

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**“Diseño de un sistema de monitorización remota y control
para la automatización de una planta de concreto
en el proyecto de ampliación de la planta Cachí”**

Instituto Costarricense de Electricidad
I.C.E

**Informe de graduación para optar por el título de Ingeniero
en electrónica con el grado de académico de Licenciatura**

Felipe José García Aguilar

Cartago

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

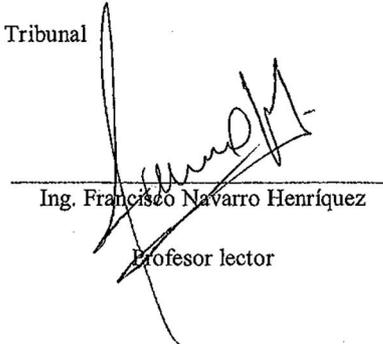
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Jorge Castro Godínez

Profesor lector



Ing. Francisco Navarro Henríquez

Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor asesor

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

Cartago, 27 de noviembre del 2012

Declaratoria de autenticidad

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

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

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

Cartago, 6 de noviembre del 2012-11-06



Firma del autor

Felipe José García Aguilar

Céd: 1-1107-186

Resumen

En un tiempo en el que la demanda de energía es cada vez mayor, la renovación de los proyectos hidroeléctricos del ICE es fundamental para suplir de energía eléctrica a la población. Es por tal razón que nace el proyecto de ampliación de la planta de Cachí, con el que se pretende construir un segundo túnel que activará otro generador de electricidad.

En ese contexto de ampliación emerge la utilización de una planta de concreto que sule a los diferentes frentes del proyecto con variados tipos de mezclas de concreto, de acuerdo a los requerimientos de cada ingeniero a cargo. Las fórmulas de concreto obedecen a los estándares fundamentados en su resistencia, expresada en kilogramos por centímetro cuadrado.

La planta de concreto, como un todo, es un sistema complejo que reúne procesos mecánicos y eléctricos de diversas potencias, los cuales frecuentemente muestran fallos que demoran mucho tiempo y dinero para su respectiva solución.

Si a lo anterior se le adiciona el hecho de que el proyecto cuenta con dos frentes principales de trabajo como lo son: Cachí y El Congo en Tucurrique, donde en el segundo, se encuentra la casa de Máquinas de la represa de Cachí al igual que la planta de concreto.

En presencia de una falla, se debe notificar al Taller de Equipos y Soporte Técnico en Cachí, el cual remite al Congo electricistas con equipo adecuado para determinar qué situación se presentó. El viaje dura alrededor de veinticinco minutos y durante este tiempo la planta no produce concreto.

En consecuencia, surge en el presente proyecto un sistema que permita la comunicación del personal técnico a cargo de la planta y los procesos de control de la misma, tomando en cuenta equipos y protocolos adecuados que efectúen la comunicación por medio de la Internet.

Palabras clave

Planta de concreto, sistemas de control, sensores, monitorización.

Abstract

In time where energy is needed more, the renovation of hydroelectric projects is fundamental to supply the people with energy. That is why the expansion of the plant of Cachí was born, to add another generator managed by the construction of a second tunnel.

In that context of expansion emerges the utilization of a concrete plant that supplies the different work fronts of the project with several kinds of mixes of concrete accord to the requirements of engineers.

Formulas of concrete obey standards based in the resistance expressed in kilogram by squared centimeter.

The concrete plant as a whole system is very complex and joins mechanical and electric processes of different power which frequently fails and it needs many time and money to solve them.

The project has two principal work fronts named Cachi and El Congo in Tucurrique where in the second one is located the house of machine and the concrete plant.

In presence of a failure, the workshop of equipment and technical support must be notified, because they will send a group of electricians with the right equipment to determinate which situation has happened.

The trip to the El Congo is about 25 minutes and during this time, the plant does not produce any concrete.

In consequence arises in the present project a system that allows the communication of the technical personal in charge of the plant and the systems of control, considering suitable equipment and protocols for carrying out communication via the Internet.

Keywords

Concrete plant, control systems, sensors, monitoring.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, ya que con su ayuda he obtenido la capacidad y perseverancia para levantarme cada día y tratar de ser mejor.

A mis padres y hermanos, que siempre están presentes a mi lado y con la disposición de apoyarme incondicionalmente.

Agradecimiento

Agradezco al personal del Taller de Equipos – Soporte Técnico, ya que al depositar su confianza en mí contribuyeron al éxito del proyecto, a los ingenieros Ricardo Paniagua Marín y Allen Ledezma Rojas por la ayuda ofrecida en todo momento.

Deseo además agradecer a los profesores de la escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por hacer bien su trabajo y servir de guías durante mis estudios.

Un agradecimiento especial al profesor Ing. Juan Carlos Jiménez quien con sus observaciones y consejos me ayudó a salir adelante con este proyecto.

Índice General

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución	1
1.2 Solución seleccionada.....	2
Capítulo 2. Meta y objetivos	4
2.1 Meta	4
2.2 Objetivo General	4
2.3 Objetivos Específicos	4
Capítulo 3. Marco teórico	6
3.1 Descripción general del sistema	6
3.2 Antecedentes Bibliográficos	6
3.3 Descripción de los fundamentos teóricos necesarios para la solución del problema	7
3.3.1 Modelo de OSI	7
3.3.2 Descripción de los protocolos más utilizados en la industria: Modbus.....	10
Capítulo 4. Procedimiento metodológico	20
4.1. Reconocimiento y definición del problema	20
4.2. Obtención y análisis de información	20
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	21
4.4 Implementación de la solución.....	21
4.5 Reevaluación y rediseño.....	22
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	23
5.1 Análisis de soluciones y selección final.....	23
5.2 Descripción del hardware	26
5.2.1 Descripción de los circuitos y diagramas	26
5.2.2 Descripción de los dispositivos físicos	34
5.3 Descripción del software	46
Capítulo 6: Análisis de Resultados	57
6.1 Resultados.....	57
6.2 Análisis.....	69
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	73
7.1 Conclusiones	73
7.2 Recomendaciones	74
Bibliografía	75
Apéndice	77
A.1 Glosario	77

A.1.1 Abreviaturas.....	78
A.2 Manual(es) de usuario.....	79

Índice de figuras

Figura 1.1. Planta de concreto MYPESA, en Tucurrique.....	1
Figura 1.2. Diagrama de solución general.....	3
Figura 3.1. Formato general de interrogación y respuesta utilizado por Modbus.....	11
Figura 3.2. Formato de trama ASCII.....	12
Figura 3.3. Formato de trama ASCII.....	12
Figura 3.4. Correspondencia del modelo OSI con el modelo TCP/IP.....	13
Figura 3.5. Encapsulado de datos por los niveles TCP/IP.....	14
Figura 5.1. Segunda solución planteada.....	24
Figura 5.2. Solución final.....	25
Figura 5.3. Diagrama del hardware total de sistema.....	26
Figura 5.4. Diagrama de conexión del PLC y los módulos.....	28
Figura 5.5. Panel de alarmas.....	29
Figura 5.6. Contactos auxiliares de los contactores y las protecciones.....	30
Figura 5.7. Conexión de los Power Meter a los motores que requieren transformadores de corriente: Compresor, bandas de agregados y pesaje, y tornillo de cemento.....	31
Figura 5.8. Conexión de los Power Meter a los motores que no requieren transformadores de corriente: bomba de agua y bomba de aditivo.....	32
Figura 5.9. Conexión de los Power Meter a los motores de la planta de concreto que se desean monitorizar.....	33
Figura 5.10. Conexión de las electroválvulas y de los contactos auxiliares de los relés.....	33
Figura 5.11. Conexión de los presostatos a la tubería de presión de la planta.....	34
Figura 5.11. Unidad de medida Power Meter PM870UMG.....	35
Figura 5.12. Transformador de corriente Schneider 16453.....	35
Figura 5.13. Sensor de nivel de SITRANS LR260 (HART).....	36
Figura 5.14. Módulo de entradas analógicas Schneider TWDAMI2HT.....	37
Figura 5.15. Módulo de salidas digitales Schneider TM2DRA16RT.....	38
Figura 5.16. Módulo de entradas digitales Schneider TM2DDI8DT.....	38
Figura 5.17. Módulo de comunicaciones Schneider TSX ETG 1000.....	39
Figura 5.18. Terminales de contactos de presostato.....	40
Figura 5.19. Presostato ALLENT BRADLEY BULLETIN 836.....	40
Figura 5.20. Sensor de presión Allen-Bradley 836E (836E--TD1EN4--D4).....	41
Figura 5.21. Sensor de presión Allen-Bradley 836E (836E--DC1CC1D4).....	42
Figura 5.22. Puerto opcional de comunicación Schneider RS – 485.....	43
Figura 5.23. Conexión del puerto opcional de comunicación Schneider RS – 485 al PLC.....	43
Figura 5.24. PLC Twido TWDLCAE40DRF de Schneider.....	45
Figura 5.26. Diagrama de flujo general del sistema.....	48
Figura 5.27. Diagrama de flujo de compresor.....	49
Figura 5.28. Diagrama de flujo del nivel del silo.....	50
Figura 5.27. Diagrama de flujo de presión del silo.....	51
Figura 5.28. Diagrama de flujo del estado de las protecciones de los motores.....	52
Figura 5.29. Diagrama de flujo del estado de los contactores de los motores.....	53
Figura 5.30. Ventana de inicio del programa TWIDOSUITE.....	54
Figura 5.31. Programa TWIDOSUITE en modo de descripción.....	55

Figura 5.32. Programa TWIDOSUITE en programación.....	55
Figura 6.1. Componentes de la planta de concreto.....	58
Figura 6.2. Partes de la ventana de simulación del TWIDOSUITE.....	64
Figura 6.3. Simulación de puesta en marcha del tornillo del silo.....	65
Figura 6.4. Simulación de activación de protección para el compresor.....	65
Figura 6.5. Simulación de activación de la señal de la electroválvula de la arena.....	65
Figura 6.6. Simulación de la medición de presión en el compresor.....	65
Figura 6.7. Medición de la presión negativa del silo.....	66
Figura 6.8. Simulación de la medición del nivel del silo.....	66
Figura 6.9. Página principal del módulo TSX ETG 1000.....	66
Figura 6.10. Página de configuración de las alarmas de la unidad web server TSX ETG 1000.....	67
Figura 6.11. Página de configuración de los registros de los dispositivos Modbus conectados al TSX ETG 1000.....	67
Figura 6.12. Conexiones del puerto Rj-45 para protocolo Modbus de la unidad TSX ETG 1000.....	68
Figura 6.13. Conexión del puerto MiniDin del PLC con el puerto RJ-45 para protocolo Modbus de la unidad web server TSX ETG 1000.....	68

Índice de tablas

Tabla 3.1. Diferentes clases de direcciones IP.....	15
Tabla 5.1. Tipos de variables del programa TWIDOSUITE.....	56
Tabla 6.1. Características eléctricas la central de medida.....	59
Tabla 6.2 Resumen de las lecturas disponibles en la central de medida.....	60
Tabla 6.3. Motores que necesitan transformador de corriente.....	60
Tabla 6.4. Especificaciones para el sensor LR260.....	61
Tabla 6.5. El módulo TSX ETG 1000 incluye las siguientes características.....	61
Tabla 6.6. Valores numéricos de las medidas de los sensores.....	62
Tabla 6.7. Características del PLC TWIDO.....	62
Tabla 6.8. Módulos de entradas y salidas acoplados al PLC.....	62
Tabla 6.9. Presupuesto para el proyecto.....	63

Capítulo 1. Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

El proyecto de ampliación de la planta de Cachí del ICE, pretende la creación de otro túnel de captación de agua del embalse, con el fin de habilitar una unidad generadora más.

El proyecto cuenta con dos frentes principales de trabajo: en Cachí o también llamado “Vivero”, donde se encuentran algunas oficinas de ingeniería, un comedor, el taller de equipos y el campamento para el personal que viene a trabajar de lejos.

El otro frente de trabajo se ubica en El Congo, Tucurrique, lugar en el que se localizan las oficinas principales del proyecto, la mayor cantidad de ingenieros, la casa de máquinas de la planta y un almacén de equipos.

Así mismo se cuenta con los diferentes frentes de trabajo como lo son: el TO (Tanque de Oscilación), Ventana A que es un frente del túnel que se está realizando, Ventana B que es el otro frente del túnel, entre otros frentes.

En el lugar denominado Congo, se lleva a cabo la producción de concreto que requiere todo el proyecto. Existen diferentes variaciones del concreto que dependen de cual frente de trabajo lo necesite, por ejemplo, el concreto para revestir el túnel es de una clase y el concreto que requiere un acueducto es de otra clase.

La máquina que produce el concreto es la “MYPESA”; esta planta mezcla arena, piedra $\frac{1}{2}$ (19mm), piedra $\frac{3}{4}$ (12mm), agua y un aditivo utilizado para evitar el fraguado del concreto cuando es depositado en el camión cisterna. La planta se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.1. Planta de concreto MYPESA, en Tucurrique.

En vivero, se ubica el Taller de Equipos y Soporte Técnico que vela por los equipos eléctricos y mecánicos del proyecto, que requieren ser reparados. Del mismo modo, el taller también se encarga del mantenimiento de la MYPESA, la que es compuesta por múltiples componentes eléctricos y mecánicos que requieren mantenimiento diario.

Tomando en cuenta que el taller de equipos y la planta de concreto se encuentran separados unos 13 km de camino peligroso y estrecho; en el momento en que se presente una avería, la reparación toma mucho tiempo, que se traduce en detener la producción de la planta.

Así mismo, al llegar al lugar, los electricistas y mecánicos, deben emprender la tarea de determinar cuál es el problema y donde se presentó.

La planta cuenta con un control basado en PLC que maneja la producción de concreto, el mismo fue diseñado por el MET¹ (Maquinaria Equipos y Talleres del ICE) y es de uso privado, por tal razón no es permitido a otras personas, no obstante sean de la misma institución, tener acceso a los programas que conforman el control. Es por ello que manipular el control actual de la planta, para que monitorice los componentes que presentan fallos, es casi imposible.

Subsiguientemente, se planeó diseñar un sistema que monitorice el comportamiento eléctrico de los sistemas que son vitales para la producción, así como también los que frecuentemente fallan.

Con la implementación de este proyecto se tendrá acceso vía Internet al proceder eléctrico de motores y electroválvulas entre otros equipos, que permitirá determinar cuál fue la falla que se presentó.

Dispuesto lo anterior, el problema radica en las pérdidas económicas y de materiales que provoca el paro en la producción de concreto por causa de las averías que se presentan en la planta, así mismo en el tiempo que toma detectar y corregir los problemas por parte de los electricistas así como de los mecánicos.

1.2 Solución seleccionada

La solución planteada está limitada por los requerimientos del taller, dentro de los cuales, la que más resalta es el hecho de usar componentes de las marcas SIEMENS o SCHNEIDER ya que con estas dos marcas el taller posee líneas de compras ya establecidas, las que no necesitan auditoria de otras dependencias del ICE, como lo son las compras por caja chica las cuales son analizadas por un departamento que valora su importancia, y dada la crisis financiera del ICE, la mayoría son rechazadas.

El desarrollo de este proyecto tiene como fin una investigación de equipos electrónicos que permitan monitorizar los componentes eléctricos de la planta de manera remota, los diagramas eléctricos de la planta, así como un documento que reúna la información necesaria para llevar a cabo el diseño propuesto.

Primeramente se efectuó un profundo estudio del funcionamiento de la planta, con la finalidad de determinar los componentes del sistema que trabajan en las diferentes tareas e igualmente tener una idea clara de los equipos que actualmente forman el control.

Seguidamente se estableció cuáles de los diferentes dispositivos de la planta presentan fallos frecuentemente, para ello, se entrevistó al personal del taller que vela por la reparación de los daños que se surgen en la planta. La mayoría de ellos han trabajado en ese tipo de tareas anteriormente en otros proyectos de ICE.

Teniendo bien presente el funcionamiento de la planta y los elementos que fallan, se prosigue a sugerir equipos electrónicos adecuados para monitorizar los dispositivos.

Más tarde, una vez seleccionados los equipos, se debe configurar y programar estos equipos así como determinar la forma en que estos van a ser agregados a los diferentes procesos a monitorizar.

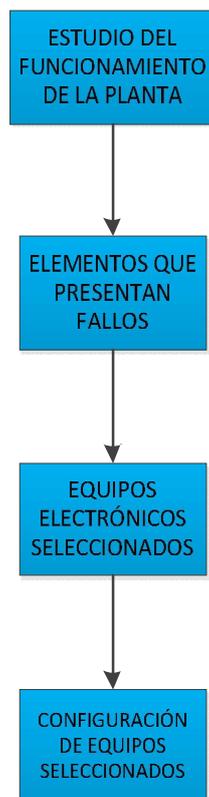


Figura 1.2. Diagrama de solución general.

Capítulo 2. Meta y objetivos

2.1 Meta

Efectuar una investigación de dispositivos electrónicos que permitan monitorizar remotamente el funcionamiento de los diferentes elementos eléctricos y mecánicos que conforman una planta de concreto.

Indicador: Realizar una lista de los componentes electrónicos que cumplan con los requerimientos necesarios para verificar remotamente, el comportamiento de la planta de concreto.

2.2 Objetivo General

Determinar los diferentes tipos de sensores, dispositivos electrónicos programables y módems que existan en el mercado, para seleccionar los que permitan comunicar una planta de concreto con los supervisores de la misma, de manera remota.

Indicador: Verificar mediante las características técnicas de los equipos seleccionados, que la comunicación se pueda lograr.

2.3 Objetivos Específicos

- 1- Categorizar los sensores que se colocarán en la planta de concreto, con el fin de medir la actividad de los dispositivos eléctricos y mecánicos en la misma.

Indicador: Comprobar haciendo uso de una tabla de caracterización, que los sensores seleccionados sean compatibles con los equipos a monitorizar y que sea posible adaptarlos a un PLC.

- 2- Diseñar un sistema de monitorización para las señales de los sensores sugeridos, así como también para las señales del control actual, con la finalidad de llevar un registro temporal de la puesta en marcha de los dispositivos eléctricos y mecánicos de la planta de concreto.

Indicador: Corroborar mediante la simulación del nuevo control, que el sistema funciona correctamente entre un 90% y un 100%.

- 3- Construir un diagrama eléctrico real del sistema de control y de potencia de la planta de concreto, para facilitar las reparaciones que se realicen.

Indicador: Visualizar en un plano eléctrico elaborado en un programa a fin, el diagrama completo de la planta.

- 4- Especificar un dispositivo o dispositivos que permitan comunicar el nuevo control de la planta, vía Internet con los encargados de la misma para informar de algún fallo.

Indicador: Comprobar mediante una tabla de caracterización que los equipos seleccionados cumple con los requisitos necesarios para establecer la comunicación con la Internet.

Capítulo 3. Marco teórico

3.1 Descripción general del sistema

Las plantas de concreto son diseñadas por el MET y demandan de materias primas para trabajar, tales como: arena, piedra, cemento y agua. Estas materias primas se hallan en lugares nombrados “patios” desde donde son transportados por maquinaria pesada hasta donde se localiza la planta de concreto.

El MET dota a estas máquinas de controles eléctricos fundamentados en PLC, muy complejos, que fiscalizan todo el proceso a manos de un operador, el cual controla el sistema de manera automática o manual.

El proceso inicia con la escogencia de la fórmula de concreto a producir, la cual define la cantidad de arena, piedra, cemento, agua y aditivo que se agregarán a la tolva. Se pesa primero la cantidad de piedra de 19 mm que se utilizará, luego se pesa la arena y seguidamente la piedra de 12 mm.

Mientras esto ocurre, la máquina ya ha comenzado el pesaje del aditivo y del cemento necesarios, además por medio de un sensor de flujo, se mide el agua requerida.

Cuando se han cuantificado los materiales, se activan las bandas transportadoras que acarrean los materiales hacia el camión cisterna, el cual llevará el concreto a la obra que lo necesite.

Esta planta no cuenta con un mezclador¹, por lo que, tanto el agua como el aditivo, son dispensados directamente en el camión cisterna y éste se encarga de mezclarlos mientras los transporta.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

Las búsquedas bibliográficas permiten obtener el conocimiento necesario para la solución y comprensión del problema. Por tal razón, el presente documento hace uso de literatura técnica, libros, información de internet, informes de proyectos similares y demás documentos con temas al respecto.

La información referente a la comprensión del problema así como del funcionamiento de la planta, se obtuvo de entrevistas a los ingenieros a cargo del mantenimiento de la planta y el ingeniero que diseñó el programa del PLC que controla la máquina, así como de observación y

¹ El mezclador es una etapa posterior al dosificado de los materiales, donde se mezclan los mismos con un motor eléctrico en una tolva independiente.

discernimiento. Por esto no se menciona en la bibliografía, fuentes de información sobre este tema.

Teniendo en cuenta la restricción de utilizar equipos de las marcas Schneider o Siemens, y dado que Schneider posee una mayor gama de productos, la búsqueda de información de los sensores y equipos que se debían utilizar para el diseño de la solución, se basó casi en su totalidad en las hojas de datos. Para esto las fuentes comprendidas entre la [1] y la [16], fueron muy ventajosas al dar a conocer las características de los dispositivos que se planeaba implementar.

Algunos elementos seleccionados son de otra marca fuera de las que se mencionaron anteriormente. Las fuentes [17], [18] y [19] resultaron de mucha ayuda para la escogencia de los sensores de presión.

Con respecto al marco teórico, las fuentes [20], [21], [22], y [24] garantizaron el desarrollo de los conceptos que se necesitan para comprender los aspectos concernientes a la solución del problema.

3.3 Descripción de los fundamentos teóricos necesarios para la solución del problema

3.3.1 Modelo de OSI

El incremento de las redes, tanto en cantidad y tamaño, se ha dado durante las últimas décadas. Muchas de ellas crecieron utilizando implementaciones de hardware y software diferentes, lo que provocó incompatibilidad entre las redes.

Para resolver este problema, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) ejecutó diversas investigaciones referentes a los esquemas de red. La ISO reconoció que era necesario crear un modelo de red que pudiese ayudar a los diseñadores de red a implementar redes que pudieran comunicarse y trabajar en conjunto (interoperabilidad), y por lo tanto, construyeron el modelo de referencia OSI (en inglés *Open System Interconnection o interconexión de sistemas abiertos*) en el año de 1984.

El modelo OSI divide en siete capas el proceso de transmisión de la información entre equipos informáticos, donde cada capa se encarga de ejecutar una determinada parte del proceso global.

Este modelo de segmentación ha servido de precedente para la creación de nuevos estándares industriales, además logra la normalización de componentes utilizados en las redes.

Capas del modelo OSI

El modelo OSI se presenta en siete capas que describen el proceso de transmisión de los datos dentro de la red.

A continuación se describen las capas del modelo OSI, iniciando por la última:

7. Capa de aplicación

Es la capa del modelo OSI más cercana al usuario; provee servicios de red a las aplicaciones del usuario. Se diferencia de las demás capas, en que esta no proporciona servicios a ninguna otra capa OSI, sino que solamente los presta a aplicaciones que se encuentran fuera del modelo OSI. Algunos ejemplos de aplicaciones son los programas de hojas de cálculo, de procesamiento de texto y los de las terminales bancarias.

La capa de aplicación establece la disponibilidad de los potenciales socios de comunicación, sincroniza y establece acuerdos sobre los procedimientos de recuperación de errores y control de la integridad de los datos.

6. Capa de presentación

La capa de presentación garantiza que la información que envía la capa de aplicación de un sistema, pueda ser leída por la capa de aplicación de otro. De ser necesario, la capa de presentación traduce entre varios formatos de datos utilizando un formato común.

5. Capa de sesión

Como su nombre lo implica, la capa de sesión establece, administra y finaliza las sesiones entre dos Hosts² (Huésped en español) que se encuentran en proceso de comunicación. La capa de sesión proporciona sus servicios a la capa de presentación. Al mismo tiempo sincroniza el diálogo entre las capas de presentación de los dos hosts igualmente administra su intercambio de datos. Además de regular la sesión, la capa de sesión ofrece disposiciones para una eficiente transferencia de datos,

² Usado en informática para referirse a las computadoras conectadas a una red, que proveen y utilizan servicios de ella.

clase de servicio y un registro de excepciones acerca de los problemas de la capa de sesión, presentación y aplicación

4. Capa de transporte

La capa de transporte segmenta los datos originados en el host emisor y los ensambla de nuevo en una corriente de datos dentro del sistema del host receptor. El límite entre la capa de transporte y la capa de sesión puede imaginarse como el límite entre los protocolos de aplicación y los protocolos de flujo de datos. Mientras que las capas de aplicación, presentación y sesión están relacionadas con asuntos de aplicaciones, las cuatro capas inferiores se encargan del transporte de datos.

3. Capa de red

La capa de red es una capa compleja, que proporciona conectividad y selección de ruta entre dos sistemas de hosts que pueden estar ubicados en redes geográficamente distintas.

2. Capa de enlace

La capa de enlace de datos proporciona tránsito de datos a través de un enlace físico. Al hacerlo, la capa de enlace de datos se ocupa del direccionamiento físico (comparado con el lógico), la topología de red, el acceso a la red, la notificación de errores, entrega ordenada de tramas y control de flujo.

1. Capa física

Define las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre sistemas finales. Las características tales como niveles de tensión, temporización de cambios de tensión, velocidad de datos físicos, distancias de transmisión máximas, conectores físicos y otros atributos similares son definidas por las especificaciones de la capa física.

3.3.2 Descripción de los protocolos más utilizados en la industria: Modbus

En el apartado siguiente se describen los protocolos que se han desarrollado para la industria, en específico se describe el protocolo Modbus, el más utilizado en sistemas de comunicación entre dispositivos, que presentan la topología maestro/esclavo.

Protocolo Modbus

Desarrollado por Modicon para establecer la comunicación de los controladores lógicos programables (PLC; Programmable Logic Controller) que fabricaba (actualmente esta marca pertenece a Schneider Electric).

Debido a su simplicidad y especificación abierta, actualmente es ampliamente utilizado por diferentes fabricantes de dispositivos como: PLC, HMI, RTU, Drives, sensores y actuadores remotos.

El protocolo Modbus establece un modelo de maestro/esclavo en el que se plantea una pregunta por parte del maestro y se espera una respuesta del esclavo. Se establecen direcciones tanto al maestro como a los esclavos, que permite una jerarquía ordenada de solicitudes y respuestas. La dirección de los esclavos es fija y va en el rango de 1 a 247.

Es posible utilizar el protocolo con señales RS232³ y RS485⁴, pero es normalmente utilizado por señales RS485 ya que RS232 fue diseñado para comunicaciones punto a punto y con un límite de 9 metros entre los puntos. El RS485 fue diseñado para ser multipunto, lo que permite la conexión de 32 dispositivos de diferentes marcas de igual manera permite conectar más de 32 dispositivos a una longitud mayor a 1.6km.

El control especifica: el formato de trama, secuencias y control de errores. En la figura 3.1 se ejemplifica el formato general de una trama⁵ en el protocolo Modbus.

³ **RS232** (Recommended Standard 232, también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de Comunicación de datos), más adelante se comentará más acerca de este estándar .

⁴ **RS-485** o también conocido como **EIA-485**, que lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física (capa 7) del Modelo OSI.

