

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**Modernización del sistema de control de las unidades de generación de la
Planta Hidroeléctrica Angostura**

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

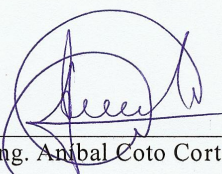
Jonathan Ulloa Muñoz

Cartago, Agosto de 2011

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



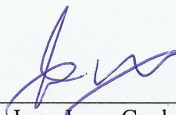
Ing. Anibal Coto Cortés

Profesor lector



Ing. Marvin Hernández Cisneros

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, 26 de agosto de 2011

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, Agosto 2011



Jonathan Ulloa Muñoz

Céd: 3-0408-0344

Resumen

El objetivo primordial de la Planta Hidroeléctrica Angostura es generar energía eléctrica a través de sus tres unidades generadoras, para lo cual cuenta con diversos equipos industriales de control y monitoreo para asegurar el buen funcionamiento tanto de los generadores como de los sistemas auxiliares. Una parte importante del sistema de supervisión y control lo conforma la aplicación SCADA desarrollada en la Planta desde su puesta en marcha, pero que debido a la antigüedad de los equipos esta aplicación perdió comunicación con los mismos, dejándola sin uso actualmente.

El sistema SCADA es importante para la Planta ya que constituye una herramienta útil en el afán de mantener los diversos equipos y máquinas bajo supervisión en tiempo real, permitiendo detectar averías rápidamente y agilizando el proceso de atención a las mismas.

Con el fin de solucionar esta situación, se implementó un sistema moderno de control basado en PLC para las unidades de generación y sistemas auxiliares con comunicación mediante la red Ethernet, lo cual permite incorporarlo al sistema SCADA con que cuenta la Planta.

Palabras claves: Control, Planta hidroeléctrica, PLC, red Ethernet, SCADA.

Abstract

The primary objective of the Angostura Hydroelectric Power Plant is to generate electricity through its three generating units, for which it has several industrial control and monitoring equipment to ensure the proper operation of both generators and auxiliary systems. An important part of monitoring and control system is conformed by the SCADA application developed at the Plant since its launch, but due to the antiquity of the equipment this application has lost communication with it, leaving no use today.

The SCADA system is important for the Plant as a useful tool in the effort to maintain the several equipment and machines under real-time monitoring, allowing to detect faults quickly and speeding up the caring process of that faults.

In order to solve this situation a modern PLC based control system was implemented for generating units and auxiliary systems with communication over the Ethernet network, allowing incorporate it into the SCADA system available to the Plant.

Keywords: Control, Ethernet network, Hydroelectric power plant, PLC, SCADA.

Dedicatoria

A mi familia, por el apoyo incondicional durante todos estos años y la motivación que han significado en mi vida para seguir adelante.

Agradecimiento

Primeramente agradezco a Dios por brindarme la oportunidad para superarme y guiar mis pasos desde el momento que inicié mi carrera.

Al Ing. Fabián Madriz por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de graduación en el Centro de Producción Angostura, y a los técnicos y operadores que me ayudaron durante el tiempo que estuve allí, especialmente al señor Wilberth Camacho por su colaboración.

A todas las personas que trabajan en la Planta y que me brindaron su apoyo durante la ejecución del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1	Introducción.....	1
1.1	Problema existente e importancia de su solución	1
1.2	Solución seleccionada.....	4
Capítulo 2	Meta y Objetivos.....	7
2.1	Meta.....	7
2.2	Objetivo general.....	7
2.3	Objetivos específicos.....	7
Capítulo 3	Marco Teórico.....	9
3.1	Descripción del sistema o proceso a mejorar.....	9
3.1.1	Interfaz Hombre-Máquina.....	10
3.1.2	Protocolos de comunicación.....	12
3.1.3	Controlador programable.....	16
3.1.4	Lenguaje de programación.....	17
3.1.5	Módulo adaptador.....	18
3.1.6	Módulos de entrada y salida.....	20
3.2	Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.....	20
3.2.1	Sensores de temperatura.....	20
3.2.1.1	RTD (Detector Resistivo de Temperatura).....	21
3.2.1.2	Termocuplas.....	23
3.2.2	Modelo TCP/IP.....	26
3.2.3	Ethernet.....	27
3.2.4	Red ControlNet.....	28
3.2.5	Software de programación RSLogix5000.....	29
3.2.6	Software de programación FactoryTalk View Studio.....	30
Capítulo 4	Procedimiento metodológico.....	33
4.1	Reconocimiento y definición del problema.....	33
4.2	Obtención y análisis de información.....	33
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución.....	34
4.4	Implementación de la solución.....	35
4.5	Reevaluación y rediseño.....	38
Capítulo 5	Descripción detallada de la solución.....	39
5.1	Análisis de soluciones y selección final.....	39
5.2	Descripción del hardware.....	42
5.2.1	PLC 1756-ControlLogix.....	42
5.2.1.1	Controlador 1756-L61.....	43
5.2.1.2	Módulo de comunicación EtherNet/IP 1756-ENET/B.....	44
5.2.1.3	Módulo de comunicación ControlNet 1756-CNB.....	45
5.2.1.4	Módulo de comunicación Remote I/O 1756-DHRIO.....	46
5.2.1.5	Fuente de alimentación.....	47

5.2.2	Sensores.....	47
5.2.3	Módulos adaptadores 1771.....	48
5.2.3.1	Módulo adaptador remoto 1771- ASB.....	48
5.2.3.2	Módulo adaptador ControlNet 1771- ACNR15.....	50
5.2.4	Terminal de operador PanelView Plus 1000	50
5.3	Descripción del software.....	51
5.3.1	Secuencias programadas en el controlador 1756-L61.....	52
5.3.2	Interfaz de usuario para la terminal de operador.....	64
Capítulo 6	Análisis de resultados.....	68
Capítulo 7	Conclusiones y recomendaciones.....	71
7.1	Conclusiones.....	71
7.2	Recomendaciones.....	72
Capítulo 8	Bibliografía.....	73
Apéndices	77
A.1	Glosario.....	77
A.2	Tablas de comparación.....	79
A.3	Pantallas de la terminal de operador para visualización de variables.....	81
A.4	Fotos del sistema.....	85
A.5	Documento: Guía de procedimientos utilizados durante el desarrollo del proyecto.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de bloques del sistema de control original de cada unidad de generación.....	2
Figura 1.2 Diagrama de bloques general de la solución.....	5
Figura 3.1 Componentes principales del sistema de control actual.....	10
Figura 3.2 Terminal de operador PanelView 900. [1].....	11
Figura 3.3 Red Data Highway Plus [11].....	13
Figura 3.4 Red Remote I/O [11].....	14
Figura 3.5 Lenguajes de programación IEC 61131-3 [10].....	18
Figura 3.6 Distribución de módulos locales y remotos. [21].....	19
Figura 3.7 Gráfico Temperatura-resistencia para algunos materiales de construcción de RTD. [16].....	22
Figura 3.8 Esquema de conexión típica de una termocupla. [16].....	24
Figura 3.9 Comparación entre capas del modelo TCP/IP y el modelo OSI.....	26
Figura 3.10 Pantalla gráfica desarrollada utilizando FactoryTalk View Studio.....	31
Figura 5.2.1 División de CPUs en el controlador 1756-L61. [5].....	44
Figura 5.2.2 Módulo de comunicación EtherNet/IP 1756-ENET/B [22].....	45
Figura 5.2.3 Módulo de comunicación ControlNet 1756-CNB. [23].....	46
Figura 5.2.4 Módulo de comunicación DH+ y Remoto E/S 1756-DHRIO. [24].....	46
Figura 5.2.5 Fuentes de alimentación redundantes ControlLogix.....	47
Figura 5.2.6 Detector Resistivo de Temperatura Pt100. [25].....	48
Figura 5.2.7 Módulo adaptador remoto 1771-ASB. [26].....	49
Figura 5.2.8 Módulo adaptador ControlNet 1771-ACNR15. [27].....	50
Figura 5.2.8 Pantalla de operador PanelView Plus 1000. [4].....	51
Figura 5.3.1 Distribución de procedimientos del programa.....	53
Figura 5.3.2 Fragmento de la rutina PRESTART.....	54
Figura 5.3.3 Fragmento de la rutina UNIT_START.....	55
Figura 5.3.4 Secuencia de arranque de la unidad.....	56
Figura 5.3.5 Fragmento de la rutina GEN_STOP.....	57

