGITALES
200	188			
202				
204				
206				
208				
210				
212				
214				
216				
218				
220				
222				
224				
226				
228				
230				
232				
234				
236				
238				
240				



ATENCIÓN	
BLANC.	IN. ANALOGA
NARANJ.	IN. DIGITAL
ROJO	OUT. DIGITAL
ROJO	D.C. 24VDC
NEGRO	D.C. 0 VDC

Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	<b>PCM-001-006</b>
Aprobado por:	SSIGCHA	CONEXIÓN_ENTRADAS_ANALOGAS	
Fecha aprobación:	NOV/2013		
			Hoja: <b>06</b>
			Hoja sig.: <b>07</b>
			Rev. <b>0</b>

ATENCIÓN	
BLANC.	IN. ANALOGA
NARANJ.	IN. DIGITAL
ROJO	OUT. DIGITAL
ROJO	D.C. 24VDC
NEGRO	D.C. 0 VDC



Dibujado por:	SSIGCHA	Título	Dibujo número:
Fecha de diseño:	OCT/2013	PROTOTIPO-DE-CONTROL-Y-MONITOREO	PCM-001-007
Aprobado por:	SSIGCHA	CONEXIÓN_RED_ETHERNET	Hoja: 07
Fecha aprobación:	NOV/2013	CONEXIÓN_RED_MODBUS_RS485	Hoja sig.: —
			Rev. 0