⁵ En redes una **trama** es una unidad de envío de datos, es un equivalente de paquete de datos o de red, en el Nivel de enlace de datos del modelo OSI

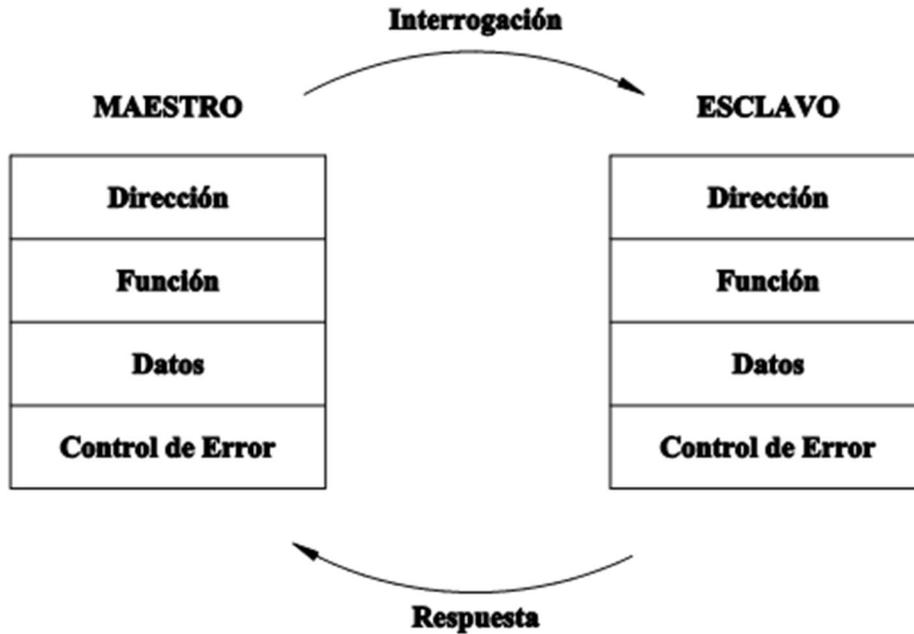


Figura 3.1. Formato general de interrogación y respuesta utilizado por Modbus.

Existen dos variantes del protocolo Modbus: ASCII y RTU.

ASCII

La principal ventaja del protocolo Modbus ASCII radica en permitir intervalos de tiempo de hasta un segundo de duración entre caracteres, sin causar un error. Esto es beneficioso para las comunicaciones que tienen retrasos. Por ejemplo, la tecnología de satélites rutinariamente posee retrasos de hasta 2 segundos.

Modbus ASCII establece el inicio de cada mensaje con un carácter de dos puntos ":" (3A en hexadecimal). El final de cada mensaje es finalizado con el retorno de carro y caracteres de salto de línea (CRLF, 0D y 0A en hexadecimal respectivamente), esto permite que el espacio entre los bytes sea variable, lo que es adecuado para la transmisión a través de algunos módems.

El protocolo Modbus ASCII no es usualmente utilizado para mover cadenas de caracteres ASCII puras, como por ejemplo "JAN-16-1994".

En el protocolo Modbus ASCII cada byte en el mensaje es enviado como dos caracteres ASCII.

La figura 3.2 exhibe la trama del protocolo Modbus ASCII.

Modo ASCII					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
:	2 bytes	2 bytes	N x 2 bytes	2 bytes	CR + LF

Figura 3.2. Formato de trama ASCII

RTU

En el protocolo Modbus RTU, los bytes son enviados consecutivamente sin espacio entre los mismos; con 3.5 caracteres de espacio entre mensajes como delimitador. Esto facilita al programa conocer el momento en que un nuevo mensaje está iniciando.

Cualquier retraso entre bytes evocará en que se interprete por parte del protocolo Modbus RTU como un nuevo mensaje, lo cual resulta óptimo para el trabajo con módems.

En Modbus RTU cada byte en un mensaje contiene 2 caracteres de 4 bits en hexadecimal.

La principal ventaja del protocolo Modbus RTU, resulta de la gran densidad de caracteres que garantiza una mejor transferencia de caracteres que su contraparte, como lo es el protocolo ASCII.

En la figura 3.3 se presenta el formato de trama del protocolo Modbus RTU.

Modo RTU					
Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
Tiempo de 3 bytes	1 bytes	1 bytes	N x 1 bytes	2 bytes	

Figura 3.3. Formato de trama ASCII

Protocolo PCT/IP

Las siglas TCP/IP referencian un conjunto de protocolos para comunicaciones de datos, que toma su nombre de dos de sus protocolos, el protocolo TCP (Transmission Control Protocol) y el protocolo IP (Internet Protocol).

La evolución del protocolo TCP/IP siempre ha estado muy ligado al de Internet. En 1969 la agencia de proyectos de investigación avanzada, ARPA (Advanced Research Projects Agency) desarrolló un proyecto experimental de red conmutada de paquetes al que denominó ARPAnet.

La popularidad del protocolo TCP/IP se debe a factores como la Internet, como a una serie de características que responden a las necesidades actuales de transmisión de datos en todo el mundo, entre las cuales destacan las siguientes:

- Los estándares del protocolo TCP/IP son abiertos y ampliamente compatibles con todo tipo de sistemas, ya que son desarrollados independientemente del hardware de los computadores o de los sistemas operativos.
- El protocolo TCP/IP funciona usualmente sobre cualquier tipo de medio, sin importa si es una red Ethernet, una conexión ADSL o una fibra óptica.
- El protocolo TCP/IP emplea un esquema de direccionamiento que asigna a cada equipo conectado una dirección única en la red, aunque la red sea tan extensa como Internet.

El protocolo TCP/IP fue creado anteriormente al modelo de capas OSI, por lo que los niveles del protocolo TCP/IP no coinciden exactamente con los siete que establece el OSI. En la figura 3.4 se representa un modelo de cuatro capas TCP/IP y su correspondencia con el modelo de referencia OSI.

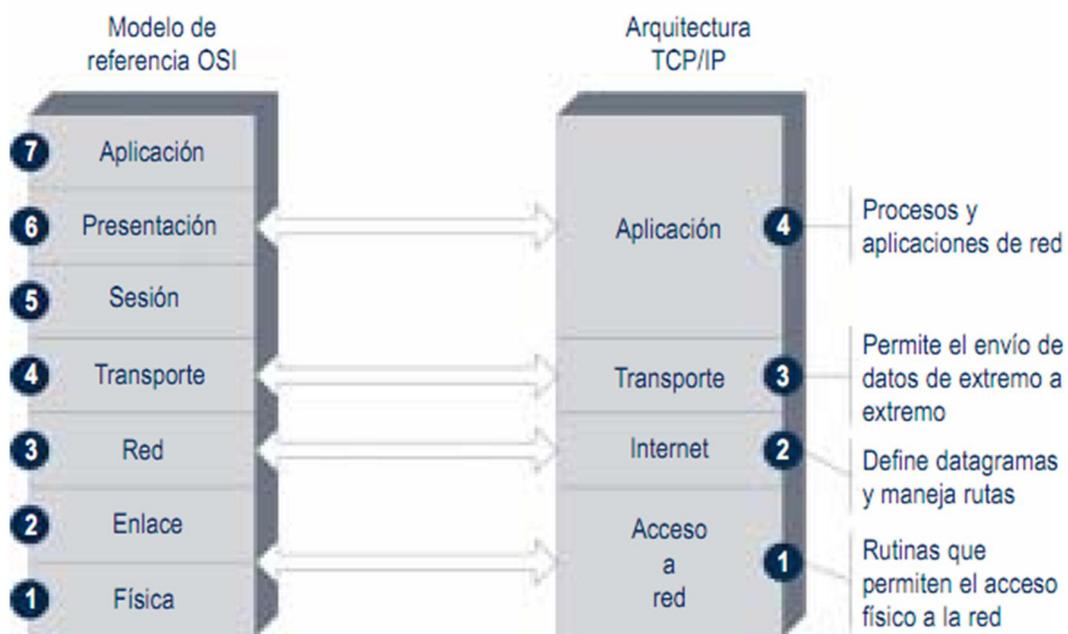


Figura 3.4. Correspondencia del modelo OSI con el modelo TCP/IP

Los datos que son enviados a la red, recorren la pila del protocolo TCP/IP desde la capa más alta de aplicación, hasta la más baja de acceso a red. En el momento en que son recibidos recorren la pila de protocolo en el sentido contrario.

Durante estos recorridos, cada capa añade o sustrae cierta información de control a los datos para garantizar su correcta transmisión. Lo que se debe a que el protocolo TCP/IP es la unión de dos protocolos a saber:

- El protocolo TCP funciona en el nivel de transporte del modelo de referencia OSI, proporcionando un transporte fiable de datos.
- El protocolo IP funciona en el nivel de red del modelo OSI, y permite el encaminamiento de los datos hacia otras máquinas.

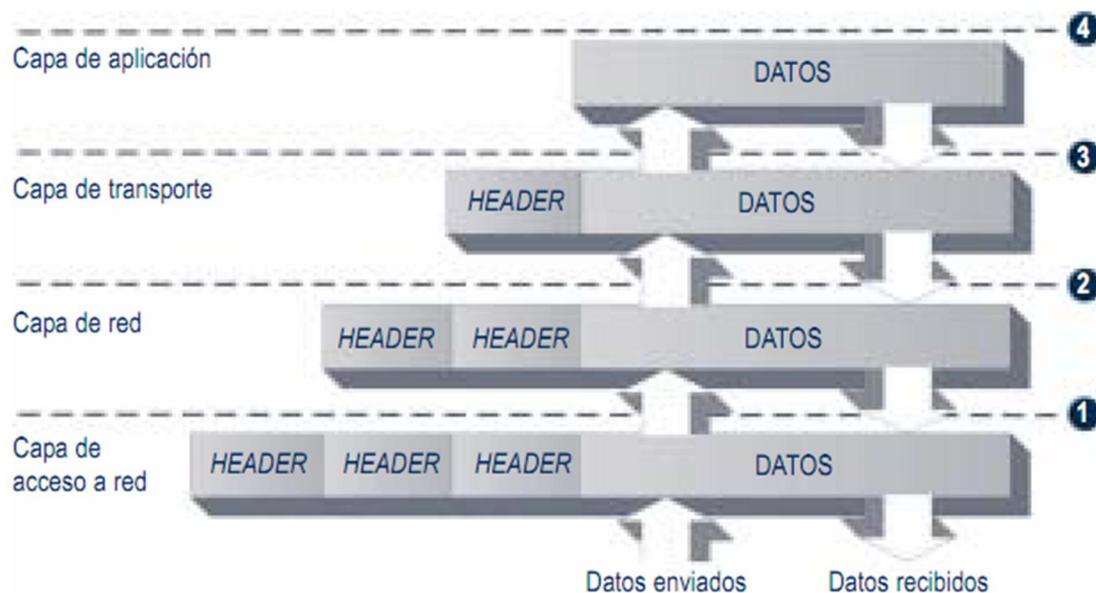


Figura 3.5. Encapsulado de datos por los niveles TCP/IP.

La información de control que se añade o sustrae en cada capa, se sitúa antes de los datos que se transmiten, por lo que esta información se denomina cabecera (en inglés, header). En la figura 3.5 es posible ver cómo cada capa añade una cabecera a los datos que se envían a la red, este proceso es conocido como encapsulado.

Si en lugar de transmitir datos, se trata de recibirlos, el proceso sucede al contrario. Cada capa elimina su correspondiente cabecera hasta que quedan solamente los datos.

La capa de acceso a red se ubica en el nivel más bajo dentro de la jerarquía del protocolo TCP/IP. En esta capa es donde se define la forma en que se encapsula un datagrama IP en una trama.

Otra función importante de esta capa, es la de permitir el asociar las direcciones lógicas IP a direcciones físicas de los dispositivos adaptadores de red (NIC, en inglés network interface card o tarjeta de red).

Dirección lógica IP

El protocolo TCP/IP designa un único número a cada máquina enlazada, el mismo consta de 32 bits que se presenta en un número de cuatro grupos de 8 bits cada uno en formato decimal y separados por un punto, por ejemplo, 150.217.131.78.

Las direcciones IP son constituidas por una parte que indica la dirección de la red y otra que indica la dirección de la máquina dentro de la misma red. El número de bits que se asignan al identificador de la red y al identificador de la máquina, dependen de las necesidades de cada red. Así, es posible encontrar direcciones del tipo r.m.m.m, r.r.m.m, r.r.r.m (r ≡ identificador de red; m ≡ identificador de la máquina) o lo que es lo mismo, direcciones multicast (Permiten el envío de información a grupos de máquinas, en vez de a una máquina concreta). Estas direcciones no se asignan aleatoriamente, más bien es el organismo internacional InterNIC (en inglés, Inter Network Information Centers o red virtual de centros de información) el que realiza las funciones de registro de direcciones Internet y de nombres de dominio. El InterNIC asigna las direcciones de red y el administrador local las de máquina.

Es posible hallar diferentes clases de direcciones IP, las cuales se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Diferentes clases de direcciones IP

Clase	Rango	Formato	Nº nodos	Asignación
A	0.0.0.0 a 127.255.255.255	r.m.m.m	2 ²⁴	Grandes redes estatales
B	128.0.0.0 a 191.255.255.255	r.r.m.m	2 ¹⁶	Universidades y grandes empresas
C	192.0.0.0 a 223.255.255.255	r.r.r.m	256	Pequeñas organizaciones y empresas, y proveedores
D	224.0.0.0 a 239.255.255.255	r.r.r.r	todos	Direcciones ^o multicast (distribución)
E	240.0.0.0 a 247.255.255.255	-	-	Reservadas para uso futuro

Otra función importante de esta capa es la de asociar las direcciones lógicas IP a direcciones físicas de los dispositivos adaptadores de red (NIC). Por ejemplo: la dirección IP 192.168.1.5 de un ordenador se asocia a la dirección MAC⁶ (en inglés, Media Access Control o Control de Acceso al Medio) 00-0C-6E-2B-49-65. La primera es elegida por el usuario (incluso, un mismo ordenador puede trabajar con diferentes direcciones IP). Sin embargo la segunda no es posible cambiarla e identifica inequívocamente al adaptador NIC dentro de la red Ethernet.

La capa Internet se posiciona justo por encima de la capa de acceso a red. En este nivel el protocolo IP es el gran protagonista. Existen distintas

⁶ Identificador de 48 bits (6 bloques hexadecimales) que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red

versiones del protocolo IP, como lo es el protocolo IPv4 que es en la actualidad el más empleado, aunque el crecimiento exponencial en el tamaño de las redes compromete cada vez más su operatividad. La cantidad de equipos IPv4 que es permisible direccionar comienza a parecer corto.

Para poner remedio a esta situación se ha desarrollado la versión IPv6, con una capacidad de direccionamiento muy superior a IPv4, pero totalmente incompatible.

Frecuencia

Magnitud que mide la cantidad de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.

Para calcular la frecuencia de un fenómeno, se cuenta el número de veces que ocurre este en un intervalo tiempo, seguidamente se divide por el tiempo transcurrido. Según el Sistema Internacional (SI), la frecuencia se mide en Hertzios (Hz), equivaliendo 1 Hz a un evento realizado por segundo.

Para realizar el cálculo de la frecuencia se mide el tiempo entre dos repeticiones, lo que equivale al periodo, y luego se calcula la frecuencia f reciproca tal y como se paut a continuación:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (3.1)$$

Potencia Activa

Cuando se conecta una carga resistiva en un circuito de corriente alterna, el trabajo útil que genera dicha carga determinará la potencia activa que tendrá que proporcionar la fuente de fuerza electromotriz (FEM).

La potencia activa se representa por medio de la letra P y su unidad de medida es el Watt (W).

La ecuación que representa la potencia y que consume un equipo eléctrico cualquiera monofásico de corriente alterna es la siguiente:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \text{ [W]} \quad (3.2)$$

Dónde:

P : Potencia de consumo eléctrico.

I : Intensidad de corriente que fluye por el circuito, en ampere [A].

$\cos(\varphi)$: Valor del factor de potencia.

V : Tensión eléctrica en voltios [V].

Impedancia

La impedancia Z de un circuito eléctrico resulta de la relación entre la tensión aplicada V en voltios y de la corriente I en amperios. En corriente alterna la impedancia Z consta de una parte real denominada resistencia R (resistencia efectiva) y de una parte imaginaria llamada reactancia X (resistencia reactiva).

a. La reactancia puede ser de dos tipos, inductiva X_L y capacitiva X_C . La reactancia inductiva está determinada por la inductancia del circuito y se expresa como:

$$X_L = j\omega L = 2\pi fL [\Omega] \quad (3.3)$$

Dónde:

ω : Frecuencia angular en $\left[\frac{rad}{s}\right]$

f : Frecuencia en Hertzios [Hz]

L : Inductancia en Henry [H]

b. La reactancia capacitiva está determinada por la capacitancia del circuito, y se expresa como:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} [\Omega] \quad (3.4)$$

Dónde:

ω : Frecuencia angular en $\left[\frac{rad}{s}\right]$

f : Frecuencia en Hertzios [Hz]

C : Capacitancia faradios [F]

Potencia Reactiva (Q)

Esta potencia es consumida por los circuitos de corriente alterna que tienen conectadas cargas reactivas, como lo son: motores, transformadores y cualquier otro dispositivo similar que posea devanados. Estos dispositivos no sólo consumen la potencia activa que suministra la fuente de FEM, sino también potencia reactiva.

La potencia reactiva no proporciona ningún tipo de trabajo útil, pero los dispositivos que poseen devanados de cobre, requieren este tipo de potencia para poder producir el campo magnético con el cual trabajan.

La unidad de medida de la potencia reactiva es el volt-ampere reactivo (VAR). La ecuación que representa la potencia reactiva de un circuito eléctrico es la siguiente:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad [VAR] \quad (3.5)$$

Dónde:

Q: Valor de la carga reactiva o inductiva, en Volt-Ampere reactivo [VAR].

S: Valor de la potencia aparente o total, expresada en Volt-Ampere [VA].

P: Valor de la potencia activa, expresada en Watt [W].

Potencia aparente

La potencia aparente (S), o "potencia total", es el resultado de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva. Esta potencia es la que realmente suministra una planta eléctrica cuando se encuentra funcionando al vacío, es decir, sin ningún tipo de carga conectada, mientras que la potencia que consumen las cargas conectadas al circuito eléctrico, es potencia activa.

La potencia aparente se representa con la letra "S" y su unidad de medida es el volt-ampere [VA]. La fórmula matemática para hallar el valor de este tipo de potencia es la siguiente:

$$S = V \cdot I \quad [VA] \quad (3.6)$$

S: Potencia aparente o total, expresada en volt-ampere [VA].

V: Tensión eléctrica en voltios [V].

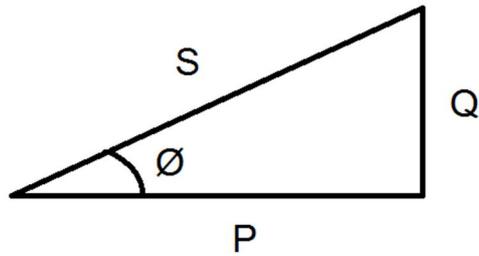
I: Intensidad de corriente, en ampere [A].

Factor de potencia

El factor de potencia se define como el cociente de la potencia activa entre la potencia aparente.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos\phi$$

Comúnmente, el factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.



En electrotecnia, el ángulo \varnothing indica si las señales de tensión y corriente se encuentran en fase.

Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede ser:

- Adelantado.
- Retrasado.
- Igual a 1.

En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto a la tensión, por lo tanto $\varnothing < 0$, lo que involucra que el factor de potencia se considera retrasado.

En las cargas capacitivas como los capacitores, la corriente se encuentra en adelanto respecto a la tensión, por lo tanto $\varnothing < 0$, lo que implica que el factor de potencia se considera en adelanto.

En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, la tensión y la corriente se encuentran en fase, por lo tanto $\varnothing = 0$, lo que determina un factor de potencia unitario.

Capítulo 4. Procedimiento metodológico

4.1. Reconocimiento y definición del problema

En lo que concierne al reconocimiento del problema, se recaudó información de los ingenieros encargados de la planta de concreto MIPSAs del Proyecto Ampliación Planta Cachí, debido a que estas personas son las que llevan a cabo las tareas de reparación y mantenimiento en la planta. Además se tomó en cuenta la opinión de los ingenieros del MET que son los encargados de diseñar este tipo de máquinas en su totalidad para los proyectos de ICE.

Es imprescindible resaltar que además de la investigación realizada sobre el tema en cuestión, la elaboración de diagramas de flujo y planos eléctricos de la planta MIPSAs, contribuyeron aún más en el entendimiento del problema.

La meta y restricciones del proyecto se obtuvieron gracias a la propuesta del proyecto por parte del ingeniero asesor del ICE, quien definió desde el principio que se deseaba hacer, basado en el entorno, recursos del proyecto y observaciones de mi persona para con el proyecto.

4.2. Obtención y análisis de información

La mayoría de la información recopilada para el entendimiento del problema proviene de los técnicos, ingenieros y operarios de la planta quienes son los que poseen la experiencia necesaria para determinar cuáles son los problemas que exhibe la planta.

Otra fuente de información vital fue las hojas de datos, manuales de usuario y programas de los dispositivos seleccionados como parte de la solución, así como información obtenida de Internet.

Como método de evaluación para la información obtenida se pidió opinión al ingeniero a cargo del taller de equipos del ICE así como al ingeniero del MET, también se estudió los requerimientos técnicos del control actual de la planta de concreto.

Dentro de las restricciones, se tiene por ejemplo que los equipos que se planeaban colocar en la planta, tenían que ostentar estándares industriales además de ser a fin a los equipos que están actualmente en la planta.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Dentro de las alternativas posibles para solucionar el problema, se propusieron varias opciones las cuales tomaron en cuenta la investigación bibliográfica al igual que la información recopilada de las entrevistas a los técnicos, tanto eléctricos así como mecánicos.

La validez de la solución se llevó a cabo analizando las características eléctricas y técnicas de los equipos seleccionados y la opinión de los ingenieros.

En la modificación de la solución influyeron los recursos presentes en las instalaciones de la planta, por ejemplo los relés, guarda motores y espacio físico.

Algunos detalles de la solución se discriminaron por la sugerencia del personal del taller y de la planta de concreto, ya que ciertos equipos y detalles de la solución no eran necesarios para el buen funcionamiento de la planta.

4.4 Implementación de la solución

La implementación de la solución se fundamentó en las características técnicas de los equipos seleccionados debido a que este proyecto tiene como producto una propuesta de diseño, y por tanto, las características eléctricas y técnicas eran la herramienta más fiable para verificar que la solución fuere factible.

A lo largo de la implementación de la solución, fue necesario cambiar algunos detalles ya que la monitorización de ciertos dispositivos no representaba importancia clave para el funcionamiento correcto del sistema. Para verificar la información de la solución, se obtuvieron los datos técnicos de los equipos seleccionados, pues mediante esta fue posible examinar la conexión entre equipos y el acoplamiento de los protocolos de comunicación entre ellos.

El análisis de las condiciones de la planta así como de los equipos allí presentes, resultó de vital para verificar la propuesta de diseño así como su factibilidad y compatibilidad con los equipos utilizados en el control actual.

Para dar a conocer el resultado de la investigación, se elaboró un manual de usuario del nuevo sistema de monitorización, que reúne los conocimientos necesarios para implementarlo.

4.5 Reevaluación y rediseño

La variedad de equipos que controlan la planta así como los que tienen un papel con la producción de la planta, ya sea directa o indirectamente, permiten el mejoramiento del sistema que se desea implementar. Se podría mencionar por ejemplo: la automatización de los tanques de agua, que proveen de agua a la planta, donde sería posible colocar en ellos unos sensores de nivel que controlen el llenado de los mismos. Colocar sensores ultrasónicos a los filtros del silo de cemento, para conocer el grado de saturación de cemento que poseen los mismos. Lo anterior para estar al tanto de cuándo estos requieren un proceso de limpieza o de cambio.

Consecutivamente sería posible combinar ambos controles: el control actual de la planta así como el nuevo sistema de monitorización, con la finalidad de tener un panorama más amplio de la puesta en marcha de los equipos en la planta asimismo la utilización de materias primas y el uso del tiempo por parte de los operadores de la planta.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Este proyecto está constituido de tres partes primordiales: la etapa de monitorización, la de manejo de señales y la etapa de comunicación.

En un principio tomando en cuenta mi poca experiencia en sistemas electrónicos industriales, se planteó realizar la captura de las señales de los sensores utilizando un micro-controlador. Más aún que el ingeniero de la obra ambicionaba observar en su celular, las alarmas que el sistema pudiese dar. Por esta razón se planeaba emplear un modelo de estación de trabajo que permitiera la incorporación de un chip SIM GSM para el envío de mensajes de texto a celulares. También se pretendía utilizar este modelo de estación de trabajo, pues la misma tiene un puerto Ethernet incorporado, que sirve de servidor para páginas web.

Una vez estudiado el sistema de la planta, se determinó que una estación de trabajo basada en un micro controlador, no resultaría adecuada ya que no demuestran el nivel de protección presente en la electrónica industrial, ni los requerimientos de hardware, como lo es la memoria necesaria.

Otro criterio manejado para descartar la primera solución, fueron los estándares que se utilizan en la electrónica industrial para la comunicación entre los sensores colocados a los equipos y la CPU, la cual se realiza mediante el protocolo Modbus, que define una manera de comunicación maestro/esclavo que no coincide con el sistema utilizado por el micro-controlador.

Persiguiendo los aspectos necesarios para descartar esta primera solución se tiene el hecho de que los sistemas basados en PLC son muy confiables debido a que su funcionamiento no es perturbado por ruido electromagnético de igual manera que el micro-controlador. Igualmente la forma de alimentación del dispositivo es muy diferente, por ejemplo, en el PLC posible conectar a la fuente de corriente alterna de la planta, 220V, mientras que la estación de trabajo requiere un transformador adicional que no es compatible con la forma en que se sujetan mecánicamente los dispositivos al armario de conexiones.

Una vez que se analizó el control eléctrico de la planta, se estableció que era necesario implementar un sistema basado en PLC debido a la compatibilidad de este con los sistemas instalados en la planta. También la facilidad de programación del PLC y su confiabilidad una vez que se encuentra trabajando.

Se pensó efectuar un sistema PLC usando PLC Siemens S7-200, similares a los que se encuentran trabajando en la planta, pero estos son ya obsoletos.

Esta segunda solución basada en PLC, pretendía utilizar sensores primeramente, luego el PLC y finalmente el sistema SCADA implementado en una computadora para ser visualizado remotamente. El problema que mostró en esta solución fue que la computadora que se halla actualmente en la oficina del operador, es la que corre el programa SCADA actual, lo que implicaría que otras personas tuvieran acceso remotamente al control de la planta. Además, se tendría que trabajar con dos pantallas para visualizar el otro sistema

SCADA, el cual revelaría información eléctrica que no es comprendida por los operarios de la planta.

La figura 3.6 expresa la segunda solución planteada.

Posteriormente se ideó una unidad web server que permitiera mediante una página web visualizar los datos del sistema de monitorización a implementar. La unidad presentaba la posibilidad de introducirle una tarjeta SIM para un Data-card, mediante la cual, la unidad se conecta a Internet inalámbricamente. El problema que se aconteció con esta solución, fue que el lugar donde se encuentra la planta de concreto no existe buena señal para dispositivos celulares, por lo que la unidad web server no funcionaría correctamente. Asimismo muy cerca la planta de concreto se ubica la sub-estación de la casa de máquinas de la represa de Cachí, que contamina electromagnéticamente el ambiente. Adicionalmente el servicio de internet que brinda el Data-card no es de buena calidad y la velocidad es muy inestable, lo que provocaría que no se pudiera observar correctamente las señales del nuevo sistema en la página web.

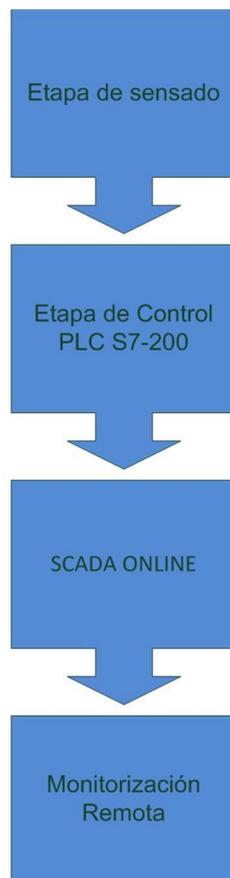


Figura 5.1. Segunda solución planteada.