Figura 5.3.6	Secuencia de paro de la unidad operando como generador.....	58
Figura 5.3.7	Fragmento de la rutina COND_STOP.....	59
Figura 5.3.8	Secuencia de paro de la unidad operando como condensador síncrono.	60
Figura 5.3.9	Fragmento de la rutina CONDENSER.....	61
Figura 5.3.10	Secuencia de paso de la unidad de generador a condensador síncrono.....	62
Figura 5.3.11	Secuencia de paso de la unidad de condensador síncrono a generador.....	63
Figura 5.3.12	Fragmento de la rutina Discriminador_de_disparo_RTDS.....	64
Figura 5.3.13	Menú principal de la interfaz de usuario.....	65
Figura 5.3.14	Pantalla de alarmas.....	66
Figura 5.3.15	Pantalla de disparos.....	67
Figura A.1	Submenú para visualización de variables.....	81
Figura A.2	Temperaturas de las bobinas del estator.....	81
Figura A.3	Temperaturas de los cojinetes.....	82
Figura A.4	Variables de la turbina y el gobernador #1.....	82
Figura A.5	Variables de la turbina y el gobernador #2.....	83
Figura A.6	Variables de la turbina y el gobernador #3.....	83
Figura A.7	Temperaturas de los cojinetes guía.....	84
Figura A.8	Gabinete con el PLC ControlLogix y las fuentes redundantes.....	85
Figura A.9	Gabinete con los módulos I/O 1771 remotos.....	86
Figura A.10	Panel de Mando y Alarmas con la pantalla PanelView Plus 1000.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Materiales comunes utilizados en la construcción de RTDs. [15].....	21
Tabla 3.2	Coefficientes de Seebeck para diferentes materiales. [16].....	24
Tabla A.2.1	Comparación de diferentes modelos de PLC.....	79
Tabla A.2.2	Comparación de controladores Logix5000.....	80

Capítulo 1 Introducción

El Instituto Costarricense de Electricidad ha llevado a cabo numerosos proyectos de generación de energía hidroeléctrica, uno de ellos lo constituyó el Centro de Producción Angostura ubicado en Turrialba, el cual entró en operación en el año 2000.

Este centro cuenta con tres unidades de generación de 67530 KVA cada una, donde el sistema de control es únicamente manual, por medio de un pupitre de mando (tablero con botoneras) y una pantalla HMI (interfaz hombre máquina), donde ambos permiten operar manualmente el arranque y paro de las unidades, subir y bajar potencia, excitar y sincronizar, pasar las unidades de generación a condensador síncrono o viceversa, además permite operar los sistemas auxiliares como el sistema de enfriamiento secundario, el centro de control de motores, compresores de aireación, entre otros.

En este capítulo se expondrá en detalle cuál es la situación actual del sistema de control de las unidades de generación, el problema que representa para la Planta y su respectiva solución.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Como se mencionó anteriormente, el sistema de control de las unidades de generación consiste de un pupitre de mando ubicado en la sala de control y de una pantalla gráfica modelo PanelView 900 de la marca Allen-Bradley. Mediante estas dos interfaces es posible manipular los controladores programables encargados de gobernar a los generadores. Cada unidad de generación cuenta con su respectivo controlador lógico programable (PLC, por sus iniciales en inglés) así como los módulos correspondientes de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales.

Es importante mencionar que la Planta cuenta con las licencias de desarrollo y runtime para sistemas SCADA (acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition. Supervisión, Control y Adquisición de Datos en español), así como un sistema desarrollado previamente, el cual no está operando debido a razones detalladas a continuación.

De forma concreta un sistema SCADA consiste en una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, brindando comunicación con los dispositivos de campo (en este caso PLCs) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador por medio de una interfaz gráfica. También provee información útil que se genera durante el proceso productivo, la cual puede ser analizada para determinar la eficiencia del proceso y almacenar datos.

El sistema de control con el cual cuenta la Planta actualmente se representa de forma general en el siguiente diagrama de bloques. Del mismo se observa la falta de comunicación con el servidor que aloja el SCADA.

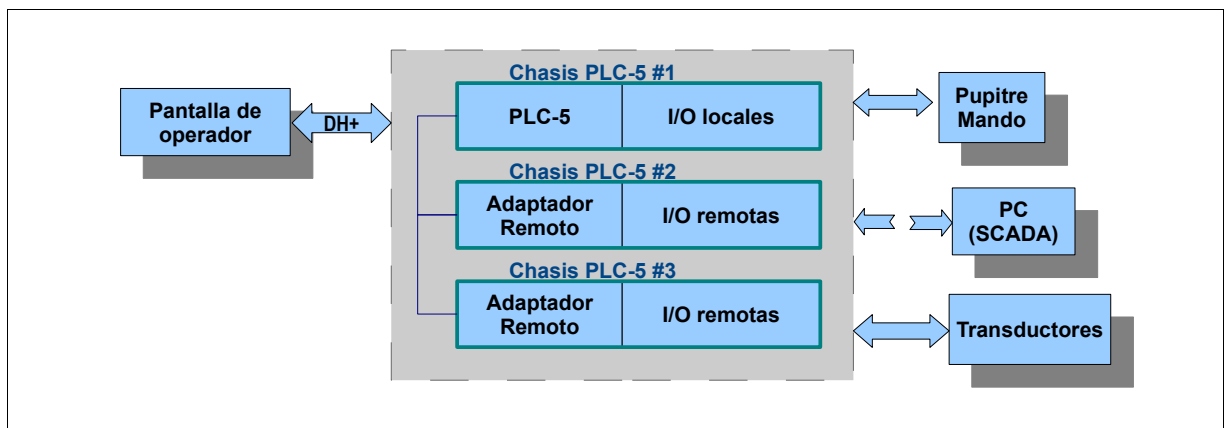


Figura 1.1 Diagrama de bloques del sistema de control original de cada unidad de generación.

Los controladores que están dispuestos en casa máquinas y que gobiernan los generadores son marca Allen-Bradley, modelos PLC-5, los cuales no están disponibles en el mercado actualmente debido a su antigüedad. Dado lo anterior y a las limitaciones que estos controladores poseen, el sistema SCADA con el que se cuenta en la Planta está imposibilitado de comunicación con los mismos. Específicamente, lo anterior se da debido a que el PLC-5 no cuenta con conexión a la red Ethernet, lo cual es necesario para la transferencia de información entre el servidor que aloja el sistema SCADA y los respectivos dispositivos de campo, como lo son los PLCs.

Un componente importante del sistema SCADA lo constituye la pantalla PanelView 900, la cual brinda la interfaz con el operador. Ésta al igual que el PLC-5 no cuenta con comunicación Ethernet, sino que es comunicada con el controlador mediante el protocolo DH+. Esta característica hace de la pantalla un elemento más que es incapaz de comunicarse con el servidor, el cual cuenta con el software correspondiente al sistema SCADA.

La importancia de resolver esta situación radica en que es necesario para la planta contar con un sistema automático que brinde de forma detallada el estado en tiempo real de los tres generadores, así como de los sistemas auxiliares; además es importante que la Planta inicie un proceso de modernización, dado principalmente a que es una de las Plantas Hidroeléctricas certificadas de Costa Rica y a que desde sus inicios en el año 2000 no se ha desarrollado ningún proyecto que fortalezca su sistema de control. Por otro lado, dado a que el SCADA no está en funcionamiento, los operadores cada hora deben registrar manualmente en una bitácora ciertos datos como: el nivel del embalse, caudal de entrada, temperaturas, presiones, potencia activa, potencia reactiva, entre otros. Como los datos se introducen manualmente el operador puede alterar estos datos y con ello tener registros no aceptables que no permiten confiar en la tendencia de los valores.

Dado lo anterior surge la interrogante, ¿Qué puede realizarse para dejar dispuesto el sistema de control de modo que se pueda aprovechar el sistema SCADA con el que se cuenta actualmente?

1.2 Solución seleccionada

De modo que se logre resolver el problema planteado en la sección anterior es necesario desarrollar un sistema moderno que cumpla con las siguientes características:

- El nuevo dispositivo lógico programable debe realizar las mismas funciones que realiza el PLC-5 con el cual cuenta cada unidad de generación.
- Brindar al operador acceso al proceso de producción de energía, así como al funcionamiento de los sistemas auxiliares.
- El sistema debe contar con comunicación hacia y desde la red Ethernet.
- El sistema debe brindar la posibilidad de incorporarlo al sistema SCADA de la Planta.
- Contar con una pantalla HMI (interfaz hombre-máquina) con la cual operar la unidad de generación.

La idea general de la solución al problema planteado, consiste en la modernización del sistema de control actual de las unidades de generación de modo que se cumplan las restricciones planteadas anteriormente.

En la figura 1.2, se puede observar el diagrama de bloques general de la solución a implementar, en el cual se presenta la red Ethernet que sirve de medio de comunicación entre los distintos módulos.

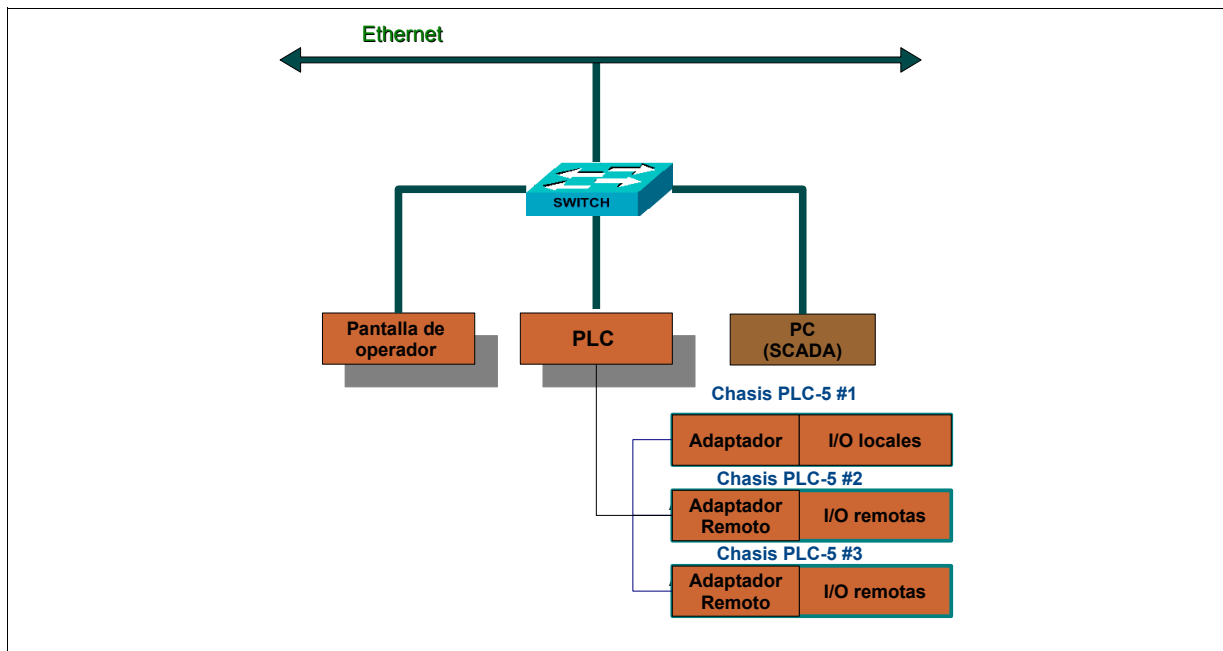


Figura 1.2 Diagrama de bloques general de la solución.

Como se observa en la figura 1.2, es de gran importancia implementar una plataforma de comunicación regida por el estándar Ethernet, por lo que el Centro de Producción Angostura deberá contar con la red disponible para su uso durante y después del presente proyecto. Una vez implementada la red, es necesario contar con un controlador programable con facilidad de acceso a la red y además una pantalla que sirva de interfaz entre el sistema de control y el operador que también cuente con comunicación dentro de la red.

Dado que el sistema cuenta con múltiples señales de entrada y salida, tanto analógicas como digitales, en primera instancia se considera conveniente mantener los módulos de entrada y salida pertenecientes al PLC-5 original; por lo que es necesario determinar la manera de comunicar estos módulos con el nuevo controlador programable mediante algún adaptador.

Una vez cumplido lo anteriormente descrito, el sistema contará con la posibilidad de comunicación con cualquier PC a través de una red de área local, lo que permitiría contar con un sistema SCADA que fortalezca el sistema de control.

Capítulo 2 Meta y Objetivos

2.1 Meta

Obtener un sistema moderno de supervisión, control y adquisición de datos para la operación local y remota de las unidades de generación del Centro de Producción Angostura.

2.2 Objetivo general

Desarrollar un sistema de control automático para la operación de las unidades de generación, con operación local en sitio mediante una interfaz hombre máquina.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Objetivos de hardware

- a) Determinar la interfaz HMI que se adecue a los requerimientos de la solución.
- b) Determinar el equipo adecuado que permita obtener un sistema con la posibilidad de monitoreo a través de una red TCP/IP.
- c) Determinar los módulos adaptadores que cumplan las funciones requeridas para la solución.
- d) Determinar el controlador programable que satisfaga los requerimientos de la solución.

2.3.2 Objetivos de software

- a) Diseñar y programar la interfaz de usuario para el panel de operador.
- b) Determinar el direccionamiento adecuado de acuerdo a la red TCP/IP.
- c) Estudiar y verificar la correcta programación de las rutinas de control de las unidades de generación y sistemas auxiliares.
- d) Determinar posibles mejoras en la secuencia de control a fin de mejorar la eficiencia del sistema.

2.3.3 Objetivos de documentación

- a) Realizar una guía de los procedimientos principales utilizados durante el desarrollo de la solución.

2.3.4 Objetivos de implementación

- a) Instalar el equipo en el gabinete adecuado dentro de Casa Máquinas.
- b) Realizar las conexiones físicas necesarias del sistema, tanto con la red Ethernet como con los módulos remotos y la pantalla de operador.
- c) Llevar a cabo el arranque de la unidad con el sistema implementado.

Capítulo 3 Marco Teórico

En este capítulo se presentan los conceptos más importantes necesarios para comprender el funcionamiento del sistema de control actual de las unidades de generación del Centro de Producción Angostura, los componentes que lo conforman y sus limitaciones.

Además se presenta la descripción de algunos conceptos involucrados en el diseño e implementación del nuevo sistema de control.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El sistema de control de las unidades de generación cuenta con distintas etapas que se encargan de mantener cada generador de la Planta trabajando dentro del funcionamiento normal, ya sea propiamente como generador o como condensador síncrono. Además permite operar manualmente el arranque y paro de las unidades, subir y bajar potencia, excitar y sincronizar y también permite operar los sistemas auxiliares como el sistema de enfriamiento secundario, el centro de control de motores, compresores de aireación, entre otros.

Actualmente existe un sistema SCADA que fue desarrollado en el año 2000 cuando entraron en operación las unidades de Angostura por primera vez, pero día a día el SCADA se fue dañando y perdiendo comunicación con los controladores programables de las unidades, por lo que actualmente su funcionamiento es nulo.

Los elementos del sistema pueden visualizarse de acuerdo a la siguiente figura, donde cada bloque representa un componente importante dentro del sistema actual de control.

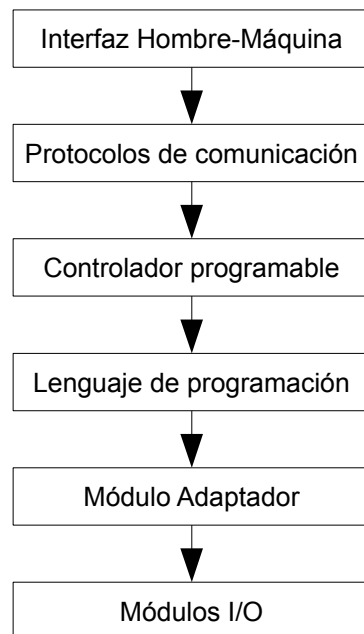


Figura 3.1 Componentes principales del sistema de control actual.