En una modificación que se le realizó a la computadora de la planta, se le agregó Internet haciendo uso de una conexión de cable, la que es muy estable y de buena velocidad.

Ya con Internet de buena calidad en la cabina del operador, se pensó en utilizar un dispositivo, compatible con el PLC seleccionado de la marca Schneider, que se conectara a Internet mediante cable con conector RJ45. De esta manera se tendría una buena conexión para así poder visualizar los datos del nuevo sistema de monitorización.

En esta solución se cuenta con sensores de potencia trifásica para cada uno de los seis motores de la planta, señales discretas de 24V DC de los contactores que controlan el comportamiento de los motores, las electroválvulas y también las señales de las protecciones de los motores (Guarda motores). Todas estas señales se conectan al PLC para estar al corriente en el momento que se dispara una protección o en el que se conecta un motor o electroválvula y así comparar señales para determinar si algún dispositivo falló.

Se decidió no implementar el envío de mensajes de texto a celulares, en el momento en que se dañe algún elemento de la planta, pues no merecía el gasto de un modem que además no tendría buena recepción debido a la poca señal que hay en el Congo de Tucurrique.

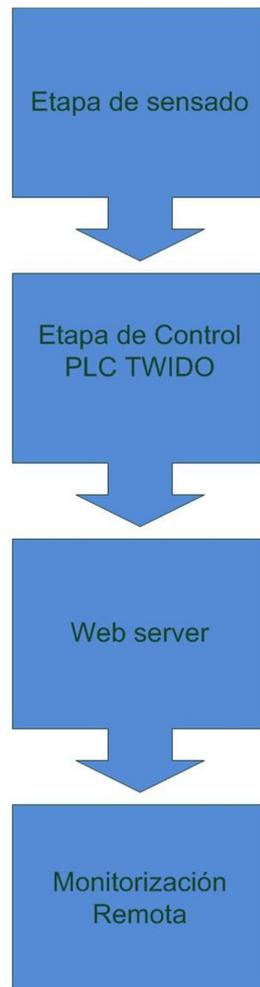


Figura 5.2. Solución final.

5.2 Descripción del hardware

5.2.1 Descripción de los circuitos y diagramas

En esta sección se presenta la información concerniente a los dispositivos necesarios para implementar la solución propuesta. Se describirán los circuitos eléctricos y los diferentes módulos.

En la figura 5.3 se muestra el diagrama de la conexión total del hardware, primeramente se presentan los dispositivos a monitorizar como lo son los 6 motores eléctricos, el silo de cemento, el compresor y las electroválvulas.

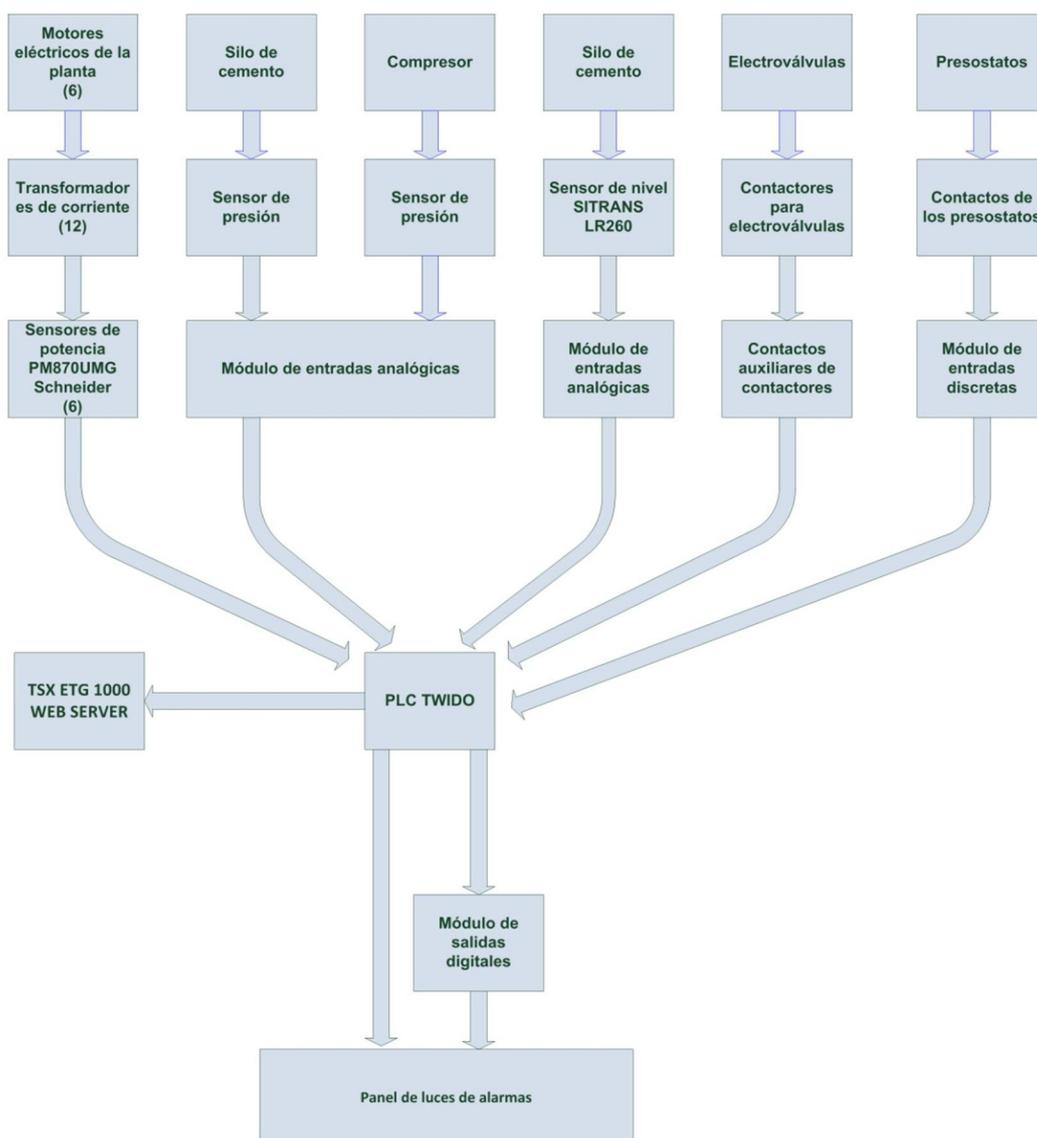


Figura 5.3. Diagrama del hardware total de sistema.

Seguidamente se localizan los sensores que captarán las señales de los componentes seleccionados, que son los sensores de presión para el silo, sensor de presión para el compresor, sensor de nivel del silo y sensores de potencia trifásica, además se localizan los contactores de las electroválvulas y los contactores de los presostatos.

Los sensores de presión y de nivel, requieren módulos de entradas analógicas que convierten la señal a digital con una resolución de 12 bits. Estas señales representan la presión del compresor el cual se maneja con una presión máxima de 127 psi y una mínima de 110 psi, así mismo se cuenta con un sensor de presión al silo, que presenta una presión positiva en el momento que le agregan cemento y una negativa cuando dispensa cemento a la planta.

Al PLC Twido TWDLCAE40DRF se conectan los módulos de salidas digitales, los módulos de entradas analógicas y las entradas discretas de la puesta en acción de las electroválvulas y los presostatos.

En la figura 5.4 se ejemplifica el esquemático del circuito de conexión del PLC. Las salidas del PLC son salidas de relé a las cuales se les debe conectar las dos líneas de corriente alterna L1 y L2 para que estas a su vez conecten los relés que encenderán o apagarán las luces de alarma.

Las señales C1, C2, C3 y C4 corresponden a las señales de los sensores de presión. Las señales S1 y S2 son las señales del sensor de nivel del silo y se encuentran conectadas al módulo de entradas analógicas TWDAMI2HT.

Las señales P1 a P8 son las señales de activación de los presostatos, que confirman el funcionamiento correcto de las electroválvulas.

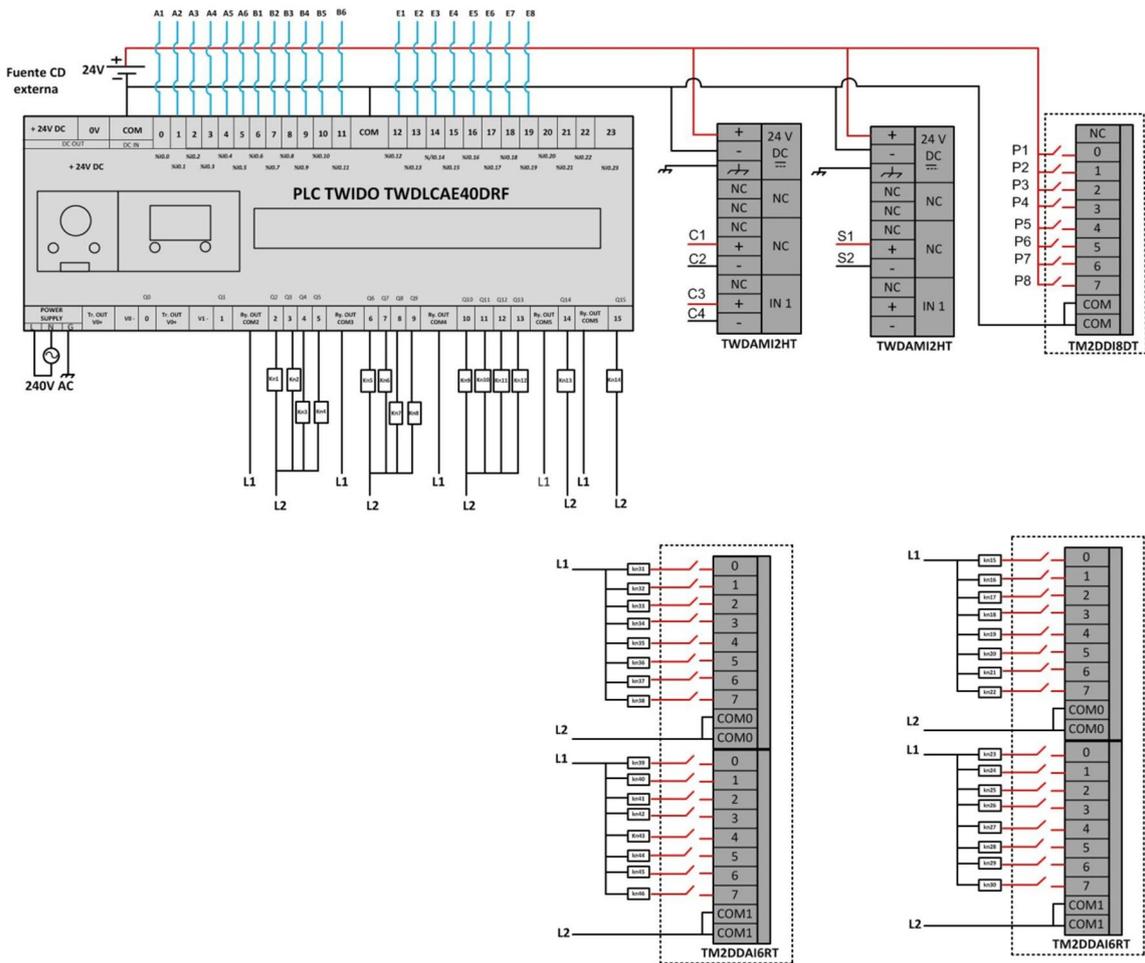


Figura 5.4. Diagrama de conexión del PLC y los módulos

Los módulos de 16 salidas de 240V AC, TM2DDAI6RT, conecta relés que ponen en marcha luces de alarma que anuncian a los operadores de la planta sobre la situación de los dispositivos. Se dispuso anunciar de esta manera el estado de los elementos monitorizados, ya que los operarios de la planta no poseen el nivel técnico para interpretar las lecturas de los sensores. El panel de alarmas se muestra en la figura 5.5.



Figura 5.5. Panel de alarmas.

Tal y como se presenta en la figura 5.5, se manejan una serie de luces que alarman a los operadores de la planta sobre la presión del compresor. Si la presión se encuentra menor a 110 psi el compresor se activa.

Además se observa el nivel del silo de una manera muy discreta, la cual busca informar que nivel de cemento posee. La importancia del tener presente el nivel del silo es que si se descarga el silo, para cargarlo de nuevo, se debe comprobar la temperatura del mismo. Si la temperatura es menor a 65°C si es

posible pasar el cemento del camión al silo, de lo contrario se tiene que esperar que se enfríe.

La presión del silo se maneja con dos valores: 7.8 psi y -0.28 psi, el primer valor se refiere a la presión de alivio de la válvula de seguridad del silo de cemento. Cuando la presión que se presenta dentro del silo en el momento que le están cargando cemento, excede los 7.8 psi, la válvula de alivio libera la presión contaminando el ambiente con una nube densa de cemento.

Por el contrario, si se está extrayendo cemento del silo, la presión negativa no puede exceder los 0.28 psi, ya que más presión destruiría la válvula de alivio y una presión entre -0.28 psi y 0 psi durante el dispensado de cemento conllevaría que el silo se puede comprimir. Esto ya que no se está adicionando aire al silo mientras se descarga cemento.

Posteriormente las protecciones comunican a los operadores cuando se disparó una protección de algún motor por sobre pasar la corriente que el mismo requiere para funcionar, lo que denotaría un daño en la planta.

El estado de los contactores anuncia el buen estado de los motores, ya que la luz enciende si se verificó el disparo de la señal de arranque para el motor, contra la medición de la corriente que circula por el motor. Se monitoriza el registro del Power Meter correspondiente al motor que se ha puesto en marcha, para finalmente contra poner ambas señales: la del registro de la corriente y la del contactor para encender la luz si ambas son correctas.

En la figura 5.6 se observan las conexiones de los contactos auxiliares, de los contactores y las protecciones, por los que se hace pasar una corriente a 24 V DC que se conectan a las entradas del PLC.

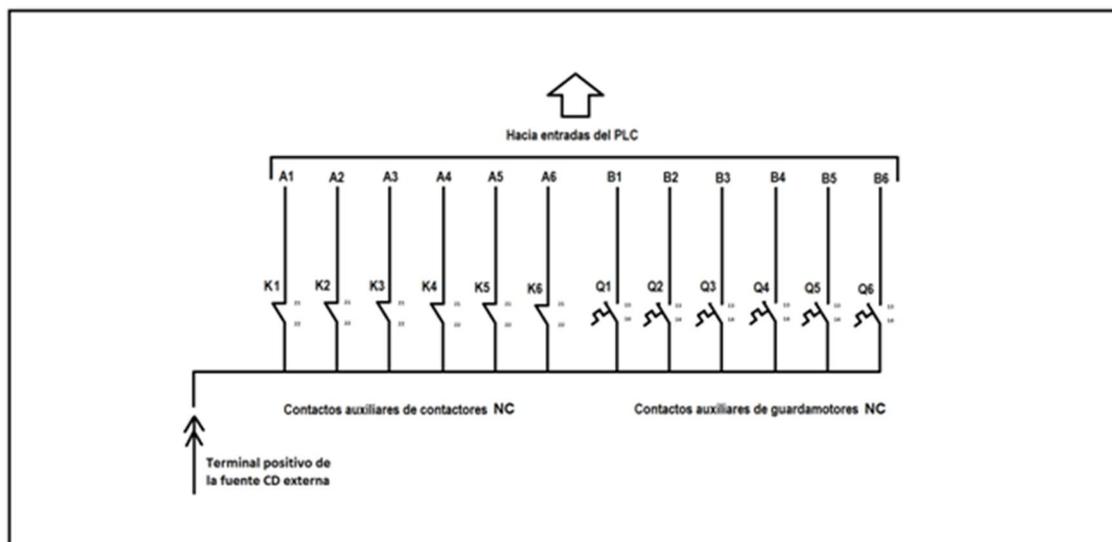


Figura 5.6. Contactos auxiliares de los contactores y las protecciones.

Como se mencionó anteriormente, algunos Power Meter requieren una conexión de transformador de corriente para medir la corriente de los motores. La figura 5.7 exhibe la conexión del medidor de potencia trifásico PM870UMG a los cables que alimentan los motores a monitorizar; L1, L2 y L3 son las 3 fases

de corriente alterna desfasadas 120° una de la otra, TC se refiere a los transformadores de corriente, BC es el bloque de cortocircuito.

Las líneas de conexión de las terminales 18, 19 y 20 pertenecen a las señales del protocolo Modbus. Estas líneas recorren en serie a todos los Power Meter. En la figura 5.8 presenta la conexión de los Power Meter con los motores que no requieren un transformador de corriente para la medición. La conexión total de los medidores de potencia a los seis motores de la planta se muestra en la figura 5.9.

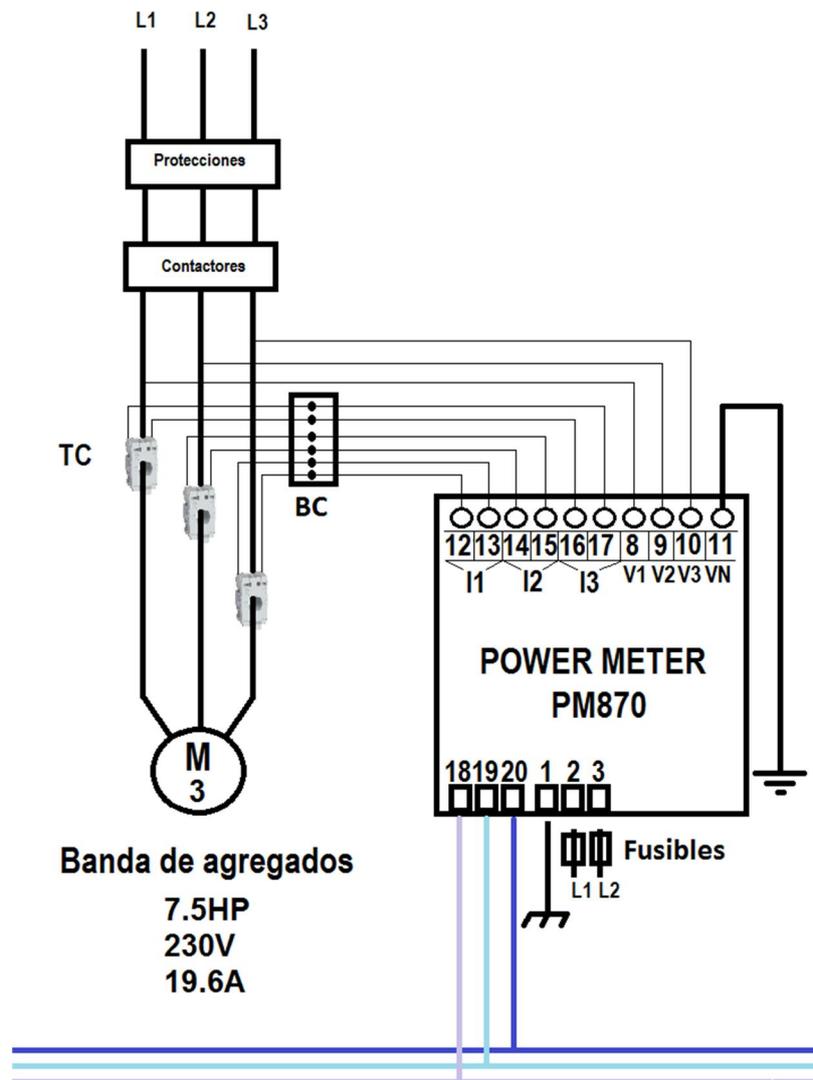


Figura 5.7. Conexión de los Power Meter a los motores que requieren transformadores de corriente: Compresor, bandas de agregados y pesaje, y tornillo de cemento.

Las luces de las electroválvulas al igual que los motores, se encienden si la comparación de las señales de los contactores y la de los presostatos es correcta.

La idea es que cuando se presente la señal que acciona el funcionamiento de las electroválvulas, se coteje contra la señal proveniente de los presostatos que se accionan, en el momento que la presión activa pasa por el tubo que pone en marcha los diferentes elementos neumáticos, por ejemplo: los pistones que dispensan materiales, electroválvulas que permiten el dispensado de cemento entre otros.

Lo anterior es determinante para comprobar el estado de las electroválvulas de la planta, pues estas suelen fallar a menudo por el ambiente en el que se encuentran así como el régimen de trabajo que presentan.

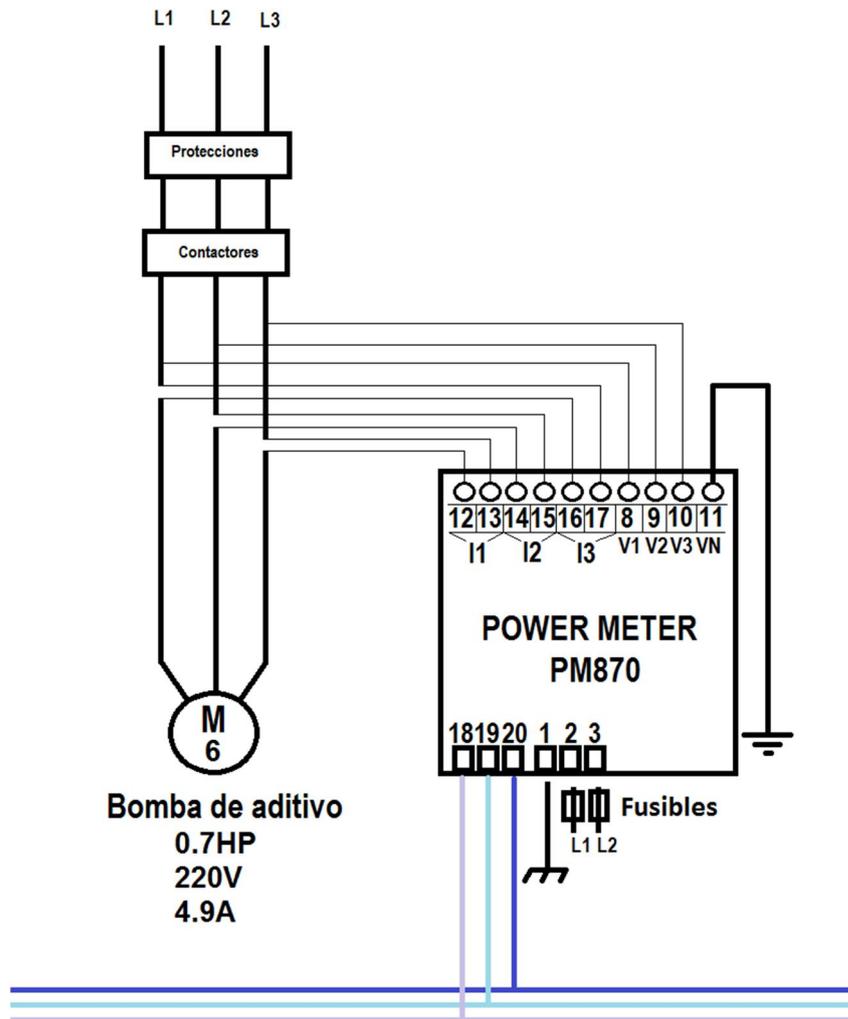


Figura 5.8. Conexión de los Power Meter a los motores que no requieren transformadores de corriente: bomba de agua y bomba de aditivo.

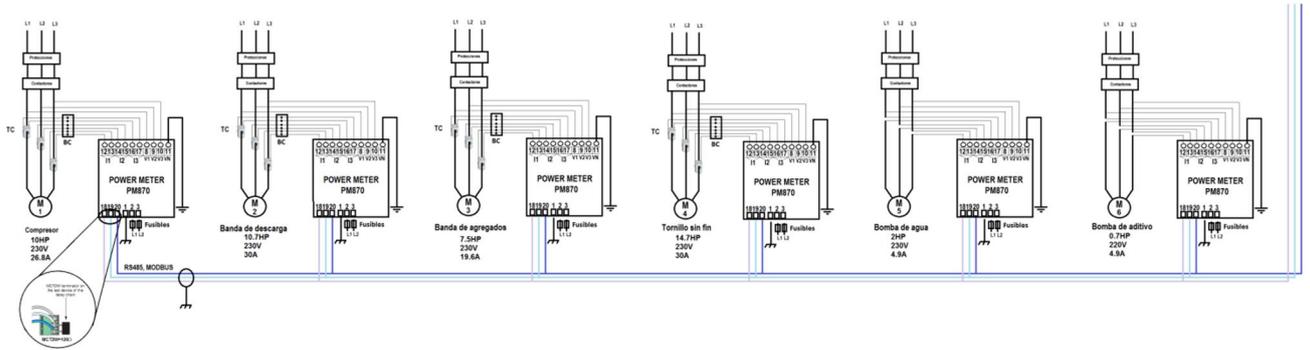


Figura 5.9. Conexión de los Power Meter a los motores de la planta de concreto que se desean monitorizar.

La figura 5.10 muestra los circuitos de conexión de las electroválvulas. Los contactores que accionan las electroválvulas denominados con la letra K en el esquemático, poseen contactos auxiliares disponibles por los que se hace pasar una corriente continua de 24V DC. Las señales denotadas con E, son las señales que se conectan al PLC. En la figura 5.4 se observan estas señales discretas conectadas al PLC, las cuales no pueden sobrepasar los 7 mA o 11 mA dependiendo de las señales.

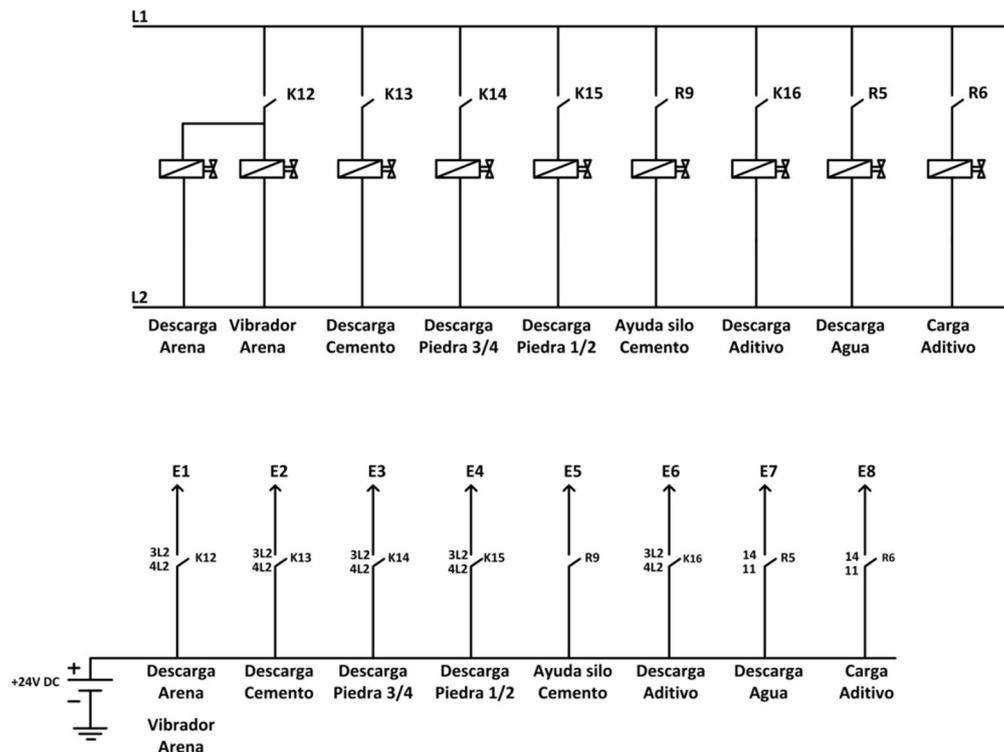


Figura 5.10. Conexión de las electroválvulas y de los contactos auxiliares de los relés.