Cada bloque del sistema tiene relación directa con el bloque que le prosigue, considerando la interfaz con el operador como el inicio de un proceso que culmina con el envío y/o recepción de las señales, ya sean digitales o analógicas, encargadas de regir el sistema de control. Cada bloque se detalla a continuación.

3.1.1 Interfaz Hombre-Máquina

Los controladores lógicos programables necesitan interfaces hombre-máquina (HMI) para poder interactuar con los operadores para la configuración, la supervisión y el control diario del sistema automatizado.

El sistema de control actual del centro de producción Angostura utiliza una pantalla de operador marca Allen-Bradley, modelo PanelView 900, la cual se encuentra dispuesta en el segundo nivel de Casa Máquinas en el gabinete correspondiente al sistema denominado Panel de Mando y Alarmas (en adelante PMA). Dentro de sus

características más importantes se puede mencionar que su pantalla es monocromo, es decir, de un solo color. Cuenta con teclas tanto de función (F1-F9), numéricas y de navegación en la parte frontal.

En cuanto a la comunicación, cuenta con puertos RS-232 (DF1), DH+, DH-485 y puerto de E/S remotas; sin embargo no posee puerto de comunicación Ethernet. La siguiente figura muestra una vista frontal de dicha pantalla.

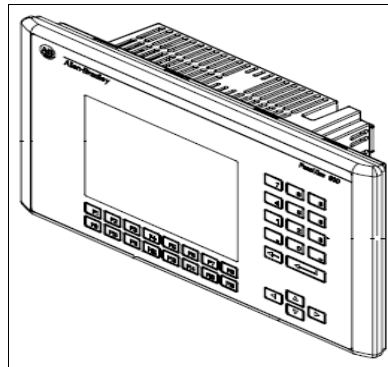


Figura 3.2 Terminal de operador PanelView 900. [1]

Dado a la antigüedad de las terminales PanelView 900 con las cuales opera la Planta y a su característica monocromática, éstas poseen daños debido al quemado de pantalla.

Además, la interfaz hombre-máquina se da a través del Pupitre de mando, el cual consiste de indicadores y botones para cada unidad de generación de acuerdo a las funciones de control disponibles. Actualmente el control de las unidades se da principalmente por medio de esta interfaz, ya que se encuentra ubicado en la sala de control lo que brinda comodidad a los operadores; y debido también a que el software SCADA desarrollado presenta problemas de comunicación, por lo que no es una opción.

3.1.2 Protocolos de comunicación

El sistema basado en PLC-5 con el cual cuenta la Planta hace uso de distintos protocolos de comunicación industrial a fin de llevar a cabo su labor de control. Estos son DF1, DH 485, DH+, Remote I/O y PROFIBUS.

El primero consiste en un protocolo serial entre dos dispositivos. El PLC se conecta directamente a una PC, módem u otro equipo que soporte este protocolo. Utiliza interfaces que usan el puerto RS232, con conectores DB9 en los extremos del cable. Soporta comunicación *full-duplex* para configuraciones punto a punto y *half-duplex* cuando los equipos están como maestro-esclavo.

El DH 485 es un protocolo de comunicación serial que soporta la conexión punto a punto o formando una red de hasta 32 dispositivos con velocidades de hasta 19,2 Kbaudios en distancias de hasta 1,2 Km. Se puede configurar a los dispositivos como maestros o esclavos, y la transmisión se hace por pasos o token. Para prevenir colisiones se pueden configurar los dispositivos como iniciadores de transmisión y los demás responderán, para esto se utiliza instrucciones de mensaje en la lógica de escalera [3].

El protocolo DH+ (Data Highway Plus) permite comunicación a velocidades que van de los 57,6 Kbit/s hasta los 230,4 Kbits/s. Fue diseñado para brindar comunicación entre PLCs, SLCs y PCs dentro de una LAN (Red de Área Local) industrial. Soporta programación remota y mensajes para aplicaciones. Utiliza un paso por token punto a punto entre los dispositivos en los nodos con igual prioridad de acceso al medio [3]. Sólo ciertos dispositivos soportan este protocolo, en los que lo soportan se suelen poner resistencias para acoplar velocidades de transmisión, ya que todas deben estar configuradas en la misma tasa de transmisión para que sea correcta la

comunicación. La figura 3.3 muestra un ejemplo de una red basada en el protocolo DH+.

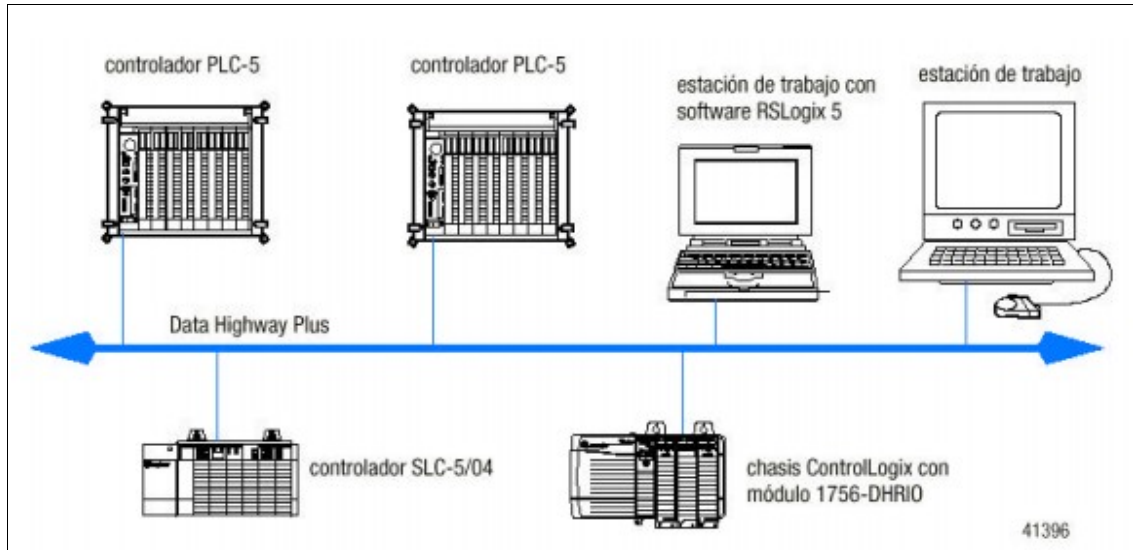


Figura 3.3 Red Data Highway Plus [11].

El protocolo Remote I/O (Input/Output) permite contar con una red robusta y versátil de entradas y salidas remotas compatible con una gran amplitud de productos. Además de las E/S 1771, la red es compatible con muchos dispositivos de Allen-Bradley y otros fabricantes. Se puede conectar los dispositivos mediante los módulos adaptadores de E/S remotas o adaptadores incorporados de E/S remotas.

El uso de la red de E/S remotas universales en vez de cableado directo de larga distancia a un bastidor de E/S local permite reducir los gastos de instalación, puesta en marcha y mantenimiento puesto que esta red coloca las E/S más cerca de los detectores y accionadores. La figura 3.4 muestra un ejemplo de una implementación de una red Remote I/O.

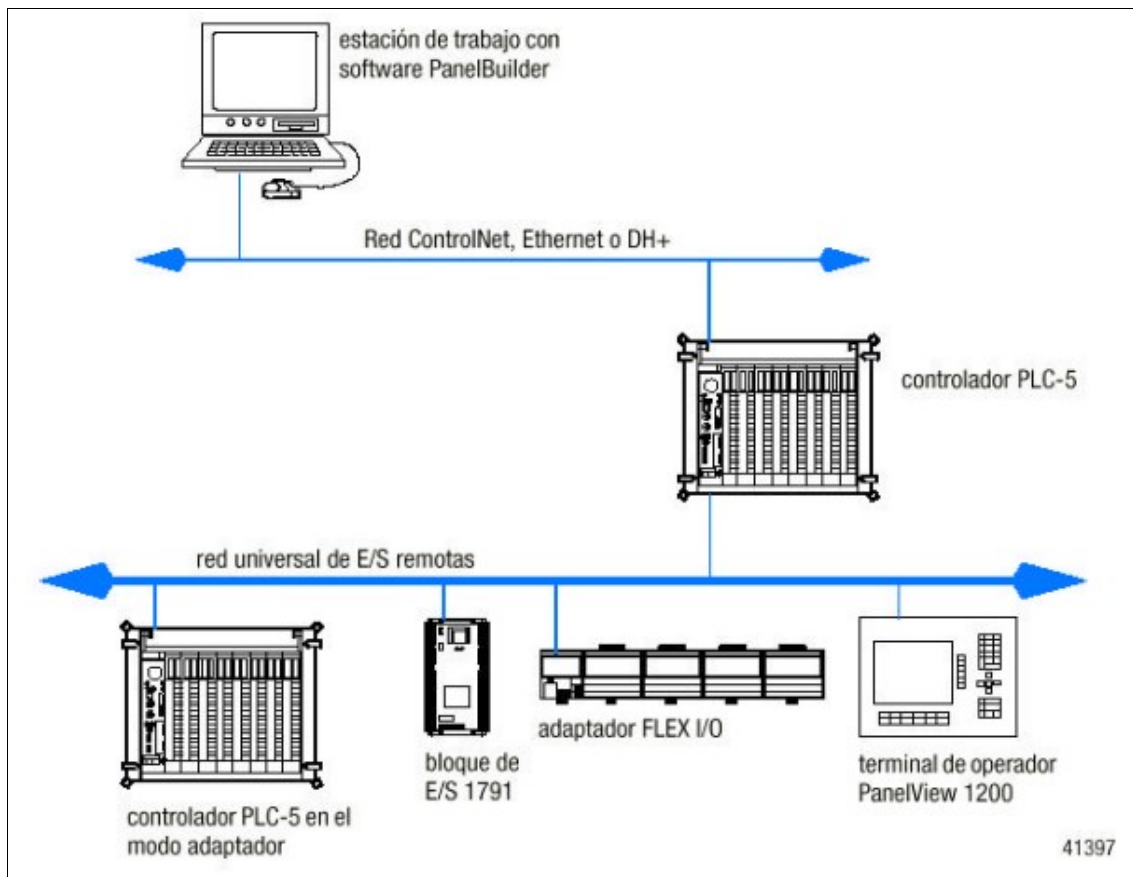


Figura 3.4 Red Remote I/O [11].

En cuanto al estándar de comunicación PROFIBUS, especifica las características técnicas y funcionales de un sistema basado en un bus de campo serie en el que controladores digitales descentralizados pueden ser conectados entre sí desde el nivel de campo al nivel de control. Se distinguen dos tipos de dispositivos, los maestros que determinan la comunicación de datos sobre el bus, denominados también estaciones activas en el protocolo Profibus. Como segundo tipo están los dispositivos esclavos, que son dispositivos periféricos. Los esclavos son normalmente dispositivos de E/S, válvulas, actuadores y transmisores de señal. No tienen el control de acceso al bus y sólo pueden recibir mensajes o enviar mensajes al maestro cuando son autorizados para ello. [6]

Deriva de las palabras PROcess Field BUS. Desarrollado entre los años 1987-1990 por BMBF (German department of education and research), y por otras como ABB, AEG, Honeywell, Siemens, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus y Schleicher. [6] Este estándar tiene tres versiones o variantes:

- **DP-V0:** Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones.
- **DP-V1:** Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.
- **DP-V2:** Permite comunicaciones entre esclavos, está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas.

Entre sus características más importantes se pueden mencionar:

- Velocidades de transmisión: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 1200 Kbps.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).
- Distancias máximas alcanzables (cable de 0.22 mm de diámetro):
 - 93.75 KBaudios: 1200 metros.
 - 187.5 KBaudios: 600 metros.
 - 500 KBaudios: 200 metros.
- Estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos).
- Conexiones de tipo bidireccionales, multicast o broadcast.

3.1.3 Controlador programable

El controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés) es un sistema computarizado que puede ser programado para controlar automáticamente la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos. [5]

El PLC brinda una posibilidad de solución a problemas de automatización y control en las industrias. Posee las cualidades de flexibilidad, gran capacidad de procesamiento, se puede adaptar a cualquier tipo de requerimiento, ayudando a mejorar los niveles de producción de una planta.

La operación básica del controlador programable es:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para la obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

El controlador lógico programable consta de cinco elementos principales, a mencionar la fuente de alimentación, CPU, memoria, módulos de entradas y salidas y módulos de comunicación. Otros componentes que permiten su operación son la unidad de programación, los dispositivos periféricos y algunos módulos especiales, dependiendo de la aplicación.

El PLC puede trabajar de tres formas diferentes:

- **Program:** El PLC se encuentra en reposo, no escanea entradas y no ejecuta el programa. Se puede editar en línea y transmitir el programa al controlador o a la unidad de programación.
- **Run:** El PLC escanea las entradas, ejecuta el programa que tiene en memoria y envía las salidas respectivas. No se puede hacer cambios en línea al programa.

- **Remote:** Cuando el PLC está en este estado es posible establecer su estado desde la PC de programación, ya sea en *Remote Run* o *Remote Program*. Ejecuta el programa, pero se pueden hacer cambios en línea.

El sistema de control del Centro de Producción Angostura está basado en el PLC-5 de Allen-Bradley y en los módulos de entrada y salida 1771, para los cuales se cuenta con módulos E/S analógicas y digitales, tanto locales como remotas. Éstas últimas comunicadas mediante el protocolo Remote I/O descrito anteriormente.

3.1.4 Lenguaje de programación

La programación del PLC se centra en expresar las operaciones y secuencias de control del sistema en un lenguaje de programación adecuado para el PLC. De acuerdo a la norma IEC 61131-3 se definen cuatro lenguajes de programación normalizados para los controladores programables, divididos en dos tipos, literal y gráfico : [10]

Literales:

- Lista de instrucciones (IL)
- Texto estructurado (ST)

Gráficos:

- Diagrama de escalera (LD)
- Diagrama de bloques funcionales (FBD)

En la siguiente figura se muestra una descripción breve de cada lenguaje mencionado anteriormente.

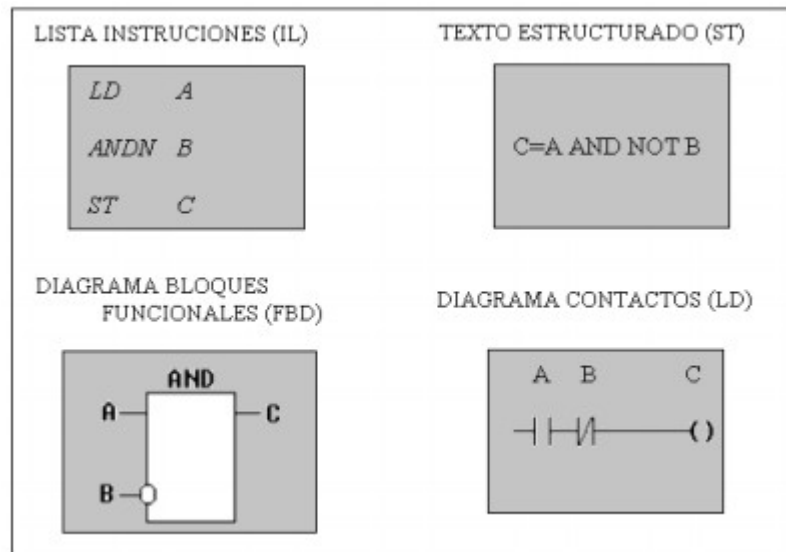


Figura 3.5 Lenguajes de programación IEC 61131-3 [10].

Los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, sin embargo las diferencias en el direccionamiento de las E/S, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC no se puedan usar entre diversos fabricantes.

Las unidades de programación son el software y hardware encargados de la programación, compilación, grabación y supervisión del programa de los controladores programables. Estas unidades pueden ser consolas de programación o una PC equipada con el software correspondiente. Este último caso es el más frecuente.

3.1.5 Módulo adaptador

Como se mencionó en el apartado anterior, existe en el sistema de control comunicación entre el PLC-5 y módulos remotos de entradas y salidas digitales, es decir, módulos colocados en un bastidor distinto al del PLC.