En la figura 5.11 se presenta el circuito de conexión de los presostatos al sistema de presión de la planta. El conducto de color azul proviene directo del compresor alimentando los diferentes dispositivos neumáticos del sistema.

Los presostatos se activan cuando pasa por la tubería una presión menor a 127 psi y a su vez los presostatos activan unos contactos internos que conducen una corriente directa de 24V DC. Al igual que con las electroválvulas, estas señales de los presostatos, se conectan directo al PLC y se denominan con la letra P en la figura 5.11.

En la figura 5.4 se observan estas señales conectas al PLC.

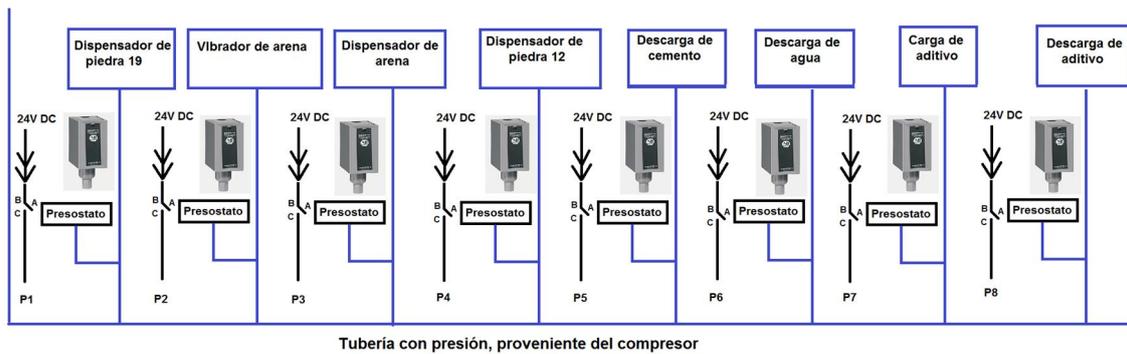


Figura 5.11. Conexión de los presostatos a la tubería de presión de la planta.

5.2.2 Descripción de los dispositivos físicos

Sensor de potencia Power Meter PM870UMG de Schneider

La central de medida PM870UMG es un dispositivo multifuncional, de instrumentación digital, de adquisición de datos y de control. Puede sustituir distintos medidores, relés, transductores y otros componentes. Una central de medida se puede instalar en varios lugares de un edificio.

Esta central de medida está equipada con comunicación RS-485 para su integración en cualquier sistema de control y supervisión de potencia.

La central de medida es un medidor RMS, capaz de medir con una precisión excepcional altas cargas no lineales. Su sofisticada técnica de muestreo permite realizar mediciones RMS y precisas hasta el armónico de orden 63. Es posible visualizar más de 50 valores de medición, además de la gran cantidad de datos máximos y mínimos directamente en la pantalla o de forma remota.



Figura 5.11. Unidad de medida Power Meter PM870UMG.

Transformador de corriente Schneider 16453

El transformador de corriente Schneider trabaja mediante la ley de inducción para transformar la corriente. En el primario soporta una corriente de hasta 100 A y en el secundario la salida es de 5 A.

Posee la capacidad de acoplarse al riel DIN y presenta estándares para la industria a fin.

Estos son los transformadores que se acoplarán a la unidad de medida PM870UMG.



Figura 5.12. Transformador de corriente Schneider 16453.

Sensor de nivel de por radar SIMENS SITRANS LR260 (HART)

El sensor SITRANS LR260 es un pulso radar transmisor de nivel con una conexión de 2-hilos, que trabaja a una frecuencia de 25 GHz, utilizado para la vigilancia continua de sólidos en los recipientes de almacenamiento, en ambientes extremos de polvo y altas temperaturas, a un rango de 30 m (98,4 pies).

El instrumento consta de un componente electrónico acoplado a una antena de bocina con una brida de fijación móvil Easy Aimer.

Las señales se procesan utilizando un proceso inteligente que ha sido probado en campo en más de 1.000.000 solicitudes de todo el mundo (por ultrasonidos y radar).

El sensor SITRANS LR260 es muy fácil de instalar y configurar, mediante una interfaz gráfica de usuario local. Se puede modificar los parámetros incorporados de forma local a través del programador infrarrojo portátil Siemens, o desde una ubicación remota a través de SIMATIC PDM.

Especial para aplicaciones de polvo de cemento, polvo de plástico, granos, harina, carbón y otros.



Figura 5.13. Sensor de nivel de SITRANS LR260 (HART).

Módulo de entradas analógicas Schneider TWDAMI2HT

El módulo de entradas analógicas TWDAMI2HT acepta dos entradas de dos hilos cada una, de 0 - 10V o de 4 – 20mA, para sensores de analógicos.

Posee terminales de tornillo para acoplar los cables y se alimenta con 24V DC a 40mA.

Es posible acoplarlo con riel DIN al sistema y también cuenta con estándares de protección electromagnética.



Figura 5.14. Módulo de entradas analógicas Schneider TWDAMI2HT.

Módulo de salidas digitales Schneider TM2DRA16RT

El módulo de salidas digitales TM2DRA16RT posee 16 salidas de relé, las cuales pueden ser salidas de 24V DC o de 240 V AC con una corriente máxima de 2.5 A por canal.

El módulo consume 24 mA y los cables se acoplan mediante tornillos.

Además presenta incorporado un panel de luces que indica cual entrada está activa, también es posible incorporarlo mediante el riel DIN al armario de conexiones eléctricas.



Figura 5.15. Módulo de salidas digitales Schneider TM2DRA16RT.

Módulo de entradas digitales Schneider TM2DDI8DT

El módulo de entradas digitales TM2DDI8DT tiene 8 entradas digitales de 24V DC a 7 mA, similar al módulo anteriormente descrito, posee un panel de luces para indicar cual entrada está activa, compatible con riel DIN, protecciones electromagnéticas y 7 mA por entrada activa.

Este módulo es el que recibe las señales eléctricas de los presostatos.



Figura 5.16. Módulo de entradas digitales Schneider TM2DDI8DT.

Módulo de comunicación Schneider TSX ETG 1000

El módulo TSX ETG 1000 es un web server que posee 8 MB de memoria para almacenar páginas web creadas por el usuario, además de la que ya trae por defecto configurada internamente. Por medio de este módulo es posible visualizar remotamente las variables que se manejan en PLC así como también los dispositivos Modbus conectados al PLC como lo son los Power Meter.

Permite enviar correos electrónicos a direcciones previamente almacenados en caso de alarmas. Las alarmas se configuran de acuerdo a los valores de las variables que maneja el PLC o los registros de las unidades PM870UMG.

Posee un puerto RJ45 para señales Modbus RTU, un puerto RJ45 para el protocolo TCP/IP mediante el cual es posible conectarse a la Internet y un puerto RS232 para enviar mensajes de texto a celulares.

El módulo TSX ETG 1000 se alimenta con 24V DC y permite la conexión de 16 navegadores de Internet al mismo tiempo.



Figura 5.17. Módulo de comunicaciones Schneider TSX ETG 1000.

PRESOSTATO ALLENT BRADLEY BULLETIN 836E

El presostato Bulletin 836E está diseñado para trabajar con aire, vapor, agua, acetite, líquidos no corrosivos y gases.

Posee ajustes para rangos de presión de operación y de presión diferencial de 0 hasta 125psi.

En la presencia de la presión ajustada anteriormente, activa un contacto simple con doble terminal de acción, tal y como ilustra la figura 5.18.

Un aumento de la presión provoca que se abran los contactos A-B y se cierren los contactos B-C, este proceso se conoce como "Trip". Cuando la presión disminuye a la presión establecida en los controles, los contactos A-B se abren y se cierran los contactos B-C, lo que es conocido como "Reset". Una corriente directa con una tensión de 24V DC se hace pasar por los terminales B-C, hacia el PLC para dar la señal de confirmación del buen estado de las electroválvulas.

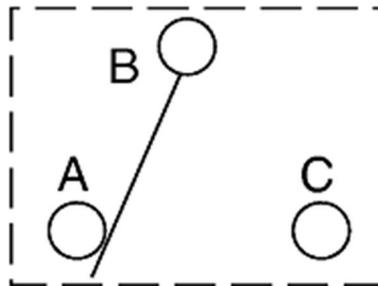


Figura 5.18. Terminales de contactos de presostato.



Figura 5.19. Presostato ALLENT BRADLEY BULLETIN 836.

Sensor de presión Allen-Bradley 836E

Los sensores de presión Allen-Bradley® 836E son capaces de medir la presión del líquido, gas, vapor y el polvo. La familia de productos se compone de diferentes rangos de presión, -15 a 6000 psi, ofreciendo a la vez salidas discretas y analógicas.

Este sensor sin pantalla, se seleccionó con un rango de 0 a 150 psi, tomando en cuenta la presión máxima a la que trabaja el compresor de la planta de concreto, la cual no sobre pasa los 127 psi. El sensor posee una salida analógica de 4 – 20 mA, se alimenta con 24V DC y tiene un consumo menor a los 30 mA.

Está construido en acero inoxidable y cuenta con las protecciones necesarias para la industria.



Figura 5.20. Sensor de presión Allen-Bradley 836E (836E--TD1EN4--D4).

Sensor de presión Allen-Bradley 836E

Este sensor es que se utilizará para monitorizar la presión del silo de cemento, la cual como se mencionado anteriormente, en un momento presenta presión positiva y en otro negativa.

Este sensor se alimenta con 24 V DC con un consumo de 60mA, tiene un rango de presión de -15 psi a +15psi, su salida es analógica de 4 – 20 mA y está construido en acero inoxidable.

Este sensor junto con el sensor de presión para el compresor, se conectan al módulo de entradas analógicas TWDAMI2HT, en la figura 5.4 se observan las señales de ambos sensores correspondientes a las letras C1, C2, C3 y C4 correspondientemente.



Figura 5.21. Sensor de presión Allen-Bradley 836E (836E--DC1CC1D4)

Puerto opcional de comunicación RS – 485

La terminal opcional para comunicación RS-485 se conecta al PLC. Posee tres terminales de tornillo a las cuales se conectan los cables pertenecientes a los módulos de potencia PM870UMG. En la figura 5.23 se muestra la forma de conexión del puerto opcional al PLC así como las etiquetas de los cables del protocolo Modbus.

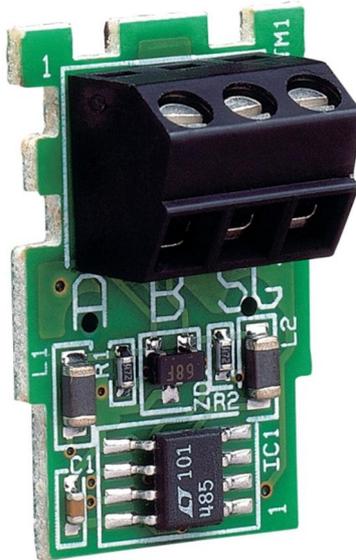


Figura 5.22. Puerto opcional de comunicación Schneider RS – 485.

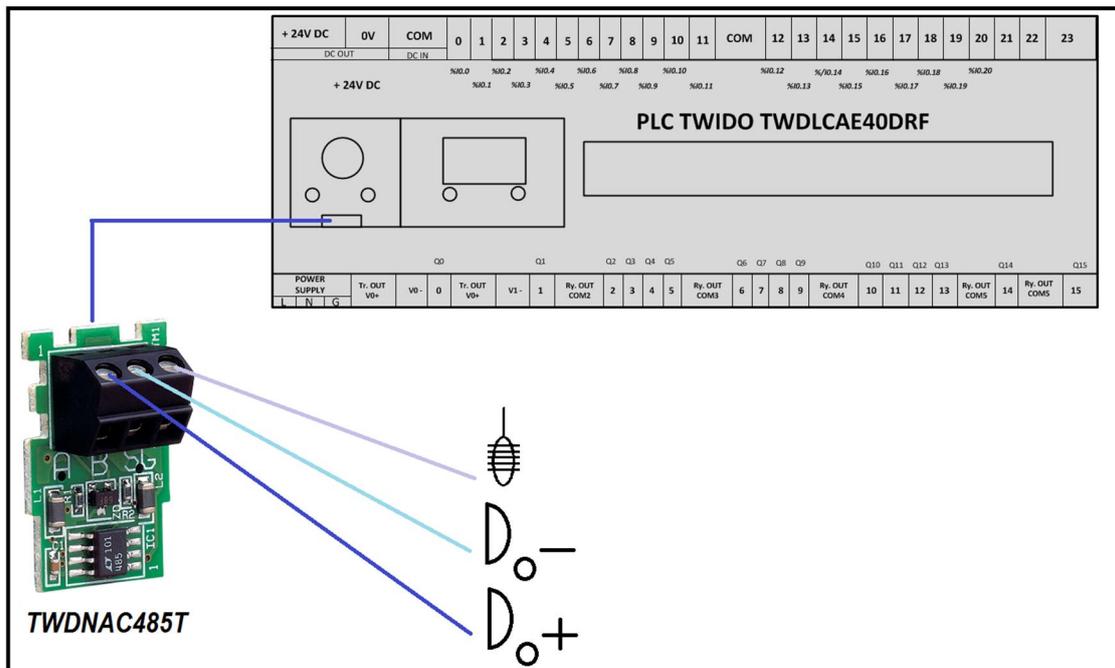


Figura 5.23. Conexión del puerto opcional de comunicación Schneider RS – 485 al PLC.

PLC TWIDO TWDLCAE40DRF de Schneider

El PLC Twido TWDLCAE40DRF presenta 24 entradas discretas que trabajan a una tensión de 24V DC y con una corriente de 7mA y 16 salidas, 14 de relé y 2 de transistores.

Este PLC es totalmente adaptable al sistema DIN, que permite integrarlo al igual que otros componentes del sistema, al armario que usualmente se tienen en las industrias que utilizan electrónica industrial. A este se adjuntan los módulos de entradas analógicas, los de entradas y salidas digitales, todas las señales de control y el módulo de comunicación.

En la figura 5.25 se muestra las diferentes partes del PLC.

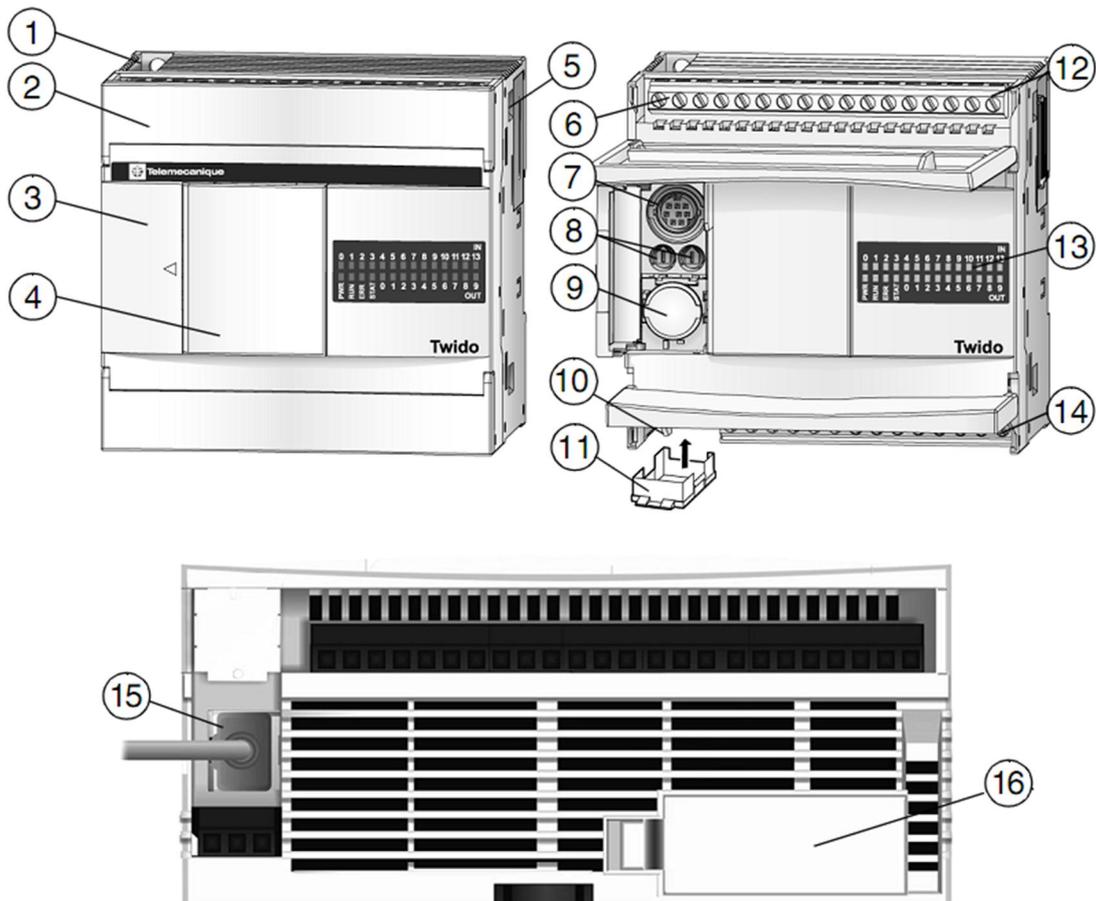
El PLC puede trabajar con los protocolos Modbus: RTU, ASCII y TCP/IP, el puerto RJ45 se utiliza para junto con el puerto serial 1 de la figura 5.25, para monitorizar el comportamiento de las variables y registros de los dispositivos conectados al PLC. Mediante estos puertos se conecta el PLC a la computadora para implementar el programa SCADA. Este sistema no posee o no utilizará una computadora en la caseta del operador para exhibir las medidas realizadas. En cambio, el puerto serial 1 con conector MINI DIN de la figura 5.25 se conecta al puerto RJ-45 para protocolo Modbus del módulo TSX ETG 1000, para así monitorizar el comportamiento de las variables remotamente.

Este PLC permite ser alimentado con una tensión de 240V AC, lo que facilita su adaptación al sistema, ya que las conexiones eléctricas del armario de conexiones de la planta de concreto, trabajan a esa tensión.

Las salidas son de relé, las cuales conmutan a una tensión de 240V AC que a su vez conectan los relés, que se activarán o desactivarán las luces de las alarmas, que se exhiben en la figura 5.5.



Figura 5.24. PLC Twido TWDLCAE40DRF de Schneider.



Etiqueta	Descripción
1	Orificio de montaje
2	Cubierta de terminales

3	Tapa articulada
4	Cubierta extraíble en el conector de visualización del operador
5	Conector de ampliación
6	Terminales de sensores
7	Puerto serie 1
8	Potenciómetros analógicos
9	Conector para puerto 2
10	Terminales de alimentación: 100-240 VAC
11	Cartucho de conector - situado en la parte inferior del controlador
12	Terminales de entrada
13	LED
14	Terminales salida
15	Puerto RJ-45 100Base-TX Ethernet
16	Compartimiento de la batería externa reemplazable por el usuario

Figura 5.25. Partes del PLC Twido TWDLCAE40DRF de Schneider.

5.3 Descripción del software

Tomando en cuenta, que la identidad de este sistema es monitorizar los componentes de la planta que más presentan fallos, el programa de control realiza la verificación de los componentes. Si se produce algún fallo, se emite una luz que alarma a los operarios del fallo y también se comunica vía correo electrónico a los ingenieros encargados de la planta.

En la figura 5.26 se presenta el diagrama de flujo general, donde se aborda la monitorización de la presión del compresor y del nivel de cemento, ya que, tanto el aire como el cemento componen dos de las materias primas más importantes del sistema. Luego se verifica la presión del silo, la cual da a conocer si en ese momento se está cargando cemento o no. Seguidamente se verifica el estado de las protecciones de los motores de la planta, pues si alguna protección se disparó, implicaría que cierto motor ha tenido un problema o que posiblemente otro de los componentes que funcionen paralelamente al motor, está dañado.

Las electroválvulas manejan el flujo de aire hacia todos los componentes neumáticos de la planta. Y que debido al régimen en el que trabajan las mismas, presentan fallos. Por ello, se verifica que la señal de activación se tradujo efectivamente en trabajo real de la planta.

En la figura 5.27 se observa el diagrama de flujo que verifica la presión del compresor.

Recordando lo expuesto anteriormente, el sensor de presión se conecta al módulo de entradas analógicas que almacena en una variable la lectura de la presión. EL valor de la lectura de presión oscila entre 0 y 150 psi, que es la capacidad del sensor. El compresor está graduado para que se apague cuando la presión interna es 127 psi y que emprenda el trabajo nuevamente cuando la presión tiene un valor de 110psi, el sensor traduce estos valores de presión entre 4mA y 20mA. Luego del módulo de entradas analógicas, este rango de corriente se traduce a 12 bits de resolución cuyo valor numérico oscila entre 0 y 4095. En la electrónica industrial que involucre PLC, es común que la salida de los sensores sea lineal con respecto al valor numérico que representa. De esta manera se tiene que 4mA son 0 psi y 0 en valor numérico y 4095 son 20mA, y por consiguiente 150psi. La igualdad presentada anteriormente fue verificada por los representantes de la empresa que fabrica el sensor, Schneider, y por un ingeniero del MET que trabaja en este tipo de sistemas.

Una vez obtenido el dato en la variable, %IW1.0, se compara este valor con la presión de arranque del compresor 110 psi, que se traduce en 3140 en valor numérico. Si la presión resulta menor, se enciende una luz en el panel del operador que indica baja presión en el compresor.

Si la presión es mayor que 110psi, compara de nuevo para determinar si la presión es menor a 120psi, en tal caso se emite una alarma de presión correcta. De modo contrario, si la presión resulta mayor a 127psi se dispara una alarma indicando que la presión es alta por medio de un correo electrónico a los ingenieros de la planta.



Figura 5.26. Diagrama de flujo general del sistema.

La figura 5.28 muestra el diagrama de flujo del nivel del silo, donde una vez obtenido el valor del nivel de cemento y almacenado en la variable %IW2.0, se compara con cero para determinar si el silo está totalmente vacío. Esta condición es poco probable, pero es necesaria la verificación.

Si el nivel del silo es cero, se enciende una luz de alarma y se escribe en el registro 802 de correo electrónico de la unidad TSX ETG 1000.

Si el nivel del silo resulta mayor a cero, se verifica que el cemento existente sea menor al 25%, en cuyo caso se dispara una alarma.

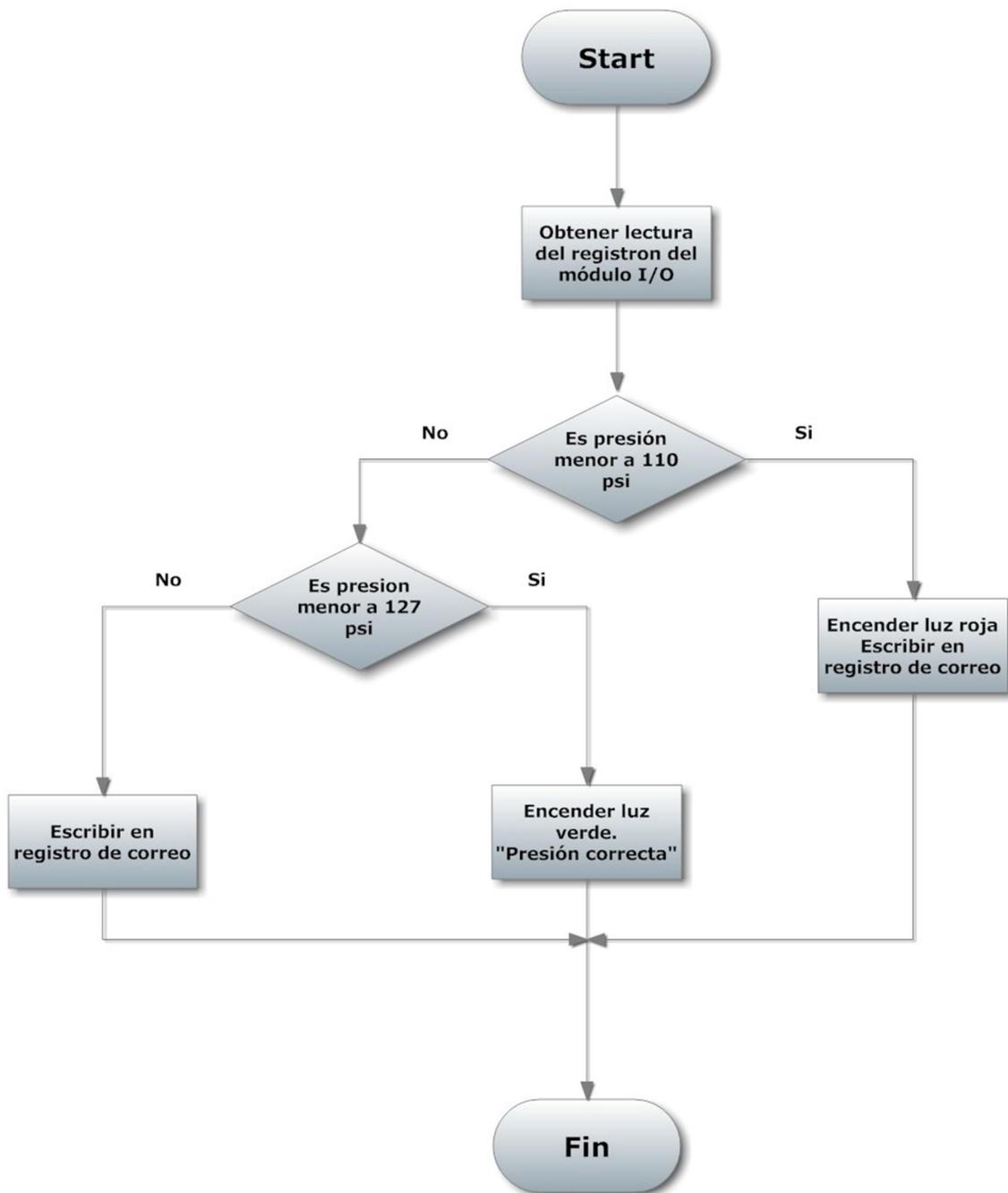


Figura 5.27. Diagrama de flujo de compresor.

Si el nivel del silo es mayor al 25% y menor al 75% se enuncia mediante una luz verde que el nivel de cemento es correcto. Si el nivel del silo es mayor al 75% y menor al 100%, se enciende una luz verde.

Finalmente si el nivel del silo es 100% se alarma con una luz roja que el nivel no puede subir más, ya que dañaría el sensor de radar para el nivel así como los filtros de aire que posee en la parte superior.

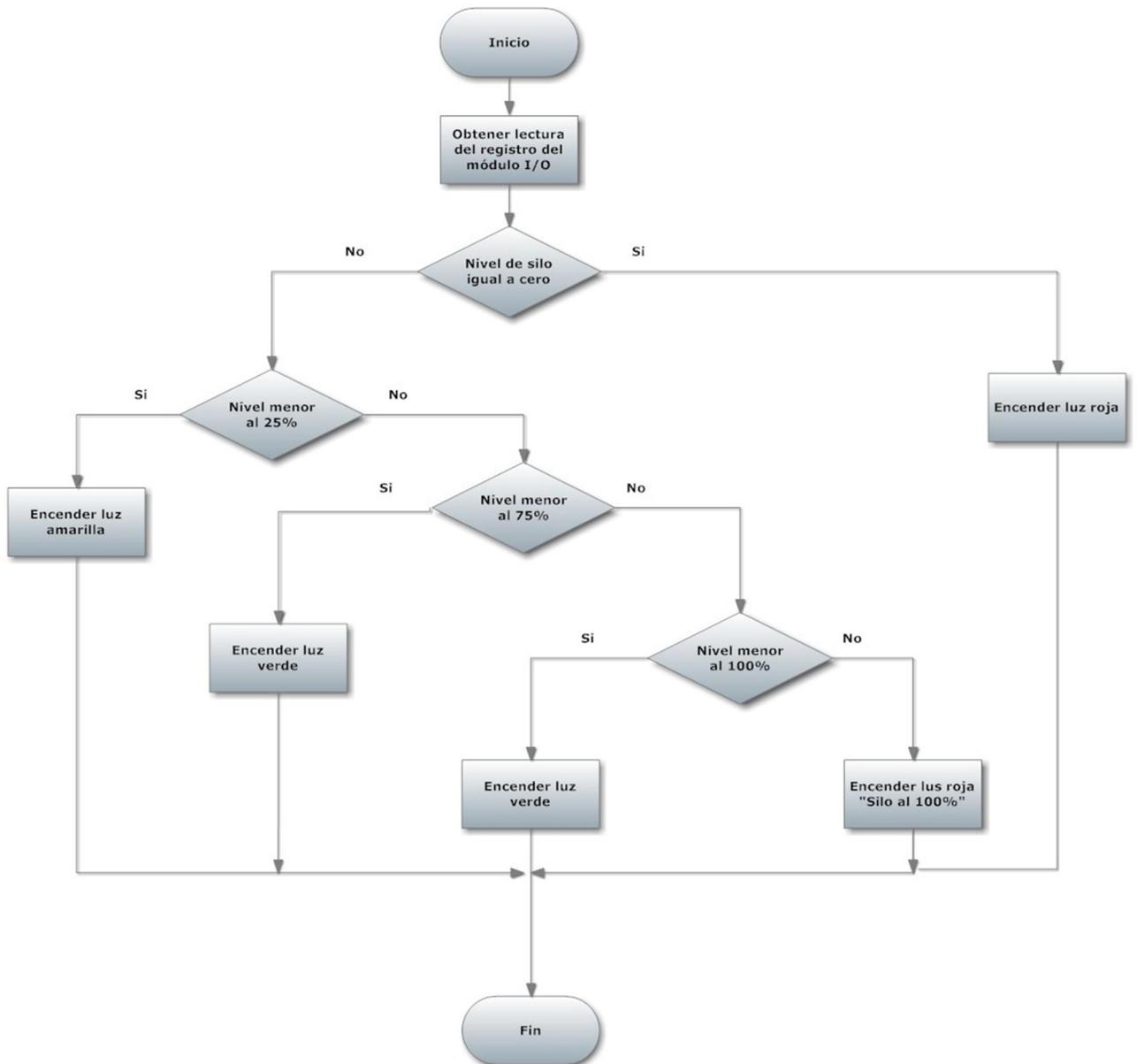


Figura 5.28. Diagrama de flujo del nivel del silo.

El silo que almacena el cemento se carga con el uso de un camión cisterna llamado “Marrana”, el cual traspasa el cemento a otro camión estacionario que posee el ICE. Se debe tomar la temperatura del cemento, la cual tiene que ser menor a 65° C para poder pasar el cemento.

El silo tiene incorporado un filtro y una válvula de protección en la parte superior, que trabajan cuando se carga con cemento el silo. En el momento que se carga el silo la presión es positiva y no puede exceder los 7.8 psi, presión de alivio de la válvula cuando la presión es positiva y que produce una nube de cemento enorme cuando se sobrepasa la presión de alivio. En ese caso, el cemento liberado cae sobre la subestación de la casa de máquinas de la represa de Cachí, lo que es un problema grave.

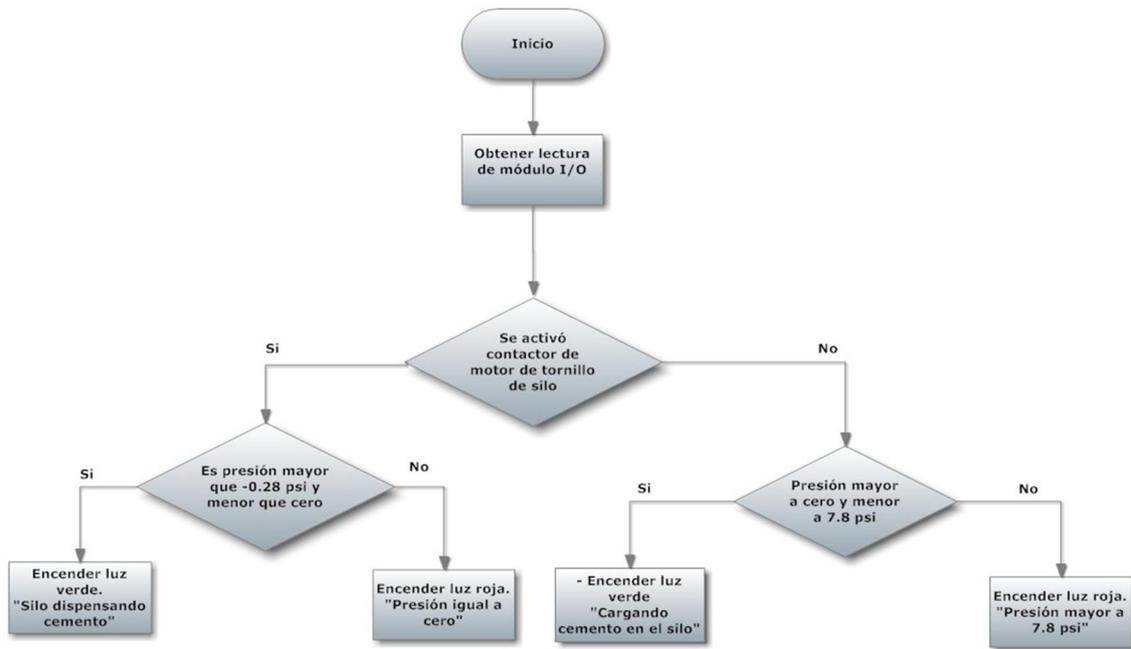


Figura 5.27. Diagrama de flujo de presión del silo.

Cuando el silo está dispensando cemento a la planta, se produce una presión negativa en el silo, gracias al movimiento del tornillo sin fin, que extrae cemento del silo hacia la banda transportadora. Esta presión negativa no puede sobrepasar los -0.28 psi, presión a la cual la válvula se abre para que entre más aire, lo que destruiría la válvula.

Cuando se extrae cemento del silo entra aire que ocupa el lugar de cemento que se ha retirado, por tal razón la presión en el silo no puede ser nunca 0 psi porque esto contraería el silo, destruyéndolo, lo cual representa un daño común en estos dispositivos.

En la figura 5.27 se muestra el diagrama de flujo del control de presión del silo, que seguidamente de obtener del módulo analógico el valor en decimal de la lectura de presión, se almacena en la variable %IW1.0.

Consecutivamente se verifica si el motor que mueve el tornillo sin fin, está activo ya que si es así, se medirá presión negativa y por ende se determina que la presión sea mayor a -0.28 psi pero menor a 0 psi. Si la comparación resulta, se activa una luz verde que enuncia que se está dispensando cemento a una presión correcta.

Si no está trabajando el tornillo, se verifica que la presión en ese momento sea menor a 7.8 psi, lo que significa que se está cargando el silo con cemento. Para el caso en que la presión sea mayor a 7.8 psi, se da una alarma que indica presión alta en el silo, por consiguiente, se puede dañar la válvula de presión.

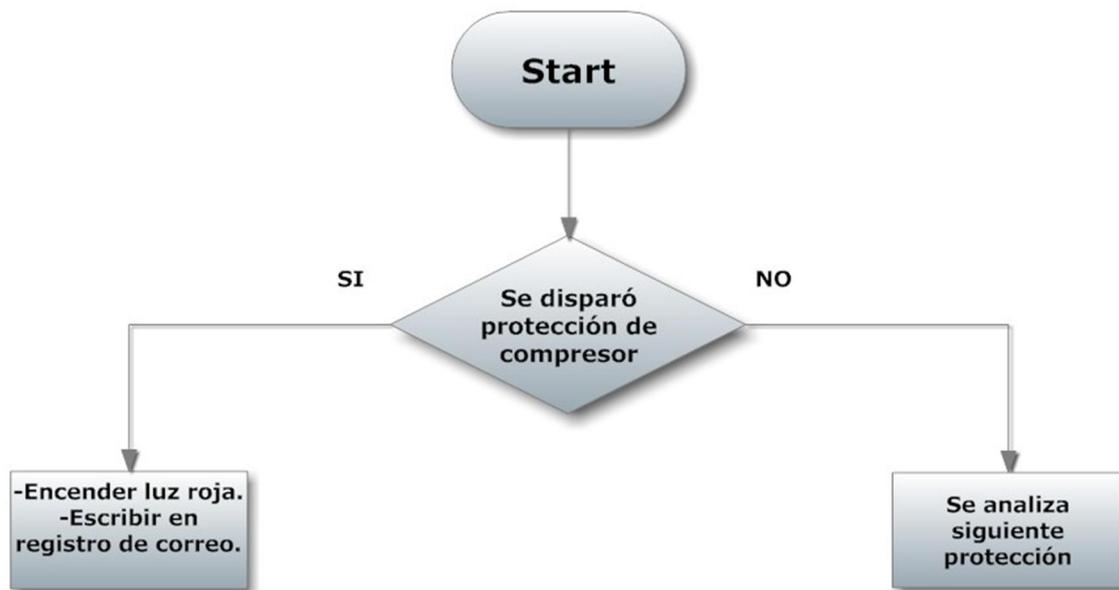


Figura 5.28. Diagrama de flujo del estado de las protecciones de los motores.

Los motores de la planta se protegen eléctricamente mediante el uso de unos componentes que los electricistas llaman guarda-motores, que se regulan a una corriente determinada para cada motor. Si por alguna razón el motor requiere más corriente de la que necesita, se dispara la protección. Las protecciones tienen unos contactos auxiliares que se cierran o abren, cuando la protección se activa. De estos contactos auxiliares se utilizarán los que están normalmente abiertos, o sea, que se cierran en el momento de que la protección se activa.

En la figura 5.28 se observa el diagrama de flujo para una protección.

Si la protección se dispara se activará una luz roja y se escribirá en el registro de correo electrónico para dar aviso a los ingenieros.

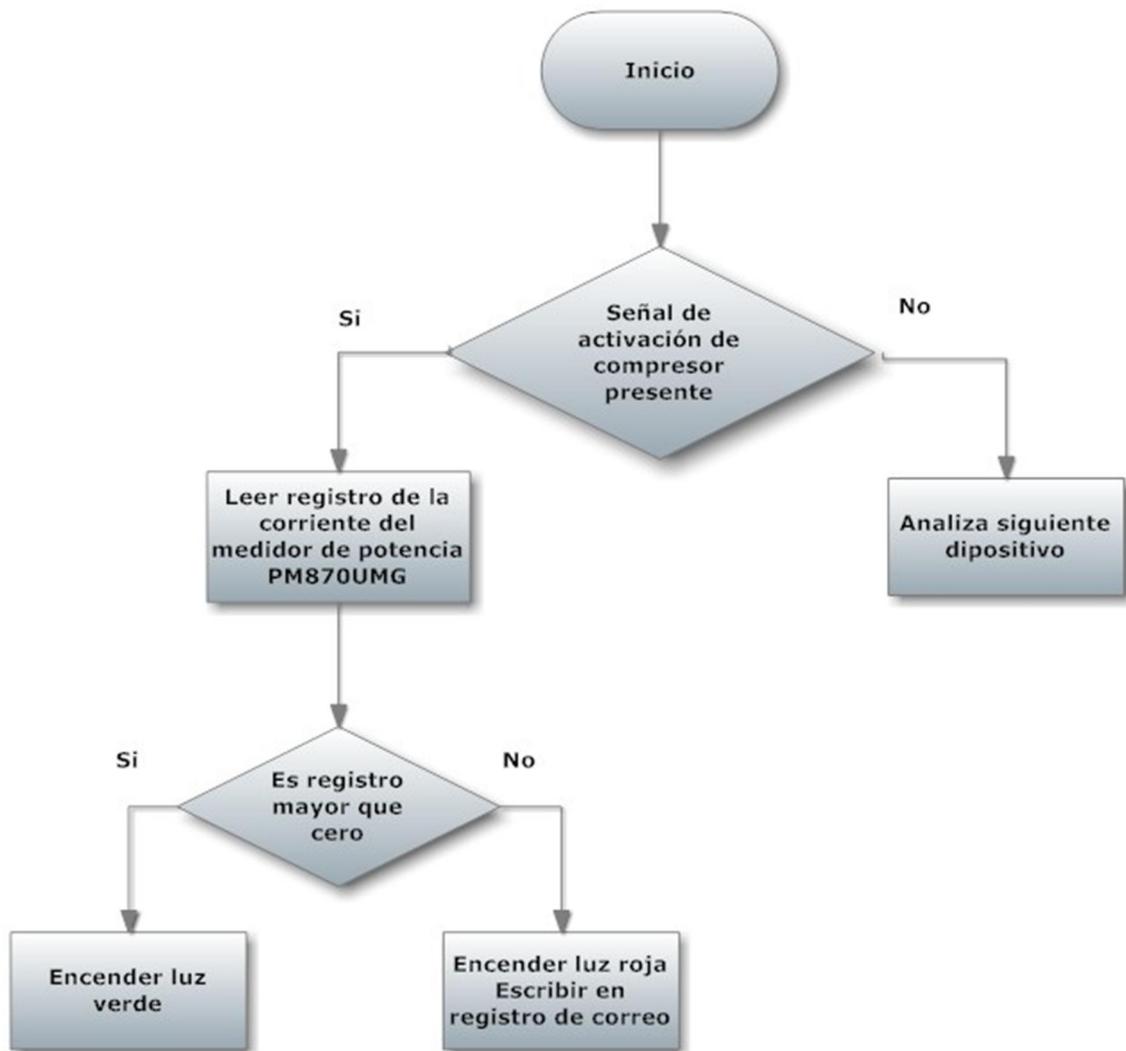


Figura 5.29. Diagrama de flujo del estado de los contactores de los motores.

La manera de proteger los motores utilizando guarda motores, es una manera muy discreta y como comunicativa. En cambio, la idea de este sistema de monitorización es contrarrestar la señal de activación proveniente de los relés, contra la presencia de corriente en las fases del motor. De esta forma, si se dispara la señal de activación y la corriente en el motor es: baja, alta, diferente en cada fase o no presenta una forma senoidal, es posible notar el daño y corregirlo a tiempo.

La figura 5.29 presenta el diagrama de flujo para el estado de los contactores, que primeramente verifica que se haya disparado la señal que activa el motor. Seguidamente, si tal condición se presenta, se leen los registros correspondientes a la corriente del motor y posteriormente se realiza la verificación de los valores, que deben ser mayores a cero, En tal caso se enciende una luz verde, indicando que el motor se encuentra en buenas condiciones.

Si los registros no presentan un valor mayor acero, se activa un luz roja que denuncia que se ha presentado un daño, ya sea en el motor o en algún componente de este.

Se debe recordar que las lecturas de todos los registros de las unidades PM870UMG son monitorizadas remotamente, por lo que los ingenieros encargados de la planta están en constante monitorización de las lecturas de los motores, asimismo en la programación del TSX ETG 1000, se programan alarmas y guardan datos de las mediciones realizadas, las cuales activan señales de prevención en caso de la existencia de alguna variación en la corriente, factor de corriente, potencia activa, reactiva y aparente, entre otras mediciones.

Para realizar la programación y simulación del programa del PLC se utilizó el programa TWIDOSUITE, programa gratuito que se puede descargar de la página de Schneider.

En la figura 5.30 se presenta la ventana principal del programa.



Figura 5.30. Ventana de inicio del programa TWIDOSUITE.

Una vez dentro del programa, ingresando en la opción de programación, se describe al proyecto agregando los dispositivos necesarios: PLC, dispositivos Modbus, módulos de entradas entre otros.

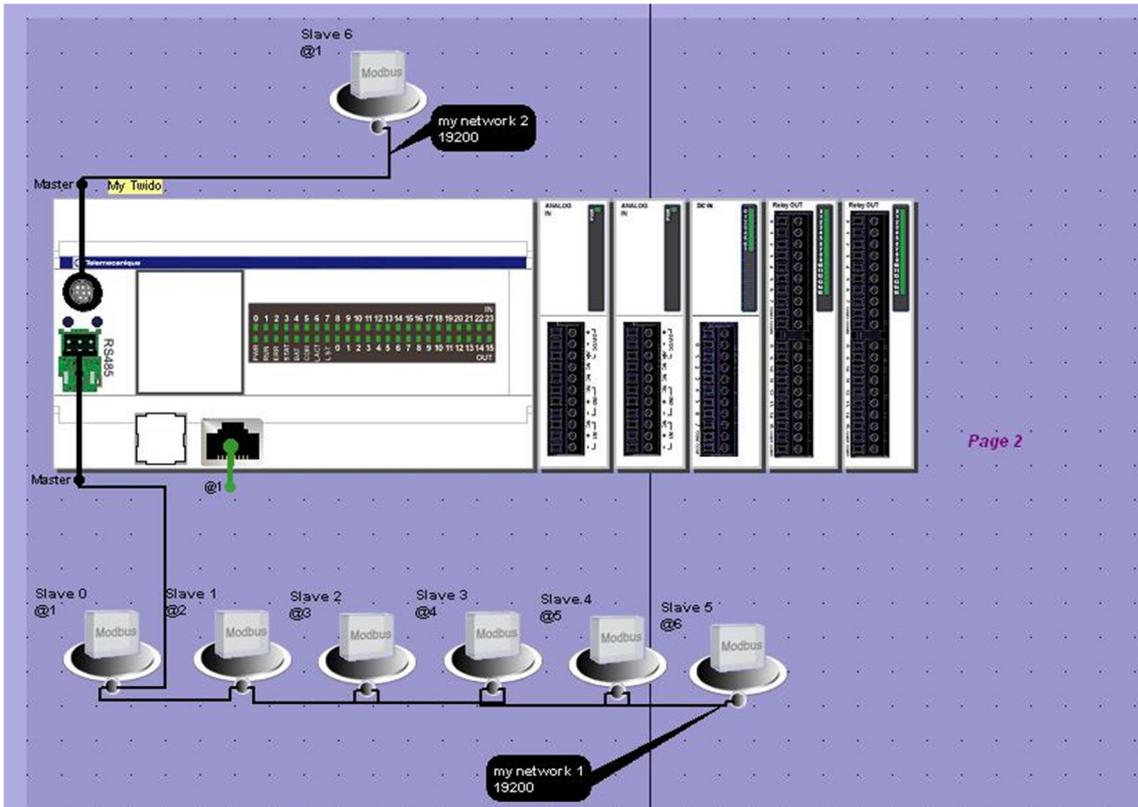


Figura 5.31. Programa TWIDOSUITE en modo de descripción.

Si se selecciona un dispositivo es posible acceder a la configuración del mismo. También se permite crear un programa en código escalera, tal y como se muestra en la figura 5.32.

Las entradas están representadas con el símbolo || y las salidas con el símbolo $()$.

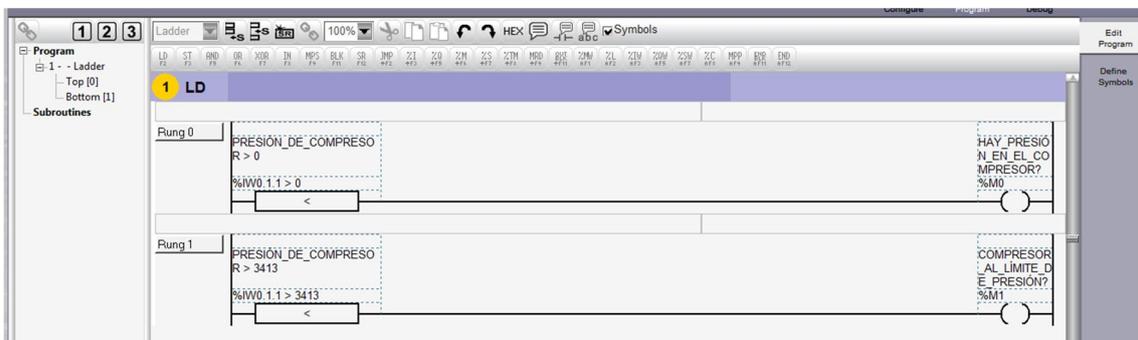


Figura 5.32. Programa TWIDOSUITE en programación.

Se cuenta con diferentes tipos de variables y memorias para la creación de un programa en código escalera.

Bits de E/S: Estos bits representan las "imágenes lógicas" de los estados eléctricos de las E/S. Las entradas estarán direccionadas con la letra "%I" y las salidas "%Q".

E/S analógicas: Es el valor eléctrico reflejado en las E/S analógicas. Las entradas estarán direccionadas con la letra "%IW" y las salidas "%QW".

Memoria interna: Palabras empleadas para almacenar valores durante la operación en la memoria de datos, se direcciona con la letra "%MW".

Constantes: Almacenan constantes o mensajes alfanuméricos. Su contenido solo se puede escribir o modificar mediante el TWIDOSUITE durante la configuración. Se acceden a la zona de constantes a través de "%KW".

Palabras de sistema: Ofrecen diferentes funciones, como proporcionar acceso directo a los estados internos del autómata. La letra para direccionar los bits de sistema será la "%SW".

Tabla 5.1. Tipos de variables del programa TWIDOSUITE

Tipo de variable	Representación	
E/S	(Entrada) %I	(Salida) %Q
E/S analógicas	(Entrada) %IW	(Salida) %QW
Memoria interna	%MW	
Constantes	%KW	
Palabras de sistema	%SW	

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Resultados

En esta sección se presenta información referente a los resultados obtenidos durante la realización del proyecto.

La tabla 6.1 corresponde al listado de los equipos electrónicos y mecánicos de la planta. Esta información fue vital para conocer que equipos fallan comúnmente y por ende cuales deben ser monitorizados.

Los dispositivos en anaranjado son los que tienen tendencia de fallar y que han presentado algún fallo.

Componente	Subcomponentes	Fallo que presenta
Silo	Tornillo sin fin	Acoples del eje se gastan, falta de aceite, fallan Muñoneras, se atasca por humedad del cemento.
	Tornillo sin fin	No presenta fallo
	Sensor de nivel del silo	Falsa lectura de estado
	Filtro del silo	Se taquea de cemento
	Electroválvula para ayuda de silo	Bobina y válvula
Tolva de cemento	Electroválvula para dosificar	Bobina y válvula
	Celdas de pesaje	Cable, celda mala,
Banda de agregados	Celdas de pesaje	Cable, celda mala,
	Motor band. Agregados	Fajas del motor que transmite la fuerza a la caja de reducción fallan
	Rodillos pequeños	Falla el rodillo en si hay que cambiarlos frecuentemente, se herrumbra el roll y por peso falla tambien
	Rodillos grandes	Muñoneras
	Banda	Se cambia por mantenimiento, pero no falla
	Dispensadores	
	Electroválvulas	Bobina y válvula
	Vibrador de arena	No presenta fallo
	Pistones	No movimiento, falta de grasa se quedan pegados
Banda de descarga	Motor	Fajas del motor que transmite la fuerza fallan
	Rodillos grandes	Acoples del eje se gastan, hay que aceitar, fallan Muñoneras
	Rodillos pequeños	Falla el rodillo en si hay que cambiarlos frecuentemente, se herrumbra el roll y por peso falla tambien
	Banda	Guías de hule de la banda de pesaje se aflojan, se gastan.
	Vibrador de bajante	No presenta fallo
	Celda de pesaje de aditivo	Celda en mal estado
	Electroválvula de aditivo	Bobina y válvula
	Electroválvula de la bomba de agua	Bobina y válvula
	Electroválvula del vibrador del bajante	Bobina y válvula
Compresor	Motor	No presenta fallo
	Manómetro	No presenta fallo
	Filtro de agua	No presenta fallo

	Depósito de aceite	No presenta fallo
	Unidad compresora	La unidad compresora se le gastan los anillos, lleva fajas que fallan también
Bomba de agua	Motor	No suele fallar
	Sensor de flujo de agua	No suele fallar
Bomba de aditivo	Motor	No presenta fallo
Armario	Guarda motores	No presenta fallo
	Relés	Si falla
	Contactores	No presenta fallo
	PLC maestro	No presenta fallo
	PLC esclavo	No presenta fallo
	Módulo para pesaje agregados	Falsa lectura
	Módulo para pesaje cemento	Falsa lectura
	Módulo para pesaje aditivo	Falsa lectura
	Ventilador	No presenta fallo
	Switch principal	No presenta fallo
	Fuente CD para PLC	No presenta fallo
Cuarto de control	Computadora	Fallo por virus por medio de usb
	UPS	No presenta fallo
	Pantalla táctil	No presenta fallo
	Botonera control manual	Fallo de botones
	Breakers principales	No presenta fallo
Componente	Subcomponentes	Fallo que presenta

Figura 6.1. Componentes de la planta de concreto.

En la tabla 6.1 se presenta las características técnicas de la central de medida PM870UMG, obtenidas como resultado de la investigación en las hojas de datos y manuales de usuario del fabricante.

Tabla 6.1. Características eléctricas la central de medida.

Tipo de medida	Armónico 63, 128 muestras por ciclo		
Precisión de la medida	Corriente Tensión Factor de potencia Potencia Frecuencia Energía activa Energía reactiva	0,325% entre 1 y 10 A 0,375% entre 50 V y 277 V 0,1% entre 1 A y 10 A 0,2% ± 0,02% entre 45 y 67 Hz IEC 62053-22 Clase 0.5S IEC 62053-23 Clase 2	
Periodo de refresco	1 s		
Característica de la entrada de tensión	Tensión medida	0 a 600 V CA (L-L directo) 0 a 347 V CA (L-N directo) hasta 3,2 MV AC (con transformador de voltaje externa)	
	Impedancia	5 MΩ	
	Rango de medida de frecuencia	45 a 67 Hz y 350 a 450 Hz	
Característica de la entrada de intensidad	Transformador de corriente	Primario	Ajustable entre 5 A y 32767 A
		Secundario	0 A a 5 A
Característica de la entrada de intensidad	Sobrecarga admisible	15 A continua 50 A para 10 segundos por hora 500 A para 1 segundo por hora	
	Impedancia	< 0,1 Ω	
Alimentación	CA	115 a 415 ±10% V CA, 15 VA	
	CC	125 a 250 ±20% V CC, 10 W	
Características mecánicas	Peso (medidor con pantalla integrada)	0,6 kg	
	Grado de protección IP (IEC 60529)	Pantalla frontal IP52, cuerpo del medidor IP30	
	Dimensiones	96 x 96 x 70 mm	
Temperatura de funcionamiento	Medidor	-25 °C a +70 °C	
Resistencia eléctrica	Según EN 61010, UL508		
Seguridad	Europa	CE, según IEC 61010-1	

La tabla 6.2 muestra las mediciones que se pueden obtener con la unidad PM870UMG.

Tabla 6.2. Resumen de las lecturas disponibles en la central de medida.

Lecturas en tiempo real
<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad (por fase, residual, trifásico) • Tensión (L–L, L–N, trifásico) • Potencia activa (por fase, trifásica) <ul style="list-style-type: none"> • Potencia reactiva (por fase, trifásica) • Potencia aparente (por fase, trifásica) • Factor de potencia (por fase, trifásico) <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia. • Distorsión armónica total (THD) (intensidad y tensión).
Lecturas de energía
<ul style="list-style-type: none"> • Energía acumulada, activa • Energía acumulada, reactiva • Energía acumulada, aparente <ul style="list-style-type: none"> • Lecturas bidireccionales • Energía reactiva por cuadrante <ul style="list-style-type: none"> • Energía incremental • Energía condicionada

En tabla 6.3 se observan cuales motores requieren un transformador de corriente para poder realizar las mediciones con las unidades PM870UMG. Dadas las características eléctricas de los motores y de la central de medida, se concluyó cuales motores debían ser acoplados a un transformador de corriente, antes de la unidad PM870UMG.