La comunicación es posible mediante un módulo especializado para comunicar módulos remotos, denominado Remote I/O Adapter Module 1771-ASB. Mediante este módulo es posible enviar y recibir la información presente en los módulos de entrada y salida hacia y desde el controlador. Así, la Planta cuenta con dos bastidores remotos, uno para entradas digitales y otro para salidas digitales. En la siguiente figura se muestra la distribución de módulos existente en el Centro de Producción Angostura, el cual consta de tres bastidores, el primero consta de el PLC-5/40 y los módulos locales de entradas analógicas, el segundo posee los módulos remotos de entradas digitales y el tercer bastidor cuenta con los módulos de salidas digitales. Estos dos últimos con su respectivo adaptador remoto 1771-ASB.

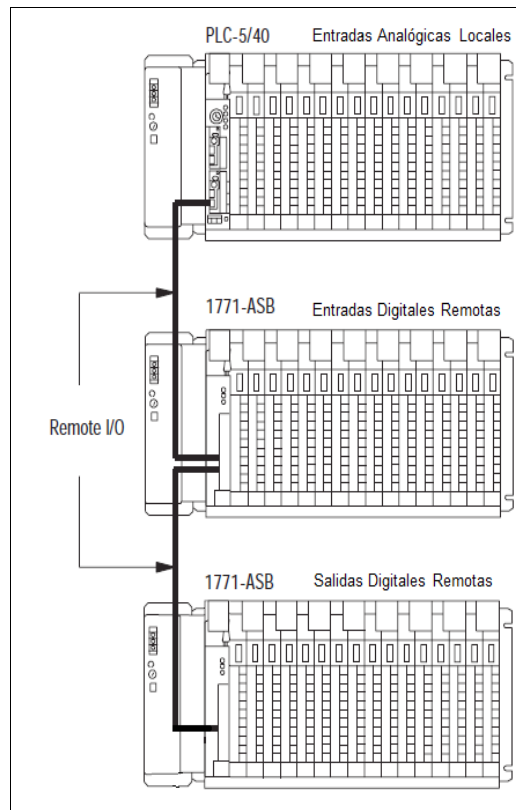


Figura 3.6 Distribución de módulos locales y remotos. [21]

3.1.6 Módulos de entrada y salida

En cualquier sistema de control el objetivo consiste en hacer que determinado proceso se lleve a cabo dentro de parámetros previamente establecidos, para lograr esto el control recibe información del proceso, la analiza y devuelve la información necesaria para mantener el proceso bajo control. De este modo es como se hace importante contar con dispositivos capaces de recibir y enviar las señales hacia y desde el proceso a controlar.

El PMA (ver descripción en apartado 3.1.1) cuenta con módulos designados para entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Estos módulos están dispuestos en tres bastidores de 12 espacios cada uno (slots), los módulos que se encuentran en el mismo bastidor que el CPU son llamados locales y aquellos que se encuentren dispuestos en bastidores diferentes al del CPU son llamados módulos remotos; para estos se hace uso de un módulo adaptador remoto como se explicó anteriormente.

El sistema de control de la Planta cuenta con módulos de entrada y salida 1771 de Allen-Bradley, los cuales corresponden al controlador PLC-5. La distribución de módulos de entrada y salida se puede observar en la figura 3.6, en la cual se aprecian los tres bastidores, el primero con el controlador y los dos restantes con los módulos adaptadores correspondientes.

3.2 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

3.2.1 Sensores de temperatura

Dentro de las variables físicas que se supervisan en el control de las unidades de generación se encuentra la temperatura. Para monitorearla se utilizan transductores

de temperatura, de los cuales dos tipos son utilizados actualmente en la Planta, estos son los RTD y las Termocuplas. El primero varía su resistencia conforme varía la temperatura, y el segundo genera un potencial según la temperatura.

3.2.1.1 RTD (Detector Resistivo de Temperatura)

Existen algunos materiales que poseen la propiedad física de que su resistencia al paso de la corriente eléctrica incrementa proporcionalmente con el aumento de la temperatura. Algunos de estos materiales son el cobre, níquel, platino, entre otros. En la tabla 3.1 se muestran distintos materiales que se utilizan para la construcción de RTDs con sus rangos de temperatura.

Tabla 3.1 Materiales comunes utilizados en la construcción de RTDs. [15]

Material	Rango de temperatura	Notas
Platino (Pt)	-260~1000 °C (-440~1800 °F)	En la mayoría de aplicaciones la temperatura máxima es 500 °C
Cobre (Cu)	-200~260 °C (-330~500 °F)	
Níquel (Ni)	-200~430 °C (-330~800 °F)	Linealidad no es muy buena
Balco (70% Ni – 30% Fe)	-100~230 °C (-150~450 °F)	Linealidad no es muy buena, su fabricación no es costosa y tiene alta resistencia
Tungsteno (W)	-100~1200 °C (-150~2200 °F)	

Los materiales utilizados actualmente para la construcción de RTDs tienen una relación temperatura-resistencia casi lineal dentro de un cierto rango de temperatura $T_1 < T < T_2$, lo que matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$T = T_{Ref} + \frac{(R/R_{Ref}) - 1}{\alpha} \quad (3.1)$$

Donde α es el coeficiente de temperatura en el rango de temperatura dado, es decir, α es la pendiente de la curva Resistencia-Temperatura. Este coeficiente constituye una propiedad física y eléctrica según el material y el método de construcción del transductor. En la figura 3.6 se observa la relación temperatura-resistencia de diferentes materiales; se muestra la resistencia relativa (resistencia normalizada con respecto a 0 °C) en función de la temperatura.

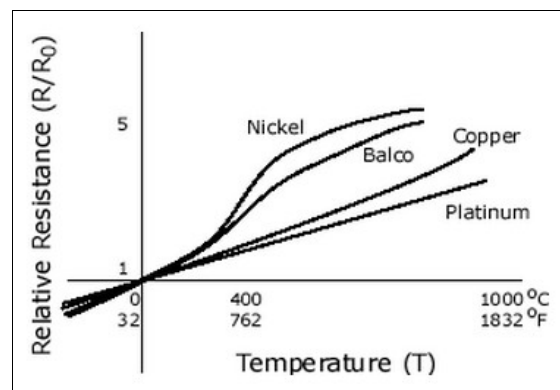


Figura 3.7 Gráfico Temperatura-resistencia para algunos materiales de construcción de RTD. [16]

Las ventajas de los RTD son:

- Estable y preciso
- Presenta mejor linealidad que las termocuplas.
- Mayor SNR (razón señal-ruido)

Por otro lado las desventajas son:

- Mayor costo económico
- Autocalentamiento
- Requiere una fuente de corriente

- Tiempo de respuesta podría no ser lo suficientemente rápido para algunas aplicaciones

Dentro de las consideraciones que se deben tener presente al momento de elegir un RTD se encuentran el tipo de material, el coeficiente de temperatura, la resistencia nominal, el rango de temperatura y la configuración de cableado. El tipo de material del RTD influye directamente en las características de respuesta del sensor, mientras que el coeficiente de temperatura delimita el rango de temperatura de operación y la linealidad del mismo. Por último la configuración de cableado ayuda a que dependiendo de la aplicación la lectura sea más precisa.

3.2.1.2 Termocuplas

Una termocupla (también llamado termopar) es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que producen una tensión (efecto Seebeck¹) que es función de la diferencia de temperatura entre unos de los extremos denominado “punto caliente” o de medida y el otro denominado “punto frío” o de referencia.

Este tipo de transductor tiene dos conexiones: una donde se mide la temperatura y la otra es una unión de referencia. En la figura 3.7 se muestra tal configuración. Por lo tanto, cuando hay un cambio de temperatura se genera un potencial entre los diferentes alambres del orden de los milivoltios.

¹ El Efecto Seebeck es una propiedad termoeléctrica descubierta en 1821 por el físico Thomas Johann Seebeck. Ver definición en el glosario, pág 77.