Tabla 6.3. Motores que necesitan transformador de corriente.

Motor	Corriente de funcionamiento [A]	Transformador de corriente necesario
Compresor	26.8	x
Banda Pesaje	30	x
Banda Descarga	19.6	x
Tornillo Cemento	30	x
Bomba de agua	5	-
Bomba de aditivo	5	-

La tabla 6.4 exhibe las especificaciones del sensor de nivel para el silo. El sensor para determinar el nivel de cemento del silo de la planta, debe reunir una serie de condiciones para poder dar una medida confiable bajo condiciones extremas de polvo y presión.

Tabla 6.4. Especificaciones para el sensor LR260

Tensión de alimentación nominal	24 V DC 30 V DC máximo
Salida Analógica	De 4 a 20mA
Temperatura del ambiente	+15 a +25 °C (+59 a +77 °F)
Humedad relativa del ambiente	45% a 75%
Frecuencia de onda de detección	Banda K (25 GHz nominal)
Máximo rango de medida	2" de Cono: 10 m (32.8 ft)* 3" de Cono: 20 m (65.6 ft) 4" de Cono: 30 m (98.4 ft) *El Silo mide alrededor de 8m desde su base
Distancia mínima detectable	0.05 m (1.97") desde el fin del cono
Tiempo de refrescamiento	2s mínimo
Señal de salida	4 – 20mA (±0.02 mA de precisión)
Configuración	- Siemens SIMATIC PDM (PC). - Programador portátil infrarrojo Siemens Milltronics. - Comunicador de mano HART
Pantalla	Pantalla LCD con representación gráfica de barras.
Locación	Interior/Exterior
Altitud máxima	2000 m (6562 ft) máx.
Temperatura del proceso	-40°C a 200°C (-40°F a 392°F)
Presión máxima del proceso	44 psi(3 bar) a 93°C
Aprobaciones Generales	CSAUS/C, FM, CE, C-TICK
Materiales Carcasa Pantalla/Display Brida y antena de Bocina	-Aluminio revestido de polvo de poliéster. -Pantalla gráfica de cristal líquido con gráfico de barras. -Acero inoxidable 304.

En la tabla 6.5 se observan las características de la unidad de comunicación TSX ETG 1000.

Tabla 6.5. El módulo TSX ETG 1000 incluye las siguientes características

24V DC fuente de alimentación
Ethernet 10/100 Base-T de conexión
Enlace serie RS485 para comunicación Modbus
Modbus RTU maestro
Enlace serie RS232 para la comunicación con un módem externo o para la configuración
3 indicadores LED
8 MB de memoria flash no volátil para copia de seguridad de correo
Manejo de correo electrónico controlado por la asignación de un valor a un registro Modbus para alarmas
Permite más de 16 navegadores de Internet conectados simultáneamente
8 MB de memoria no volátil para cargar páginas creadas por el usuario

La tabla 6.6 presenta el rango de medición de los sensores sugeridos para la realización del proyecto, así como la relación de los valores físicos de medición, para con los valores numéricos de la transformación de analógico a digital.

Tabla 6.6. Valores numéricos de las medidas de los sensores

Sensor	Rango de medida	Salida del sensor	Resolución del módulo de entradas analógicas	Relación del valor numérico con la presión	Valores límites con el valor numérico
Presión del compresor	0 – 150 psi	4 – 20mA	0 - 4095	0–0 psi 4095–150 psi	110 psi - 3140 127psi - 3468
Presión del silo	-15 –15 psi	4 – 20mA	0 - 4095	0 – (-)15psi 4095-15psi	0psi - 2047 -0.28psi -1970 7.8 psi - 2130
Nivel del silo	0 – 10m	4 – 20mA	0 - 4095	0 – 0m 4095 – 10m	1.925m(25%) -788 5.775m(75%) -2365 7.7m(100%) - 3154

La tabla 6.7 caracteriza al PLC propuesto para el proyecto.

Tabla 6.7. Características del PLC TWIDO

PLC TWIDO TWDLCAE40DRF	
Entradas	24, a 24V DC, 7mA
Salidas	15, 2 por transistores, 14 por relé
Puertos	Mini-din RS-232, RS-485, RJ45
Programación	Código escalera
Alimentación	100 – 240V AC
Comunicación	Modbus: RTU, ASCII, TCP/IP
Ampliación con módulos	Hasta 7 módulos

En la tabla 6.8 se representan los cinco módulos que se adjuntan al PLC para el control de la señales.

Tabla 6.8. Módulos de entradas y salidas acoplados al PLC.

Dispositivo	Número de dispositivos	Número de entradas	Número de salida	Magnitud de entrada o salida	Resolución
Módulo de entradas analógicas (TWDAMI2HT)	2	2	-	4 – 20mA	12 bits (0 - 4095)
Módulo de salidas digitales (TM2DDI8DT)	1	-	8	24V DC	-
Módulo de salidas digitales (TM2DDAI6RT)	2	-	16	240V AC	-

Tabla 6.9. Presupuesto para el proyecto.

Elemento	Marca	Número de catalogo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Sensor de presión	Allen-Bradley	836E-TD1EN4-D4	2	250	500
Sensor de presión	Allen-Bradley	836E-DC1CC1D4	1	350	700
Presostato	Allen-Bradley	BULLETIN 836E	8	100	800
PLC TWIDO	SCHNEIDER	TWDLCAE40DRF	1	800	800
Puerto Serial	SCHNEIDER	TWDNAC485T	1	20	20
Resistencia de terminación de línea	SCHNEIDER	MCT2W	1	10	10
Sensor de nivel	Siemens	LR260	1	3000	3000
Web server	SCHNEIDER	TSX ETG 1000	1	1400	1400
Módulo para señales analógicas	SCHNEIDER	TWDAMI2HT	2	180	360
Módulo para señales digitales	SCHNEIDER	TM2DDI8DT	1	210	210
Módulo para salidas discretas AC	SCHNEIDER	TM2DDIA16RT	2	150	300
Sensor de potencia trifásica Power Meter	SCHNEIDER	PM870UMG	6	3500	21000
Transformadores de corriente	SCHNEIDER	16453	18	65	1170
Cable MiniDin - RJ45	SCHNEIDER	TSXCRJMD25	1	10	10
Cable RJ45 - USB	SCHNEIDER	TSXCUSB485	1	20	20
Total					\$30300

El presupuesto de la tabla 6.9, contempla los dispositivos necesarios para implementar el proyecto. Es posible que no se listen diversos elementos como por ejemplo cables y mano de obra entre otros, debido a que en el taller del ICE se cuenta con cuantiosos componentes y personal capacitado.

El presupuesto expuesto, representa un monto esperable para un proyecto de tal magnitud.

El taller usualmente compra repuestos para múltiples fines y de precios que exceden el monto de este proyecto, ya que las maquinas utilizadas en el proyecto de ampliación de la planta, son de gran tamaño y de precios muy altos.

Adicionalmente las fallas que se pudieren presentar en la planta si no se realizan las tareas de mantenimiento, representarían cantidades enormes de dinero pues todo el concreto que se utiliza en el proyecto se produce con esta planta.

A continuación se muestran las imágenes de la simulación del programa del PLC.

La simulación se realizó en el programa para el PLC, el TWIDO SUITE y simula la activación de las entradas discretas y las salidas, también los valores obtenidos de las lecturas de los sensores de presión y de nivel. Se presentan en orden de izquierda a derecha: el PLC TWDLCAE40DRF, los módulos de entradas analógicas TWDAMI2HT, el módulo de entradas discretas TM2DDI8DT y los módulos de salidas de corriente alterna TM2DRA16RT .

La comunicación con los dispositivos Modbus de la figura 5.31, no se pueden simular ya que se necesita por lo menos uno de ambos dispositivos para la simulación: el PLC o el dispositivo Modbus. Y dada la naturaleza de este proyecto de ser una investigación, no se contempla la compra de los dispositivos.

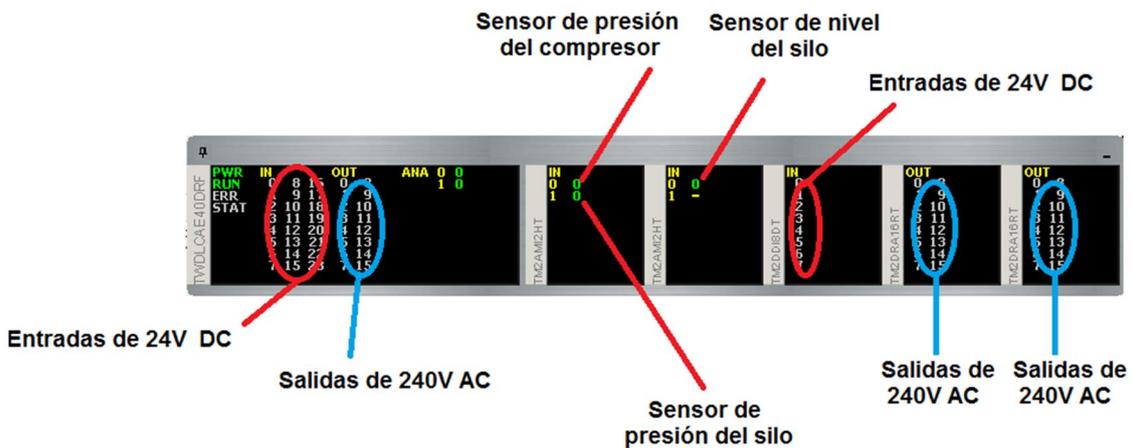


Figura 6.2. Partes de la ventana de simulación del TWIDOSUITE.

Desactivando la entrada 3 del PLC de la figura 6.3, que representa la señal de activación del motor del tornillo sin fin del silo, se activa la salida 14 del segundo módulo TM2DRA16RT.



Figura 6.3. Simulación de puesta en marcha del tornillo del silo.

La entrada 6 del PLC de la figura 6.4 representa la activación de la protección del compresor, lo que activa la salida 9 del PLC.



Figura 6.4. Simulación de activación de protección para el compresor.

La entrada 12 de PLC de la figura 6.5 en estado activo, representa la señal de activación de la electroválvula de la arena, pero no la activación de la señal del presostato, lo que confirmaría el buen funcionamiento de la electroválvula. En consecuencia se activa la salida 0 del último módulo TM2DRA16RT.



Figura 6.5. Simulación de activación de la señal de la electroválvula de la arena.

El valor de 3279 en el primer módulo TWDAMI2HT de la figura 6.6, simula una presión menor a 110 psi medida por el sensor de presión del compresor, activando la salida 3 del PLC.



Figura 6.6. Simulación de la medición de presión en el compresor.

En la figura 6.7 se muestra la medición de presión del silo en el momento en que dispensa cemento a la planta, por lo que se presenta una presión negativa que activa la salida 8 del primer módulo TM2DRA16RT.



Figura 6.7. Medición de la presión negativa del silo.

La lectura de 2245 del segundo módulo de entradas analógicas de la figura 6.8, simula que el silo tenga un nivel alto en ese momento, lo que activa la salida 7 del PLC.



Figura 6.8. Simulación de la medición del nivel del silo.

Seguidamente se muestran unas imágenes correspondientes a la página principal de la unidad TSX ETG 1000, la de configuración de correos electrónicos para las alarmas y la lista de registros para los dispositivos Modbus conectados al PLC.



Figura 6.9. Página principal del módulo TSX ETG 1000.

Enable alarms Period alarms (in msec)

Alarms configured :2

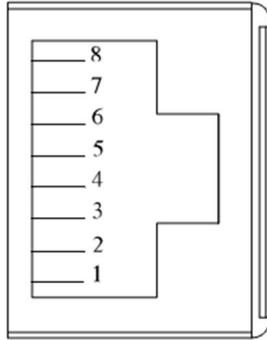
	Slave	Register	Type	Value	eMailTo	Subject
1	1	20	=	100	email@schneider-electric.com	alarm1
2	1	3.10	RE		email@schneider-electric.com	alarm2

Figura 6.10. Página de configuración de las alarmas de la unidad web server TSX ETG 1000.

Rate IP Address

	Name	UnitId	Address	Type	Value	ReadOnly	Comment
Empty	Mail_Status	255	820	register		false	Mail status (2=Active,1=Inactive,0=N
PM500@1	Mail_send_ok	255	821	register		false	Number of Mail correctly send
DiagsSyste	Mail_send_nok	255	822	register		false	Number of Mail in error due to TCP
	Mail_send_nok	255	826	register		false	Number of Mail in error due to SMTP
	NumberMailRe	255	823	register		false	Number of Modbus request send for
	NumberMailRe	255	824	register		false	Number of Modbus response receive
	NumberMailRe	255	825	register		false	Number of Modbus response receive
	PPPStatus	255	830	register		false	PPP Connection Status (0=inactive,1
	PPPAddress1	255	831	register		false	PPP IP Address of remote device XX
	PPPAddress2	255	832	register		false	PPP IP Address of remote device xx
	PPPAddress3	255	833	register		false	PPP IP Address of remote device ww
	PPPAddress4	255	834	register		false	PPP IP Address of remote device xx

Figura 6.11. Página de configuración de los registros de los dispositivos Modbus conectados al TSX ETG 1000.



Platilla	Señal
1	No conectado
2	No conectado
3	No conectado
4	D1(B/B')
5	D0(A/A')
6	No conectado
7	No conectado
8	No conectado

Figura 6.12. Conexiones del puerto Rj-45 para protocolo Modbus de la unidad TSX ETG 1000.

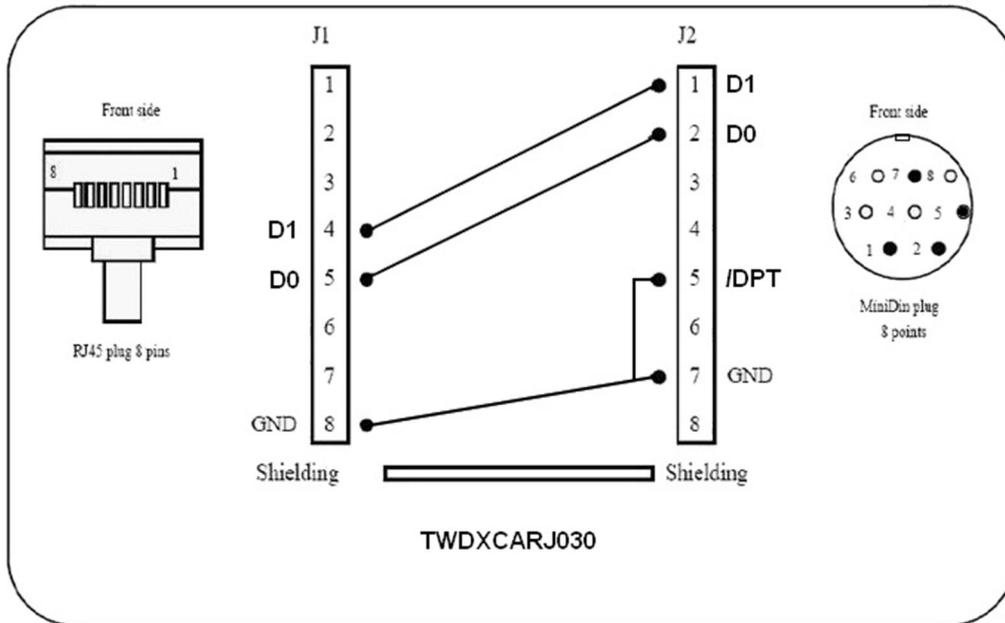


Figura 6.13. Conexión del puerto MiniDin del PLC con el puerto RJ-45 para protocolo Modbus de la unidad web server TSX ETG 1000.

6.2 Análisis

En la presente sección se proceda a explicar detalladamente los resultados expuestos en el apartado anterior.

En la figura 6.1 se muestra el listado de los componentes de la planta de concreto, la cual contempla en anaranjado los dispositivos de pueden presentar fallo o los que aunque no presentan fallo, su monitorización es vital.

Tal y como se contempla en la figura 6.1, las electroválvulas, tanto el inductor como la válvula en sí, son de los dispositivos que más fallo presenta, de allí la importancia de monitorizar su funcionamiento.

Así mismo, se cuenta con diversos componentes mecánicos que muestran fallo, pero no es posible monitorizar directamente, tal es el caso de los rodillos de las bandas que transportan el cemento entre otros. Mediante la monitorización de la corriente de los motores de la planta de concreto, es posible conocer el estado de los componentes conectados a estos. Por ejemplo si se traba el tornillo sin fin, alguna de las bandas o los rodillos, este evento se reflejará en la corriente del motor de los controla.

En la tabla 6.2 se observan las características eléctricas de la unidad de medida PM870UMG, entre los criterios que se tomaron en cuenta para seleccionar este dispositivo están:

Sin pantalla: El proyecto desde el principio se planteó la idea de poder observar las mediciones de las corrientes y tensiones de los motores, vía web, por ello el que la central de medidas no posea un pantalla es vital para el proyecto.

Riel DIN: La posibilidad de acoplar este aparato al armario existente en la caseta del operador en la planta, es muy importante ya que el riel DIN es una manera muy ordenada de acomodar los instrumentos.

Tipo de mediciones: De los motores importa monitorizar la corriente y la tensión, por lo que la posibilidad de medir la corriente y la tensión de cada fase al mismo tiempo sin tener sensores extra por fase es un buen aspecto de la central de medidas. La tabla 6.2 muestra las diferentes mediciones que es capaz de realizar esta unidad.

La unidad puede trabajar a 240V AC con una frecuencia de 60Hz, lo que representa una facilidad enorme de acople a la planta, ya que la mayoría de equipos trabajan a una tensión de 240V AC con una frecuencia de 60Hz.

Comunicación: La unidad PM8701UMG se comunica con el PLC mediante el protocolo Modbus RTU, y permite la conexión a otras unidades en serie.

La conexión del PLC con la unidad PM870UMG se realiza utilizando el puerto RS-485.

Debido a la corriente que consumen algunos motores, es necesario acoplar entre los cables a medir y la unidad de medida, transformadores de corriente para realizar la medición.

La unidad soporta medir directamente sin transformador una corriente de hasta 10 A, por lo que algunos motores se pueden acoplar directamente a la unidad, esta información se encuentra en la tabla 6.3 del apartado anterior.

Las especificaciones del sensor SIEMENS LR260 para el nivel del silo, se exhiben en la tabla 6.4.

El modelo del sensor LR260 varía de acuerdo a la altura del silo a medir, por lo que para el caso del silo de la planta, se debe colocar un sensor para una altura máxima de 10m.

Otro aspecto tomado en cuenta para la selección del sensor fue la señal de salida de mismo, el cual presenta una salida correspondiente a la medición, de 4 a 20mA, misma cantidad de corriente que permiten los módulos de entradas analógicas tal y como muestra la figura 6.6.

Definitivamente lo que más resalta de este sensor la capacidad de trabajar a presiones altas de hasta 44psi y la posibilidad de trabajar en ambientes de polvo extremo tal y como lo es dentro del silo cuando lo cargan de cemento o cuando dispensa. También se puede colocar en exteriores, lo cual es vital ya que el sensor se instalaría en la parte superior del silo a la intemperie.

El módulo TSX ETG 1000 de Schneider permite la comunicación del sistema de monitorización con la Internet.

En la cabina del operador se cuenta con una conexión a Internet mediante un cable con conector RJ-45, que fue instalada para acceder remotamente al programa SCADA, que opera en la planta actualmente. Precisamente el módulo de comunicación Ethernet que se seleccionase, debía ser capaz de adaptarse al riel DIN y conectarse a la Internet por medio de un cable con conector RJ-45, para aprovechar la conexión existente.

El módulo TSX ETG 1000 cumple con esas características físicas y eléctricas además, utiliza el protocolo Modbus RTU mediante un puerto RJ-45, que es compatible con el PLC.

Adicionalmente, este módulo posee la facilidad de activar alarmas, enviar correo electrónico a direcciones establecidas, 8 MB de memoria interna para almacenar una página web creada por el usuario, posibilidad de

observar otros dispositivos Modbus conectados al PLC y acceder a los registros de estos.

En la figura 6.9 se muestra la página principal de la unidad web server TSX ETG 1000, en la que se permite la configuración de las alarmas para ciertos valores de los dispositivos conectados al PLC.

La figura 6.10 muestra la página en donde es posible configurar las alarmas y los correos electrónicos.

La visualización de los registros se muestra en la figura 6.11. En esa ventana es posible escoger los dispositivos reconocidos por la unidad y así observar el valor de los registros. Para este proyecto sería posible visualizar el valor de los registros de los medidores de potencia PM870UMG, en donde se almacenan los datos de la corriente, la tensión y las demás mediciones realizadas por la central de medidas.

La conectividad de la unidad TSX ETG 1000 con el PLC se realiza gracias a un cable que conecta la terminal MiniDin de ocho pines con el puerto RJ-45 de la unidad web server. En la figura 6.12 se observan las terminales del puerto RJ-45 de la unidad TSX ETG 1000, donde de las ocho terminales, solo son necesarias la 4 y 5, de igual manera en la figura 6.13 se muestran las conexiones para el puerto MiniDin del PLC y como el cable adapta ambas terminales.

Haciendo uso de la información presente en la tabla 6.6, es posible demostrar la compatibilidad de los sensores seleccionados para la presión de: el silo, el compresor y además el nivel del silo.

Anteriormente se ha comentado al respecto de la presión que se maneja en el compresor la cual no es superior a 125 psi, también se ha mencionado que la presión del silo es de 7.8 psi positiva y -0.28 psi negativa. En la tabla 6.6 se da a conocer el rango de los sensores que contempla claramente los requerimientos de presión de la planta, así como el nivel del silo, el cual no supera los 8 metros de altura.

El PLC TWIDO TWDLCAE40DRF de Schneider se energiza con una tensión de 240V AC, su acople al riel DIN del armario de conexiones es posible, la comunicación mediante Modbus RUT, ASCII y TCP/IP están dentro de sus características. Permite la conexión a sí mismo de hasta 7 módulos, la programación se realiza mediante código escalera y además cuenta con estándares de protección para trabajar en la industria, en presencia de campos electromagnéticos.

Tal y como se comenta previamente, solo se contaba con dos marcas para la compra de dispositivos electrónicos: Siemens o Schneider, por lo que las opciones para el diseño eran reducidas. Schneider cuenta con más variedad y respaldo que Siemens además, la conexión mediante el puerto RJ-45 del PLC, es de gran utilidad para comunicación de este con la Intranet y la Internet. Su gran número de entradas (24) y sus numerosas salidas (15) fueron clave para la escogencia.

La simulación del programa del PLC se realizó utilizando el software TWIDOSUITE, que permite programar el PLC en código escalera al igual que ejecutar la simular el mismo.

Dicha simulación es muy básica pero reúne las características suficientes para desmostar el funcionamiento del sistema.

Otros programas admiten simular de una manera más interactiva el programa del PLC, pero se limitan a ciertas marcas de PLC como Allen-Bradley o Siemens, por lo que no fue posible utilizarlos. Además la mayoría debían ser comprados.

En la figura 6.2 se muestran las diferentes partes que conforman el simulador, además mediante las imágenes siguientes, se visualizan las simulaciones para diferentes entradas digitales y analógicas del PLC.

Los diagramas eléctricos de la planta de concreto se diseñaron con la ayuda de los técnicos del taller y los de la planta. Básicamente estos planos reúnen información del control, la potencia y las instalaciones de la cabina de mando de la planta.

Unos de los aspectos importantes para el desarrollo de los esquemáticos, fue el dominar la simbología de los técnicos para con los inductores y demás componentes eléctricos, que resultan diferentes a los utilizados en la carrera de electrónica. Además resultó necesario comprender los circuitos utilizados para el arranque y control de los motores y demás componentes eléctricos.

Los diagramas esquemáticos de la planta se adjuntan en el apartado de apéndices.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Implementando este proyecto será posible reducir los tiempos de espera que toma detectar los componentes que presentan dañados en la planta de concreto, así como también el tiempo que se pierde en dar alarma del desperfecto al ingeniero a cargo.
- Mediante la utilización de un dispositivo de puerta de enlace, como TSX ETG 1000, es posible visualizar el comportamiento de un PLC y los módulos adjuntos a este, haciendo uso de uno de los puertos de monitorización que posee el PLC, mediante el protocolo Modbus RTU para el envío de datos desde el PLC, asimismo el TCP/IP para el envío de paquetes a la Internet.
- El programa TWIDOSUITE V2.20 se puede utilizar en la realización del programa de control de un sistema, en un dispositivo PLC TWIDO TWDLCAE40DRF de la marca Schneider, haciendo uso del código escalera para programar las diferentes rutinas del control.
- EL protocolo Modbus trabaja bajo el esquema maestro/esclavo, donde se le asigna una dirección a cada esclavo mediante la cual se le hacen solicitudes ya sea individuales o colectivas, para el envío de datos al maestro.
- En el silo se manejan tanto presiones negativas de -0.28 psi como positivas de 7.8 psi, dependiendo de la función que este realice y las cuales condicionan la selección de un sensor para conocer su presión, en cada momento.
- Manipulando el presostato de un compresor, es posible variar la presión de arranque y de paro del mismo, siendo 125 psi la presión a la que trabajan la mayoría de compresores industriales.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda unir ambos sistemas, tanto el actual así como el que se planea implementar con este proyecto, en un solo sistema SCADA que muestre todo el proceso de producción del concreto y los subprocesos de este como los son el eléctrico, mecánico y el neumático.
- Capacitar de una manera adecuada a los operarios de la planta, no solo en el manejo de la planta en lo referente a la producción de concreto, sino también en las ramas de electricidad, mecánica y principalmente en computación.
- Monitorizar procesos de una manera más confiable mediante la utilización de sensores durante el llenado de los tanques de agua que maneja la planta, el control de la humedad de los materiales como la arena y piedra, la temperatura de cemento al igual que la utilización de un sensor de posición o una cámara web para conocer la ubicación del camión cisterna en el momento del vaciado de concreto.

Bibliografía

- [1]. Schneider Electric. *TWDAMI2HT. User Guide*. Agosto 09, 2012.
- [2]. Schneider Electric. *TWDAMI2HT. Installation Manual*. Agosto 09, 2012.
- [3]. Schneider Electric. *TM2DDI8DT. User Guide*. Agosto 14, 2012.
- [4]. Schneider Electric. *TM2DDI8DT. Installation Manual*. Agosto 14, 2012.
- [5]. Schneider Electric. *TM2DDAI6RT. User Guide*. Agosto 20, 2012.
- [6]. Schneider Electric. *TM2DDAI6RT. Installation Manual*. Agosto 20, 2012.
- [7]. Schneider Electric. *TWDLCAE40DRF. Hardware Reference*. Setiembre 3, 2012.
- [8]. Schneider Electric. *TWDLCAE40DRF. User Guide*. Setiembre 3, 2012.
- [9]. Schneider Electric. *TWDLCAE40DRF. Programming Guide*. Setiembre 3, 2012.
- [10]. Schneider Electric. *TSX ETG 1000. Installation Manual*. Setiembre 14, 2012.
- [11]. Schneider Electric. *TSX ETG 1000. User Guide*. Setiembre 18, 2012.
- [12]. Schneider Electric. *PM870UMG. Refence Manual*. Setiembre 28, 2012.
- [13]. Schneider Electric. *PM870UMG. User Guide*. Octubre 1, 2012.
- [14]. Schneider Electric. *TWDNAC485T. Product DataSheet*. Octubre 1, 2012.
- [15]. Schneider Electric. *16453. Product DataSheet*. Octubre 5, 2012.
- [16]. Siemens. *LR260. Product User Manual*. Octubre 5, 2012.
- [17]. Allen Bradley. *BULLETIN 836. Product DataSheet*. Octubre 10, 2012.
- [18]. Allen Bradley. *836E-TD1EN4--D4. Product DataSheet*. Octubre 10, 2012.
- [19]. Allen Bradley. *836E-DC1CC1D4. Product DataSheet*. Octubre 10, 2012.

[20]. PROTOCOLO MODBUS-RTU APLICADO AL TERMOMETRO JAKO TN0. Recuperado el 12 de Octubre del 2012 de

<http://www.ejanus.com.ar/catalog/pub/131-0580-TN0-01.pdf>

[21]. Protocolo MODBUS. Recuperado el 12 de Octubre del 2012 de

<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias%5Cmodbus.pdf>

[22]. FACTOR DE POTENCIA EN LA LEGISLACION COSTARRICENSE. Recuperado el 20 de Octubre del 2012 de:

http://cursos.eie.ucr.ac.cr/claroline/backends/download.php?url=L0ZBQ1RPUI9ERV9QT1RFTkNJQV9FTI9MQV9MRUdJU0xBQ0IPTI9DT1NUQVJSSUNFTINF LnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=IE0665_001

[23]. Lista de Aprobaciones en América. Recuperado el 23 de Octubre del 2012 de:

<http://www.texca.com/prod0002/aprobaciones.htm#UL>

Apéndice

A.1 Glosario

Ethernet: Estándar de la capa física del modelo OSI, que brinda servicios de transmisión de datos en redes LAN.

Conector DIN: Designa a una familia de conectores con forma circular, todos con un diámetro de 9,5 mm y un número variado de pines en su interior. Aunque diseñados inicialmente como conectores eléctricos, son muy populares en electrónica e informática. Ambos son estándares del Deutsches Institut für Normung, el organismo alemán de estandarización.

SCADA: Sistemas encargados de la adquisición, supervisión y control de datos.

Modbus: Protocolo de la capa de aplicación que proporciona comunicación cliente/servidor entre dispositivos conectados a diferentes tipos de redes o buses.

Modelo OSI: Modelo basado en 7 capas para el fin de la estandarización de los diseños de dispositivos de comunicación.

TCP: Protocolo de la capa de transporte que fundamenta su funcionamiento en la transmisión de datagramas libres de error.

Riel DIN: Consiste en una barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero, suele ser muy usado para el montaje de elementos eléctricos de protección y mando.

THD: La distorsión armónica total, o THD (Total Harmonic Distortion).

Baudio: Unidad de medida utilizada en telecomunicaciones que representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo determinado, aplicable a señales analógicas y digitales.

Por ejemplo un módem de 14.400 bps (bits por segundo) puede estar funcionando a 1800 baudios, ya que es capaz de codificar 8 bits en cada cambio de valor de la señal.

Armónico: Resultado de una serie de variaciones correctamente acomodadas en un rango o frecuencia de emisión, denominado paquete de información.

IEC 62053-22: Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements. Part 22: Static meters for active energy

CEI IEC 62053-23: Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements. Part 23: Static meters for reactive energy.

A.1.1 Abreviaturas

DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización).

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

IP: Internet Protocol.

PLC: Programmable Logic Controller.

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition.

RTU: Remote Terminal Unit.

RMS: Root mean square.

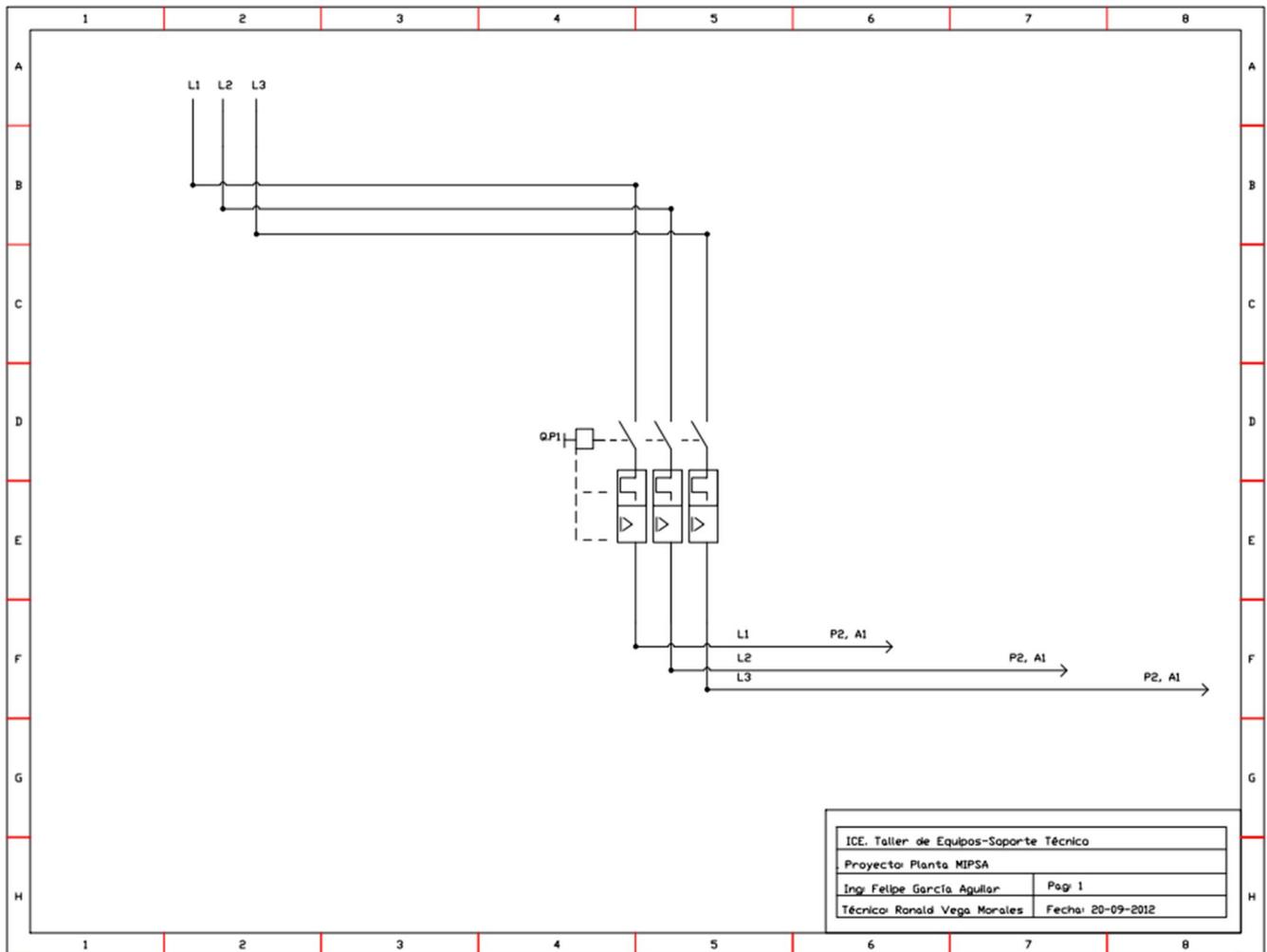
OSI: Open System Interconnection.

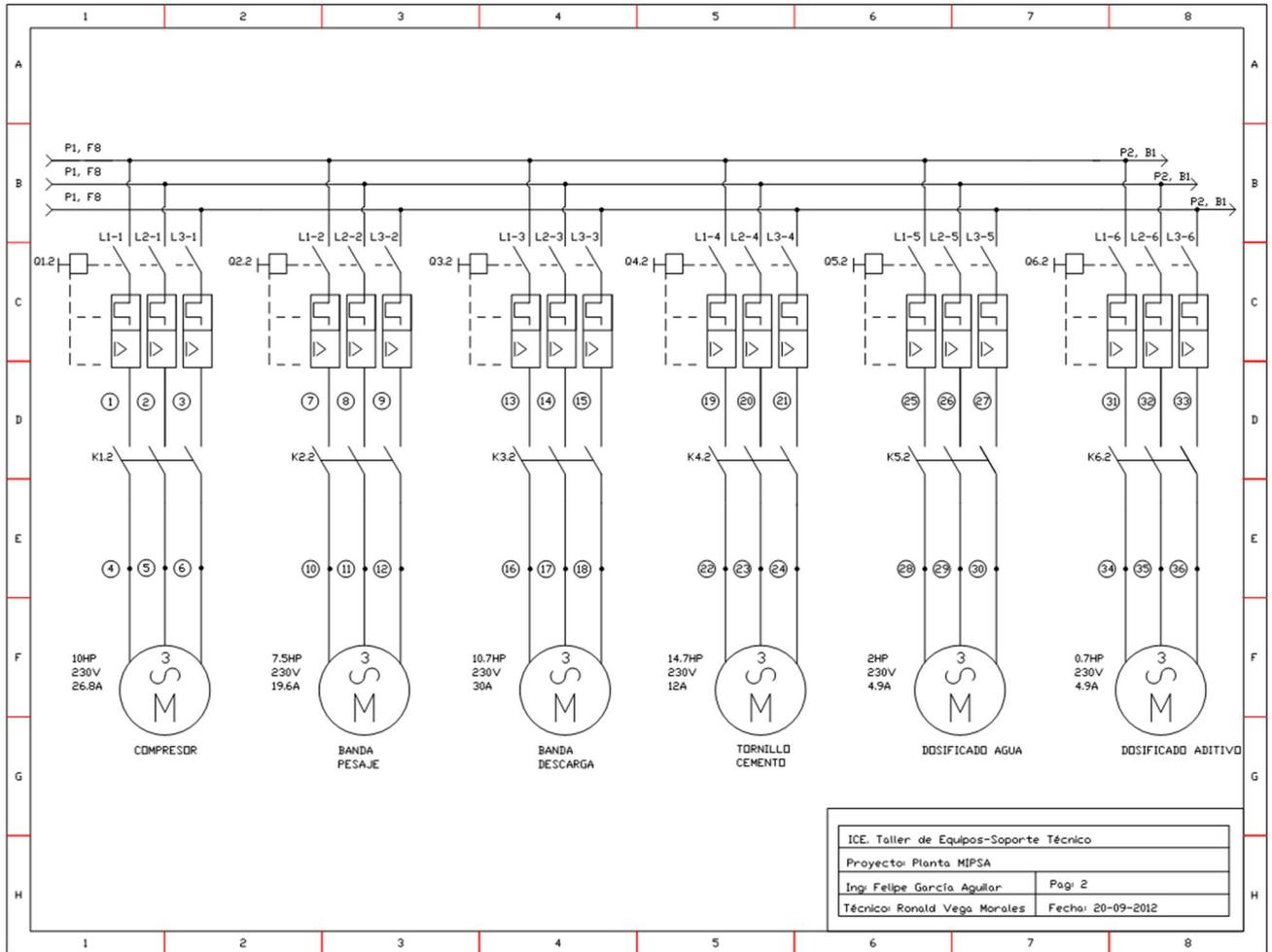
PSI: Pounds per square inch.

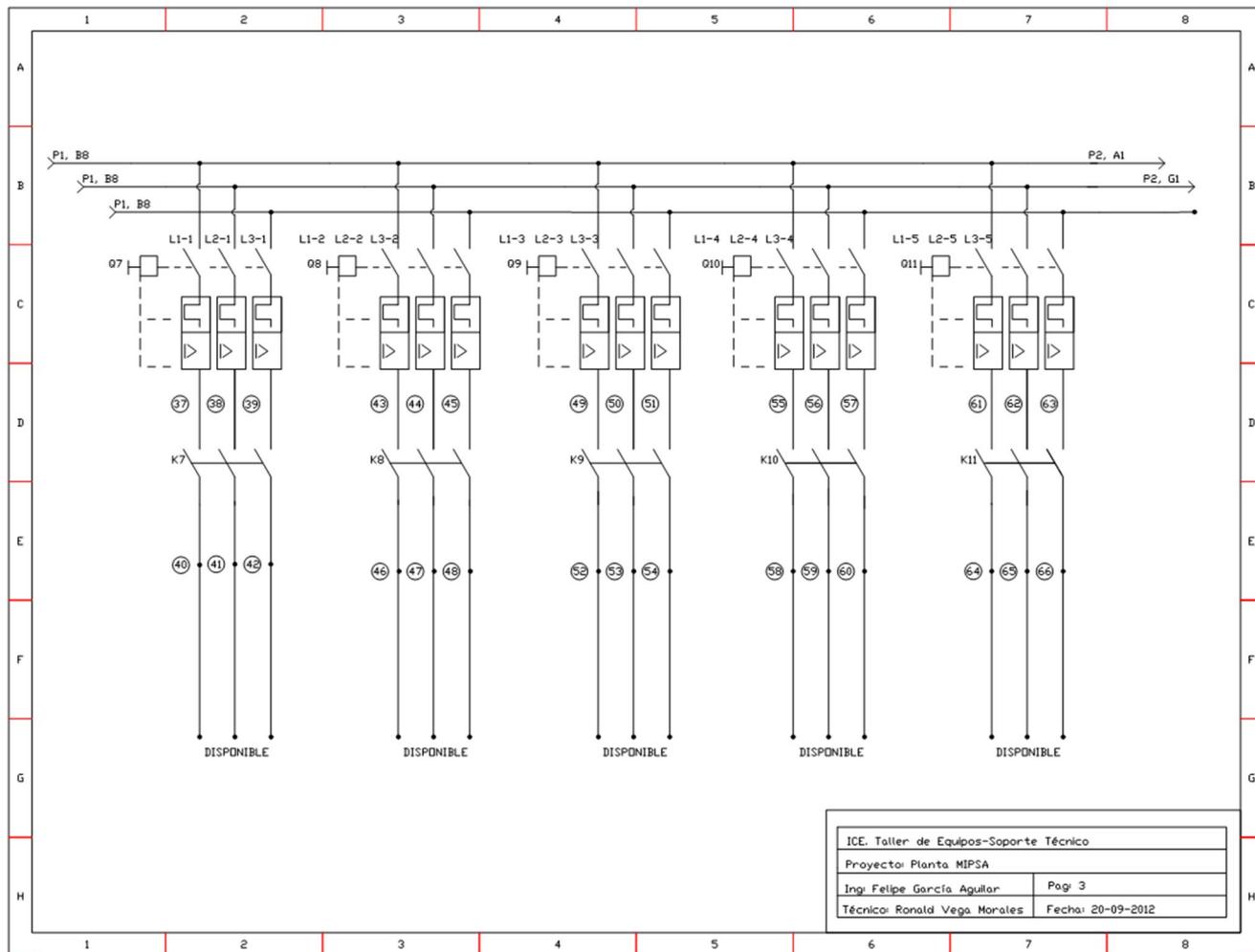
TCP: Transmission Control Protocol.

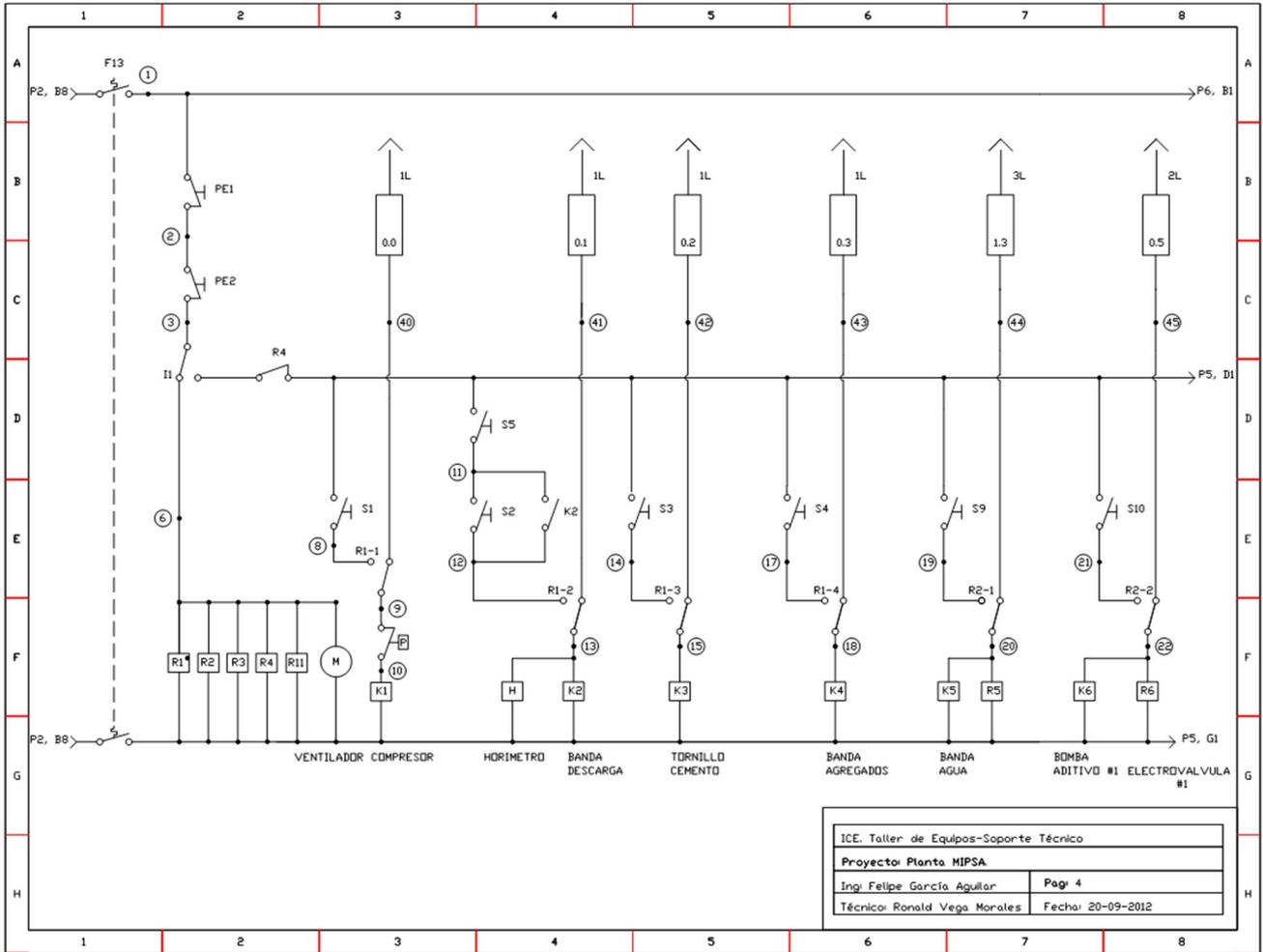
A.2 Manual(es) de usuario

Esquemáticos de la planta de concreto MIPSAs, realizados en Autocad.