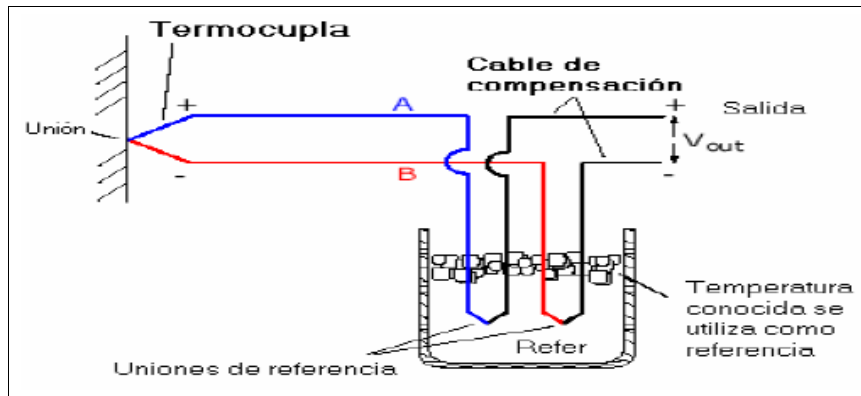


Figura 3.8 Esquema de conexión típica de una termocupla. [16]

Cada cable que se utiliza para la construcción de una termocupla tiene un coeficiente llamado: coeficiente de Seebeck; el cual describe el cambio de potencial con respecto al cambio en la temperatura en un material definido y es función no lineal de la temperatura.

En la tabla 3.2 se listan los coeficientes de Seebeck para algunos materiales comunes, a una temperatura de referencia de 0 °C (32 °F).

Tabla 3.2 Coeficientes de Seebeck para diferentes materiales. [16]

Material	Coeficiente Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Material	Coeficiente Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Material	Coeficiente Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
Aluminio	3.5	Oro	6.5	Rodio	6.0
Antimonio	47	Hierro	19.0	Selenio	900
Bismuto	-72.0	Plomo	4.0	Silicón	440
Cadmio	7.5	Mercurio	0.6	Plata	6.5
Carbón	3.0	Nicromo	25.0	Sodio	-2.0
Constantanio	-35.0	Níquel	-15.0	Tantalio	4.5
Cobre	6.5	Platino	0	Telurio	500
Germanio	300	Potasio	-9.0	Tungsteno	7.5

En la industria existen varios tipos de termocuplas para diferentes aplicaciones. Se dividen en termocuplas E, J, K y T las cuales se construyen con materiales metálicos y pueden utilizarse para temperaturas de hasta 1000 °C. Las termocuplas S, R y B son construidas con materiales no metálicos y pueden soportar temperaturas de hasta 2000 °C.

La tabla anterior también revela algunos posibles pares de cable a ser usados en la construcción de una termocupla. Por ejemplo, el Hierro o el Cobre se puede poner en el polo positivo, mientras que el Constantanio se puede utilizar para el terminal negativo de un circuito de termopar (tipo J y T).

Dentro de las ventajas de las termocuplas se encuentran:

- Bajo costo económico
- No tienen partes móviles, por lo que es difícil que se dañen
- Amplio rango de temperatura
- Tiempo de respuesta razonablemente corto
- Precisión y repetibilidad son razonables

Sus desventajas son:

- Su sensibilidad es baja, usualmente 50 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (28 $\mu\text{V}/^\circ\text{F}$) o menos; por lo que el ruido podría generar problemas. Este problema puede ser minimizado, pero no eliminado, por medio de un mejor filtrado de la señal, aislamientos y de conversión analógica-digital.
- La precisión puede no ser suficientemente alta para algunas aplicaciones donde se requiera alta confiabilidad.
- Respuesta es no lineal.
- Susceptible de error por ruido eléctrico.

3.2.2 Modelo TCP/IP

El modelo TCP/IP es un modelo de descripción de protocolos de red creado en la década de 1970. El modelo TCP/IP a veces es llamado Modelo de Internet, Modelo DoD o Modelo DARPA².

Describe un conjunto de guías generales de diseño e implementación de protocolos de red específicos para permitir que una computadora pueda comunicarse en una red. TCP/IP especifica como los datos deben ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos por el destinatario. [19]

TCP/IP posee cuatro capas de abstracción, las cuales a menudo son comparadas con el modelo OSI³. Las capas están jerarquizadas, cada una se construye sobre su predecesora. En cualquier red, la misión de cada capa es proveer servicios a las capas superiores haciéndoles transparentes el modo en que esos servicios se llevan a cabo. En la siguiente figura se muestran las capas del modelo TCP/IP.

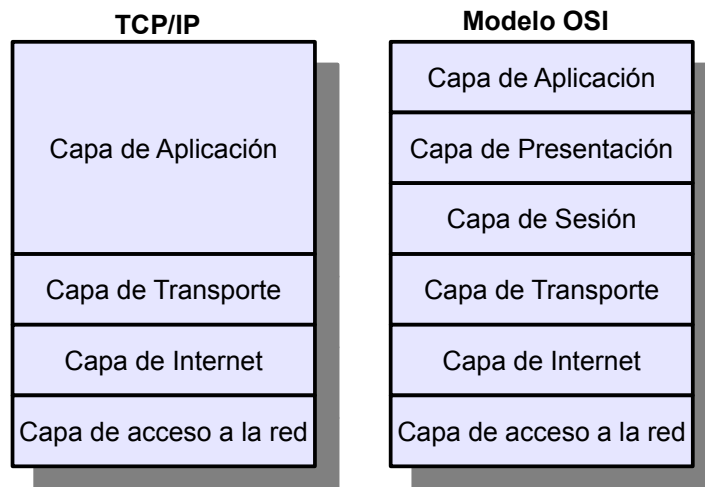


Figura 3.9 Comparación entre capas del modelo TCP/IP y el modelo OSI.

² Ver Glosario

³ Modelo de siete capas, ver Glosario

El modelo de arquitectura es más simple que el modelo OSI, debido a la agrupación de diversas capas en una sola, o bien por no usar alguna de las capas propuestas en dicho modelo. Por ejemplo, la capa de presentación desaparece pues las funciones en ellas se incluyen en las propias aplicaciones. Lo mismo pasa con la capa de sesión, cuyas funciones son incorporadas a la capa de transporte en los protocolos TCP/IP. Además, la capa de enlace de datos no suele usarse en dicho paquete de protocolos.

3.2.3 Ethernet

Este concepto representa un estándar de redes de computadoras de área local (LAN) con acceso al medio a través de CSMA/CD (Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones); lo cual mejora las prestaciones de la red Ethernet. Este estándar establece las pautas de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

El estándar Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3⁴, usualmente estos dos conceptos se toman como sinónimos, sin embargo ambas se diferencian en uno de los campos de la trama de datos. Las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red.

Los elementos comunes de una red Ethernet son: tarjeta de red, repetidores, concentradores (hub), puentes, los conmutadores (switch), los nodos de red y el medio de interconexión. Los nodos de red pueden clasificarse en dos grandes grupos: equipo terminal de datos (DTE) y equipo de comunicación de datos (DCE).

Los DTE son dispositivos de red que generan el destino de los datos: los PC, routers, las estaciones de trabajo, entre otros. Los DCE son los dispositivos de red

4 Ver Glosario

intermediarios que reciben y retransmiten las tramas dentro de la red; estos pueden ser: conmutadores, concentradores, repetidores o interfaces de comunicación como un módem o una tarjeta de interfaz. Algunos dispositivos de los mencionados se describen a continuación.

- **Tarjeta de interfaz de red (NIC):** permite acceder a una computadora a una red local. Cada tarjeta tiene una única dirección que la identifica en la red.
- **Repetidor:** Este dispositivo se encarga de aumentar el alcance de una conexión física, recibiendo las señales y retransmitiéndolas. Opera en la capa física del modelo OSI.
- **Concentrador (Hub):** funciona como un repetidor, pero permite la interconexión de múltiples nodos. Este recibe una trama de Ethernet por uno de sus puertos y la repite por todos sus puertos restantes sin ejecutar ningún proceso sobre las mismas. Opera en la capa física del modelo OSI.
- **Puente (Bridge):** interconecta segmentos de red haciendo el cambio de tramas entre las redes de acuerdo con una tabla de direcciones que le dice en qué segmento está ubicada una dirección MAC dada.
- **Conmutador (Switch):** su funcionamiento es similar al del Puente, pero permite la interconexión de múltiples segmentos de red, su velocidad de operación es mayor y es más sofisticado. Funciona básicamente en la capa de enlace de datos del modelo OSI.