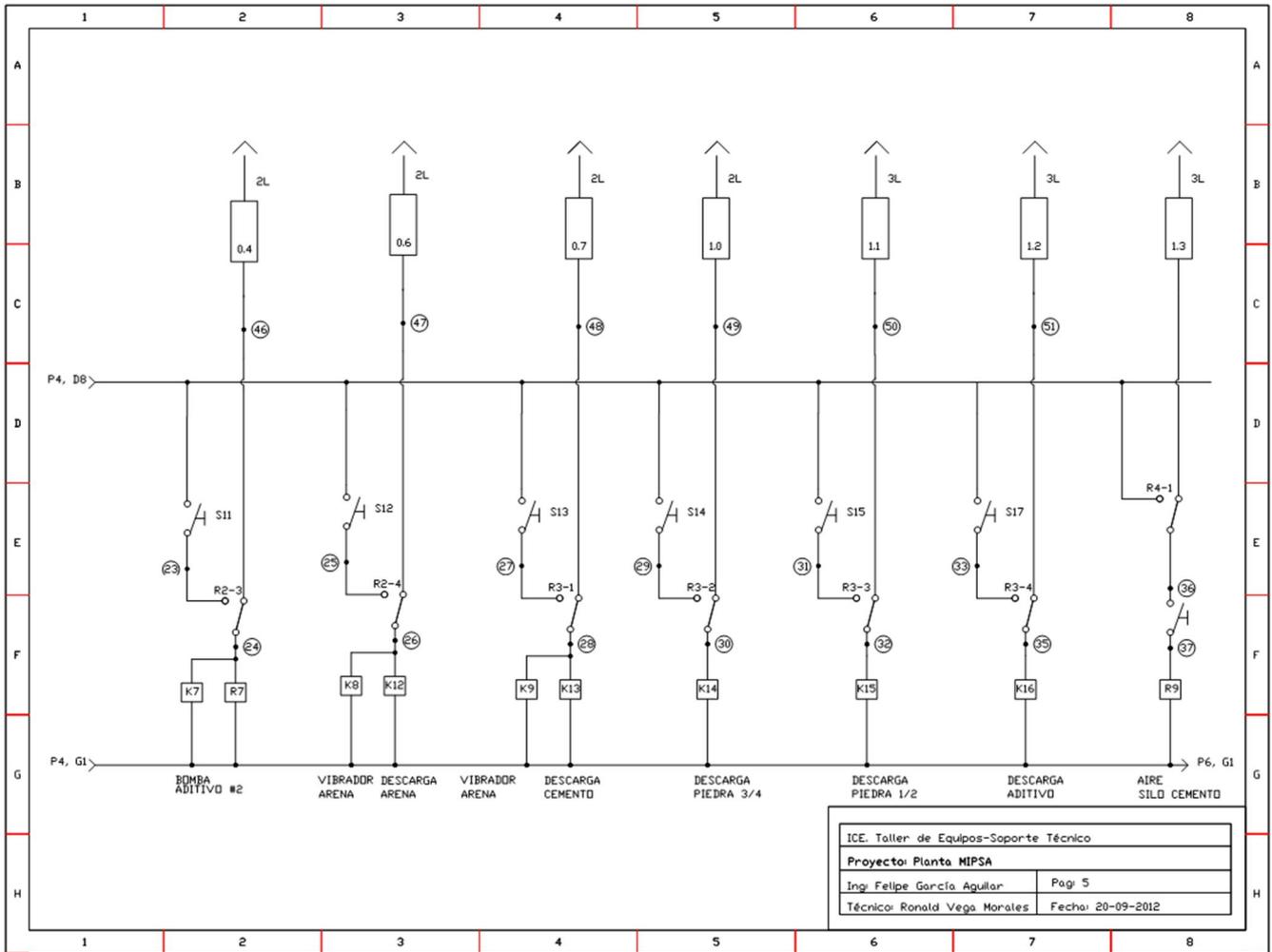


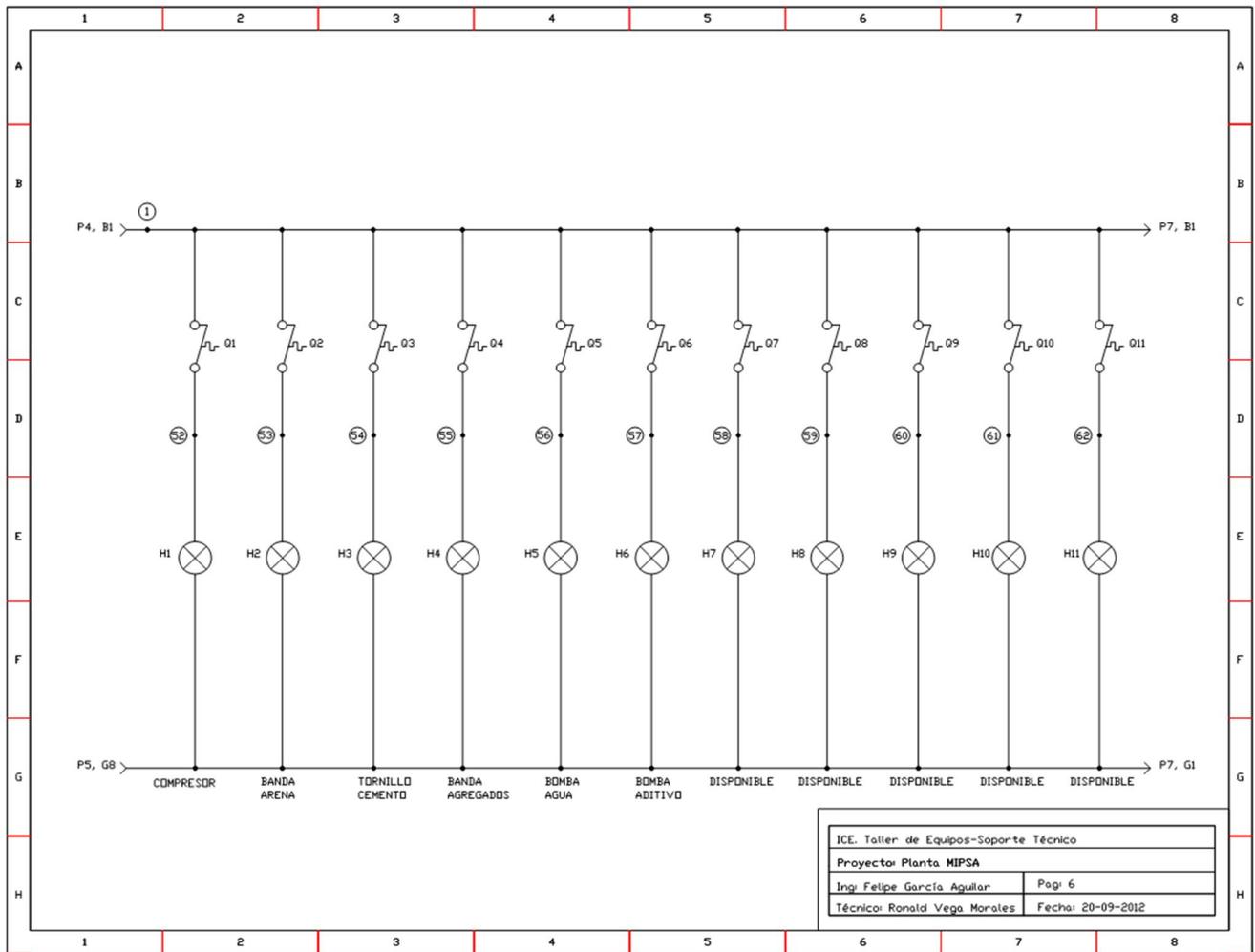


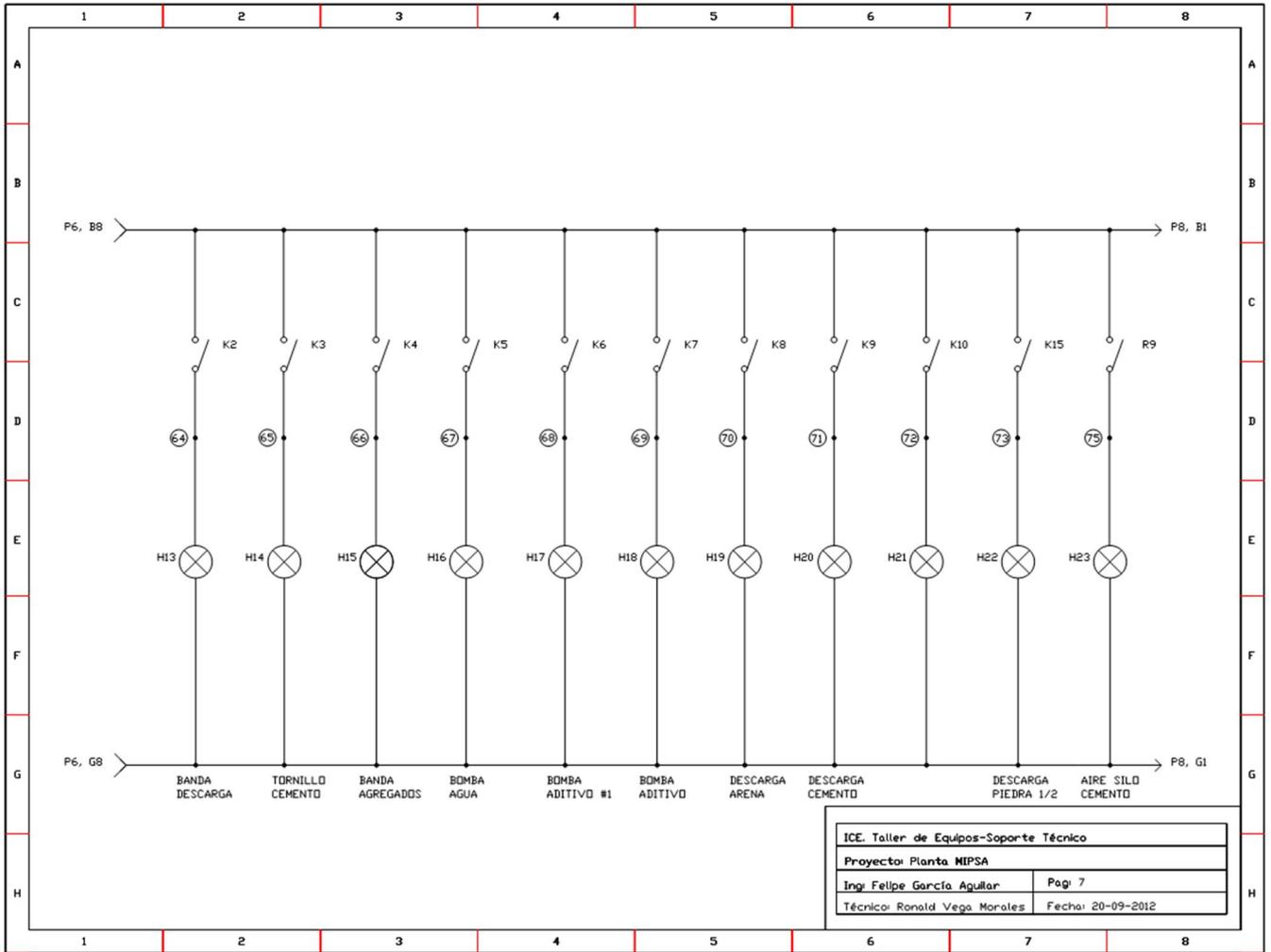


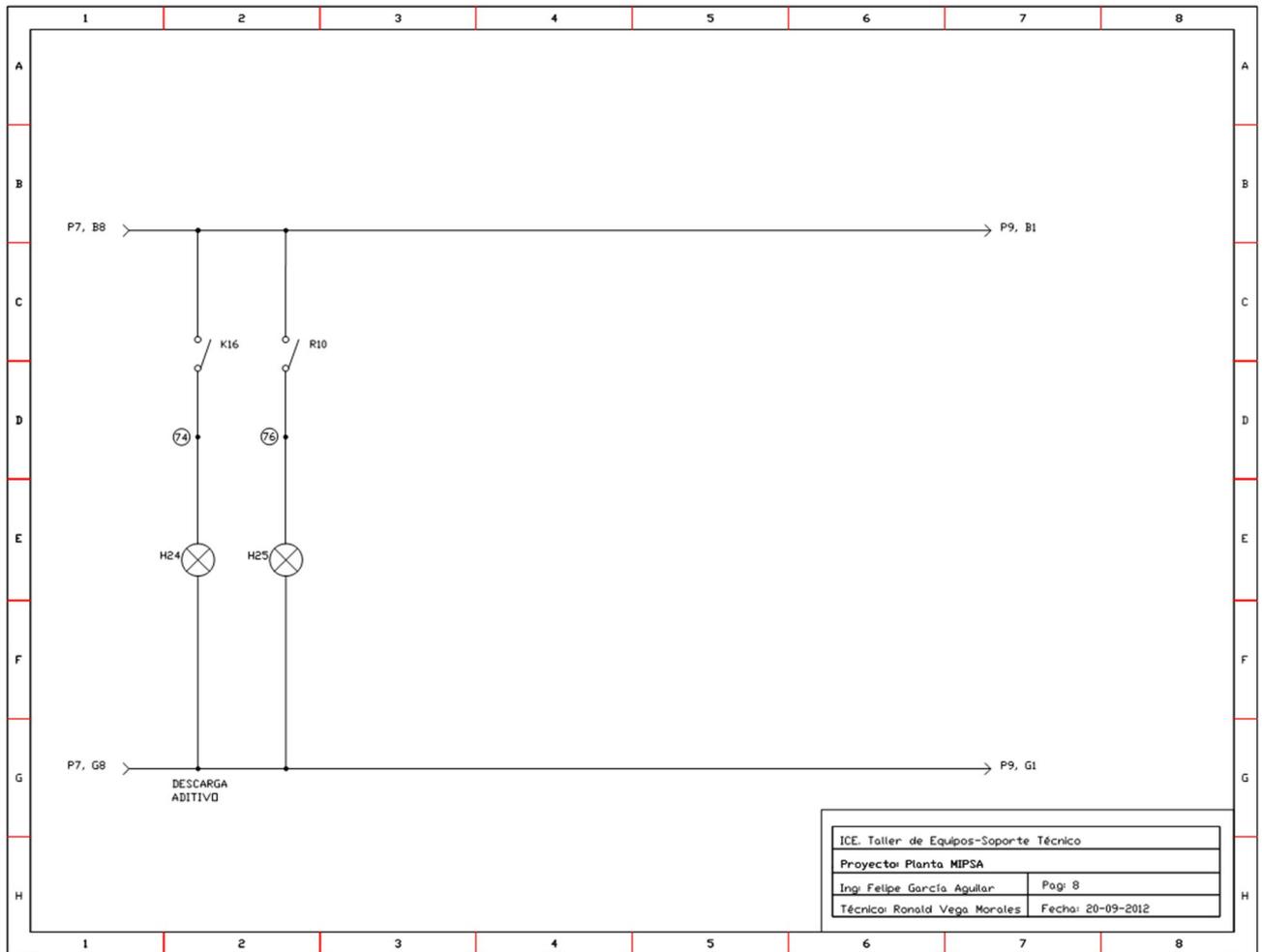


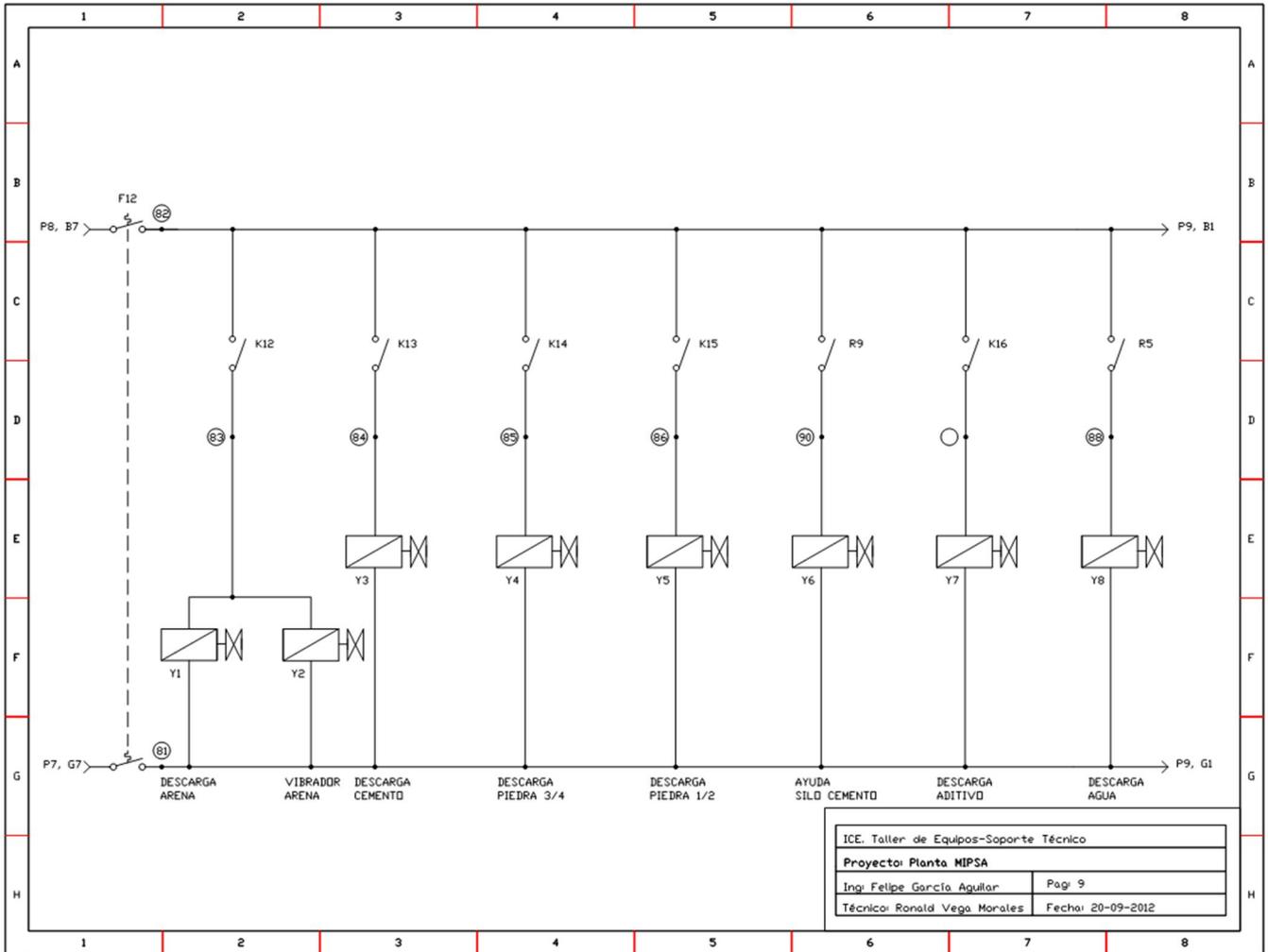
ICE. Taller de Equipos-Soporte Técnico	
Proyecto: Planta MIPSA	
Ing. Felipe García Aguilar	Página: 4
Técnico: Ronald Vega Morales	Fecha: 20-09-2012

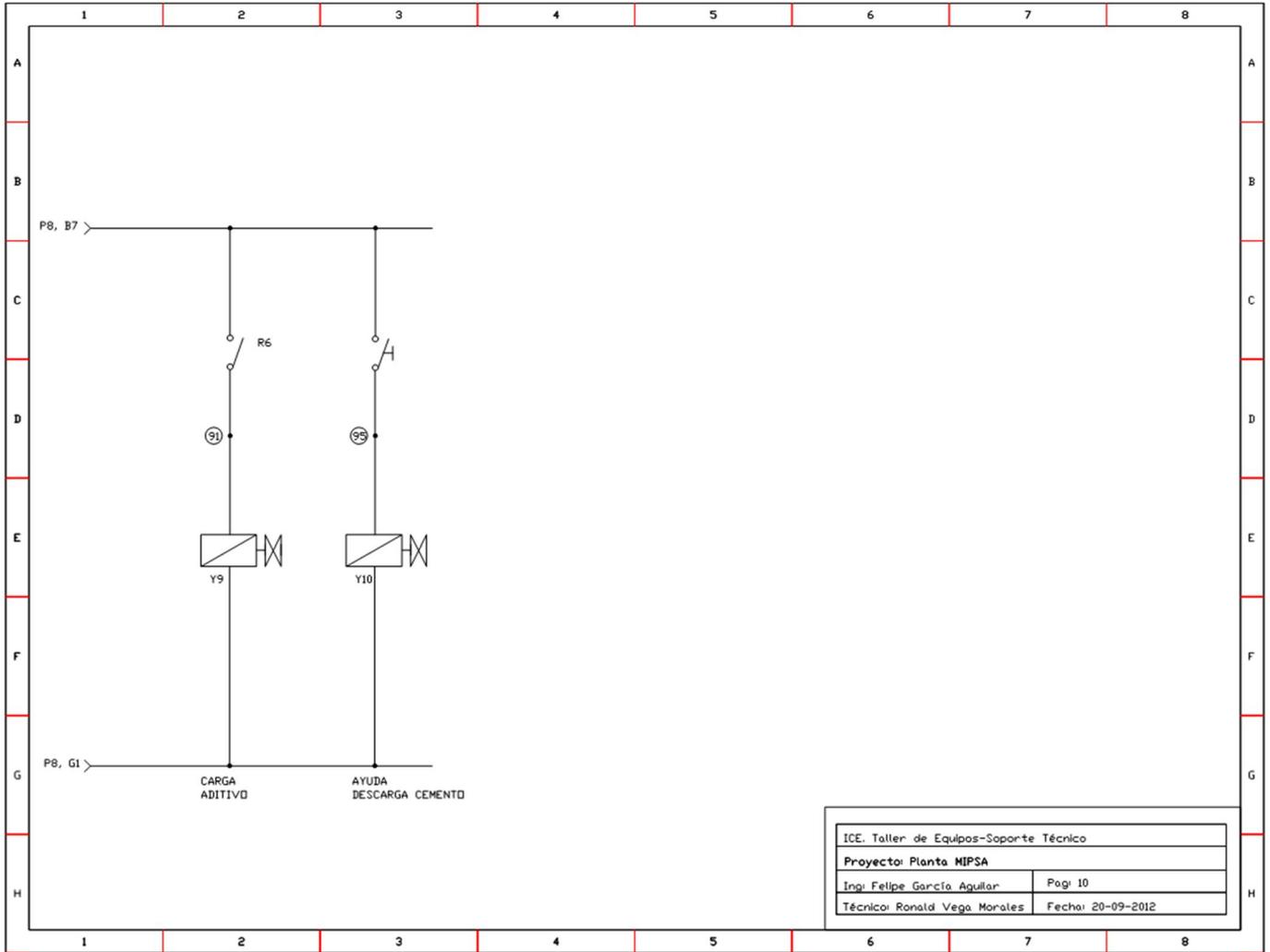












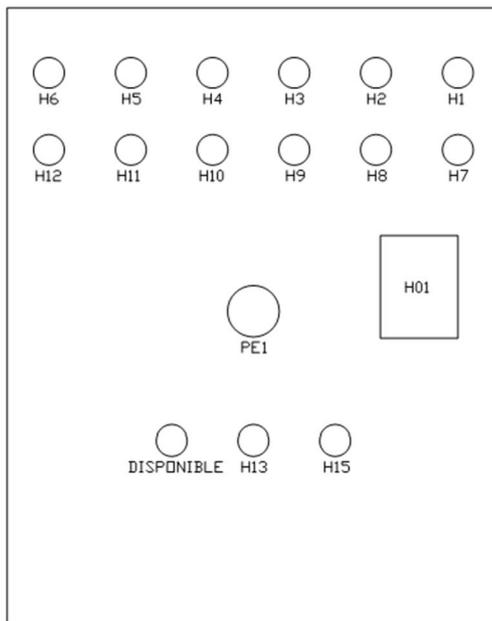
ICE, Taller de Equipos-Soporte Técnico	
Proyecto: Planta MIPS A	
Ingr: Felipe García Aguilar	Página: 10
Técnico: Ronald Vega Morales	Fecha: 20-09-2012

CONEXIONES DE RELETAS SEGUN NUMERACION

- | | | |
|--|---|---|
| <p>0: -</p> <p>1: X2-2, X3-0.</p> <p>2: X2-2, X3-0.</p> <p>3: X2-3, X3-1, X7-0.</p> <p>4: -.</p> <p>5: X2-4, X3-2, X7-2.</p> <p>6: X2-5, X3-4.</p> <p>7: X2-6, X2-10, X2-14,
X2-17, X2-21, X2-24,
X2-27, X2-30, X2-33, X2-36,
X3-5, X3-7, X3-10, X3-12,
X3-15, X3-19, X3-21, X3-23,
X3-15, X3-19, X3-21, X3-23,</p> <p>8: X2-7, X3-6.</p> <p>9: X8-44.</p> <p>10: X2-9, X8-45.</p> <p>11: X2-12, X3-8.</p> <p>12: X2-12, X3-9.</p> <p>13: X2-13.</p> <p>14: X2-15, X3-11.</p> <p>15: X2-16.</p> <p>16: -X2-18, X3-13.</p> <p>17: X2-19, X3-14.</p> <p>18: X2-20.</p> <p>19: X2-22, X3-16.</p> <p>20: X2-23.</p> <p>21: X2-25, X3-18.</p> <p>22: X2-26.</p> <p>23: X2-28, X3-20.</p> <p>24: X2-29.</p> <p>25: X2-31, X3-22.</p> <p>26: X2-32.</p> <p>27: X2-34, X3-24.</p> <p>28: X2-35.</p> <p>29: X2-37.</p> <p>30: X2-28.</p> <p>31: X3-28.</p> <p>32: X2-4.</p> <p>33: X3-30.</p> <p>34: -.</p> <p>35: X2-45.</p> <p>36: X3-31.</p> <p>37: X3-32.</p> <p>38: -.</p> | <p>39: -.</p> <p>40: X1-1.</p> <p>41: X1-2.</p> <p>42: X1-2.</p> <p>43: X1-4.</p> <p>44: X4-5.</p> <p>45: X4-6.</p> <p>46: X4-7.</p> <p>47: X4-8.</p> <p>48: X4-9.</p> <p>49: X4-10.</p> <p>50: X4-11.</p> <p>51: X4-12.</p> <p>52: X5-1.</p> <p>53: X5-2.</p> <p>54: X5-4.</p> <p>55: X5-4.</p> <p>56: X5-5.</p> <p>57: X5-6.</p> <p>58: X5-7.</p> <p>59: X5-8.</p> <p>60: X5-9.</p> <p>61: X5-10.</p> <p>62: X5-11.</p> <p>63: X2-50, X3-34.</p> <p>64: X2-51, X3-35.</p> <p>65: X2-52, X3-36.</p> <p>66: X2-53, X3-37.</p> <p>67: X2-54, X3-38.</p> <p>68: X2-55, X3-39.</p> <p>69: X2-56, X3-39.</p> <p>70: X2-57, X3-41.</p> <p>71: X2-58, X3-42.</p> <p>72: X2-59, X3-43.</p> <p>73: X2-60, X3-44.</p> <p>74: X2-61, X3-46.</p> <p>75: X2-62, X3-46.</p> <p>76: X2-63, X3-47.</p> <p>77: -.</p> <p>78: -.</p> | <p>79: -.</p> <p>80: -.</p> <p>81: X6-2, X8-6, X8-50, X8-12, X8-13.</p> <p>82: -.</p> <p>83: X6-1, X8-5, X8-8.</p> <p>84: X6-3, X8-49.</p> <p>85: X6-5, X8-26.</p> <p>87: -.</p> <p>88: -.</p> <p>89: -.</p> <p>90: X6-15, X8-14.</p> |
|--|---|---|

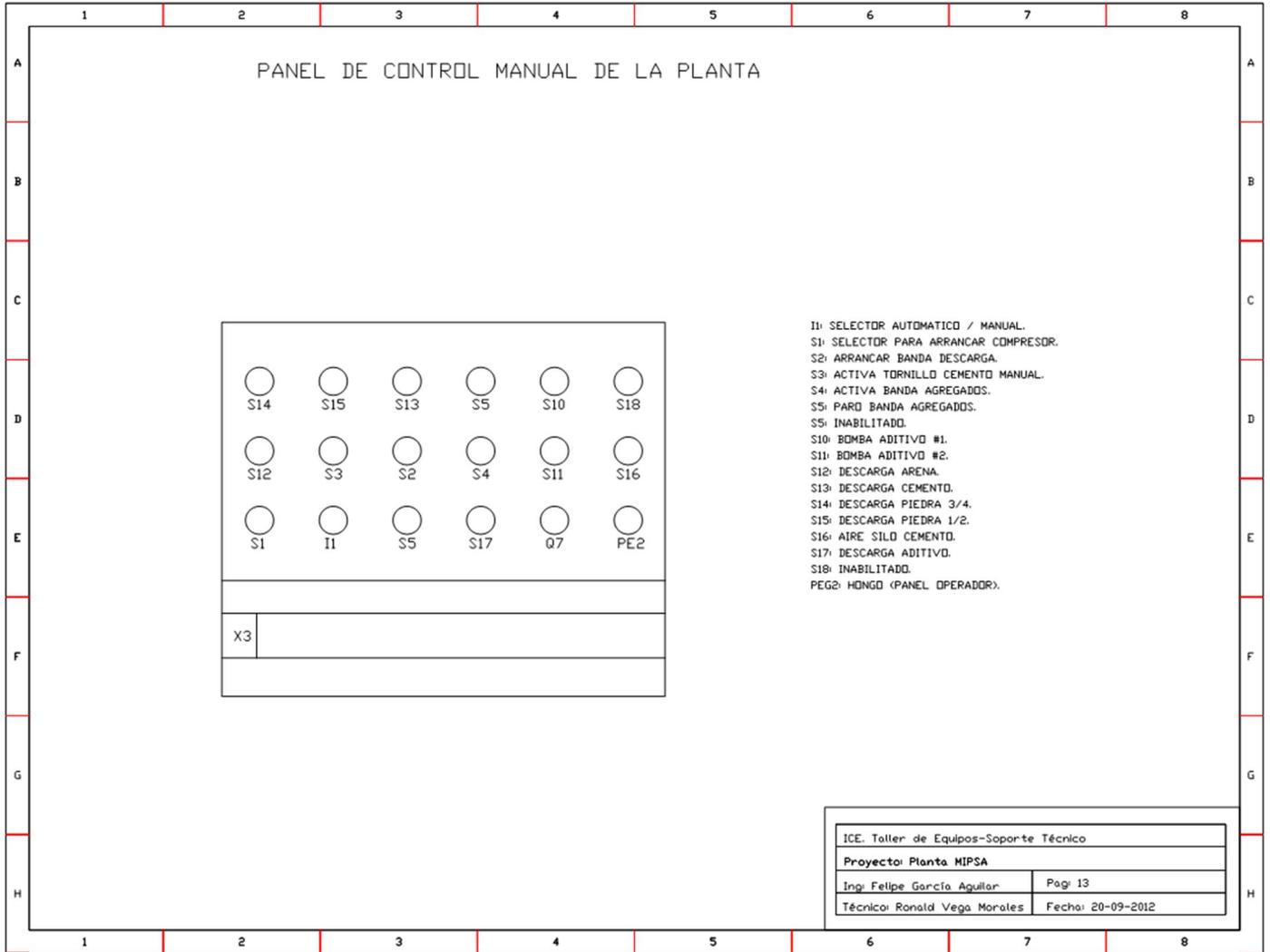
ICE. Taller de Equipos-Soporte Técnico	
Proyecto: Planta MIPSA	
Ing. Felipe Garcia Aguilar	Pag: 11
Técnico: Ronald Vega Morales	Fecha: 20-09-2012

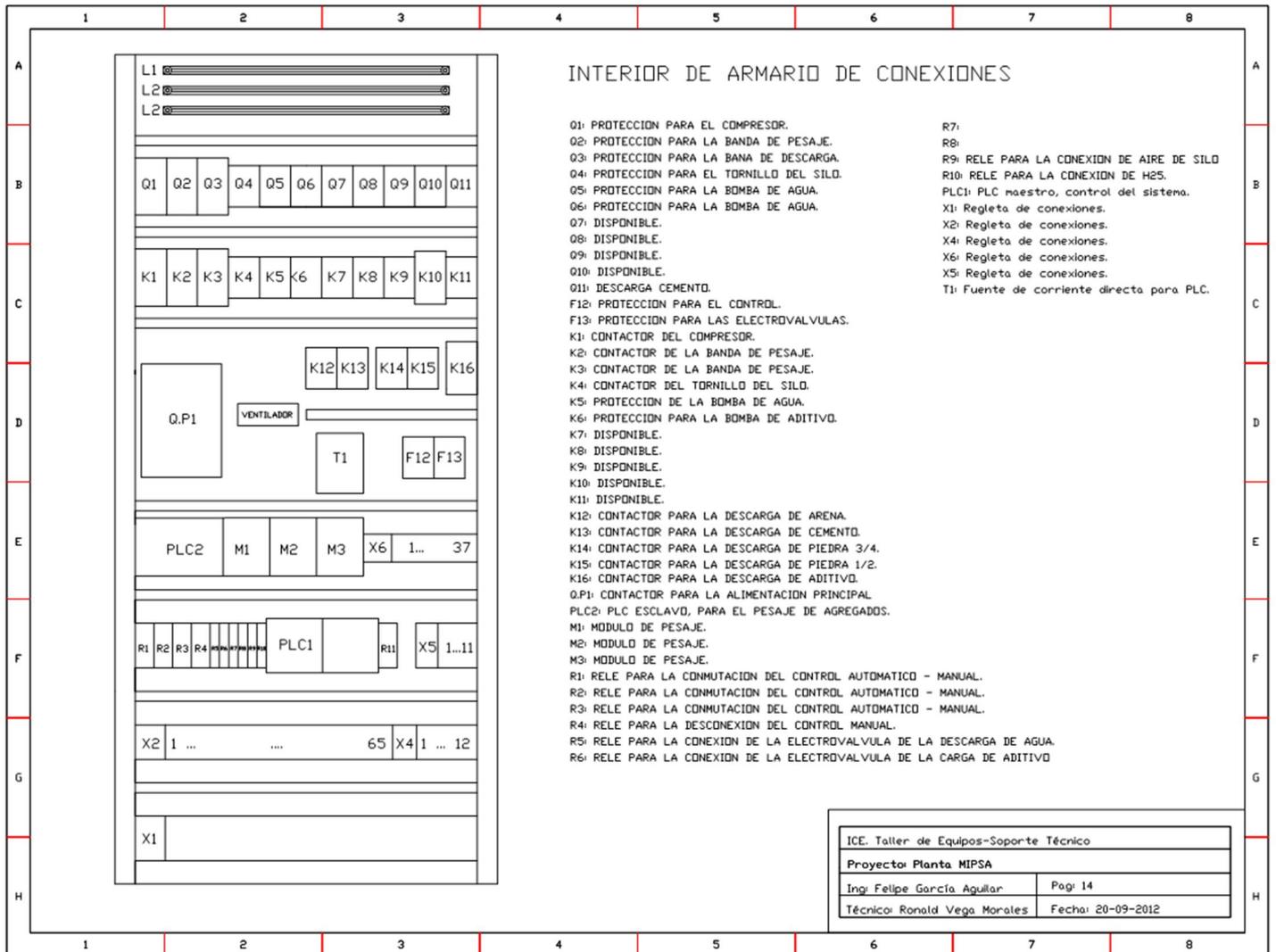
VISTA FRONTAL DE ARMARIO DE CONEXIONES



- H01: HORIMETRO.
- H1: COMPRESOR.
- H2: BANDA DESCARGA.
- H3: TORNILLO CEMENTO.
- H4: BANDA AGREGADOS.
- H5: BOMBA AGUA.
- H6: BOMBA ADITIVO.
- H7: DISPONIBLE.
- H8: DISPONIBLE.
- H9: DISPONIBLE.
- H10: DISPONIBLE.
- H11: DISPONIBLE.
- H13: BANDA DESCARGA.
- H14: TORNILLO CEMENTO.
- H15: BANDA AGREGADOS.
- H16: BOMBA AGUA.
- H17: BOMBA ADITIVO #1.
- H18: BOMBA ADITIVO #2.
- H19: DESCARGA ARENA.
- H20: DESCARGA CEMENTO.
- H21:
- H22: DESCARGA PIEDRA 1/2.
- H23: AIRE SILO CEMENTO.
- H24: DESCARGA ADITIVO.

ICE. Taller de Equipos-Soporte Técnico	
Proyector Planta MIPSA	
Ingr. Felipe García Agullar	Página 12
Técnico: Ronald Vega Morales	Fecha: 20-09-2012





ICE. Taller de Equipos-Soporte Técnico	
Proyecto: Planta MIPSa	
Ingeniero: Felipe García Aguilar	Página: 14
Técnico: Ronald Vega Morales	Fecha: 20-09-2012