3.2.4 Red ControlNet

ControlNet es una red de comunicación industrial y digital de tipo determinista para comunicación de entradas/salidas y mensajería de datos. Fue desarrollada e introducida por la empresa Rockwell Automation en el año 1997 como una red de comunicación abierta. Está basado en el protocolo común industrial (CIP por sus

iniciales en inglés), que permite la interconectividad con otras redes, como DeviceNet y Ethernet/IP. [15]

Se logra el determinismo utilizando un acceso al medio (capa de Enlace OSI) llamado CTDMA (Concurrent Time Domain Multiple Access). Esta red se ordena según un intervalo de tiempo llamado NUT (Network Update Time), el NUT es fijo y conocido que se define en función de los requerimientos del proceso. Con la red ControlNet las aplicaciones pueden manejar con facilidad procesos grandes distribuidos, grandes cantidades de datos analógicos remotos y datos discretos y analógicos de alta velocidad. [15]

Entre sus características más importantes se encuentran:

- Determinista y cíclica.
- Transmisión de información de aplicaciones con tiempos críticos.
- Velocidad de transmisión de 5 Mbit/s.
- Diseño simplificado (no requiere fórmulas complejas para calcular las longitudes de los cables, hace uso de una tabla de número de nodos vs longitud de cable).
- Varias opciones de topología usando repetidores.
- Programación simplificada de transferencia en bloques.

3.2.5 Software de programación RSLogix5000

El software de programación para PLC utilizado fue RSLogix500 Professional de Rockwell Automation.

Este paquete fue desarrollado para las plataformas Logix5000 de Allen-Bradley: ControlLogix, FlexLogix, CompactLogix y SoftLogix5800, así como PowerFlex 700S con DriveLogix. Con este paquete de software se logra la programación de control

secuencial, de seguridad, de procesos, de variadores y de control de movimiento. Además está disponible en varios idiomas como chino, inglés, francés, alemán, italiano, japonés, coreano, portugués y español.

Esta herramienta permite fragmentar la aplicación en programas más pequeños que pueden volver a utilizarse, rutinas e instrucciones que pueden crearse al utilizar distintos lenguajes de programación: diagrama de lógica de escalera, diagrama de bloque de funciones, texto estructurado y diagrama de funciones secuenciales. También proporciona la capacidad de crear tipos de datos definidos por el usuario para representar fácilmente componentes específicos de la aplicación en una estructura.

Además de las instrucciones estándar para la programación de PLCs, el software incluye un conjunto de instrucciones especiales:

- Instrucciones específicas de la industria para aplicaciones de procesos, de lotes, de variadores, de seguridad SIL3⁵ y de movimiento.
- Instrucciones ASCII para manipular datos en cadena.
- Instrucciones de mensajes para enviar y recibir datos entre diferentes dispositivos.
- Funciones matemáticas y trigonométricas básicas.
- Sistema de alarmas integrado.

3.2.6 Software de programación FactoryTalk View Studio

El paquete de software utilizado para crear la interfaz de usuario fue FactoryTalk View Studio de Rockwell Automation. El paquete incluye el software FactoryTalk View Machine Edition, el cual es un paquete integrado para desarrollo y ejecución de aplicaciones de automatización, específicamente aplicaciones de interfaz hombre-máquina (HMI). Está diseñado para monitorear y controlar procesos y máquinas

⁵ *Security Integrity Level*, ver Glosario.

automatizadas, haciendo uso de los terminales de operador PanelView Plus y PanelView Plus CE, los cuales basan su sistema operativo en Windows CE 4.1 de Microsoft.

Mediante esta herramienta es posible programar pantallas gráficas para uso industrial de control y monitoreo. Permite llevar control sobre cualquier proceso de interés y dar controles de operación a los encargados de planta.

La siguiente figura muestra una pantalla creada con esta herramienta, la cual brinda la posibilidad de arrancar o detener la unidad. Se visualiza el modo de operación del PMA, ya sea Manual, Local Automático o Remoto Automático; también se observa el modo de operación de la unidad, siendo las opciones Parada, Operación en red, Condensador síncrono, Sin carga excitado o Sin carga no excitado. También se muestra el estado de la secuencia, si las condiciones de arranque se cumplen para arrancar la unidad cuando está detenida, y se observan variables de interés como potencia generada y velocidad. Por último se introdujo una ventana para visualizar alarmas presentes.

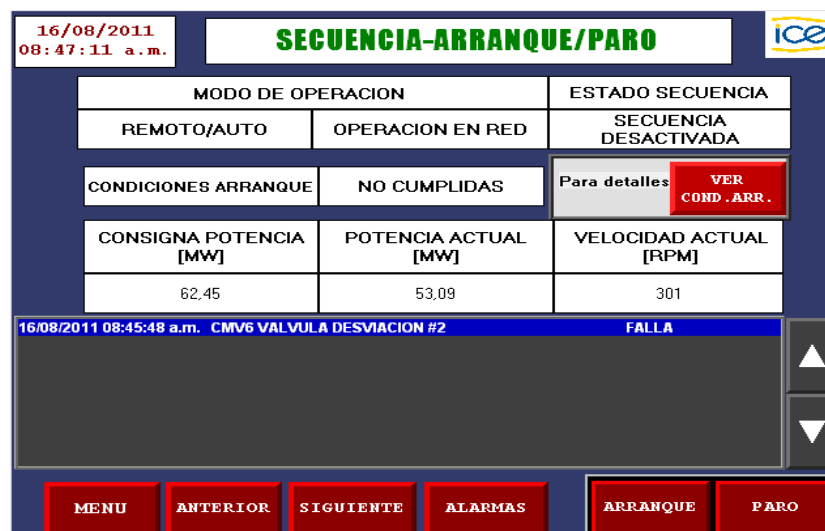


Figura 3.10 Pantalla gráfica desarrollada utilizando FactoryTalk View Studio.

La aplicación se desarrolló para ser ejecutada por un terminal PanelView Plus de pantalla táctil, por lo que el operador únicamente debe tocar el botón mostrado en la pantalla para activar la función que se indique en él.

Capítulo 4 Procedimiento metodológico

En este capítulo se describe el procedimiento utilizado para desarrollar la solución final, las etapas que la constituyen y los pasos seguidos durante el desarrollo.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Mediante una primer visita guiada al Centro de Producción Angostura se pudo reconocer el problema que enfrenta tal centro, especialmente mediante las entrevistas con el personal, se pudo constatar la incompatibilidad entre el PMA (Panel de Mando y Alarmas) y el sistema SCADA que impide llevar a cabo las funciones de control de las unidades, como el arranque y paro, entre otras.

Principalmente con la ayuda del Ing. Fabián Madriz, encargado eléctrico, fue posible determinar la necesidad de implementar un sistema moderno que sustituyera el actual sistema de control con el cual contaba la Planta para sus unidades de generación, ya que representaba un impedimento en la necesidad del Centro de Producción por tener por completo funcionando su sistema SCADA, desarrollado tiempo atrás y el cual representa una inversión sin utilidad hasta la actualidad.

4.2 Obtención y análisis de información

La información acerca del sistema de control actual que se logró obtener se derivó de las entrevistas a los técnicos del departamento eléctrico y al ingeniero a cargo de tal departamento que en alguna medida colaboraron con información verbal. Con la descripción del sistema dada y con la búsqueda de información a través de Internet se logró detallar la composición del sistema en cuanto a las características del

hardware que éste emplea y a los requerimientos que se debían contemplar para una posible solución.

Además comprender el funcionamiento del PMA fue posible gracias a los planos eléctricos pertenecientes a tal sistema, junto con la ayuda del señor Wilberth Camacho, técnico eléctrico, para la interpretación de los mismos. Con la ayuda de estos documentos fue posible determinar la cantidad y tipo de señales que componen el sistema, además de su direccionamiento correspondiente a la programación.

Un punto importante en la búsqueda de información relevante en cuanto al desarrollo del proyecto fueron las entrevistas con los operadores en sala de control, ya que así se determinó la necesidad de darle confiabilidad al sistema SCADA con el que se cuenta en sala de control y que actualmente no funciona.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución

Una vez que se obtuvo la mayor cantidad de información necesaria acerca del sistema de control de las unidades de generación, el procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Comprender el funcionamiento del pupitre de mando (ver descripción en apartado 3.1.1).
- Comprender el funcionamiento del PMA (ver descripción en apartado 3.1.1).
- Estudiar la secuencia de control programada en el PLC original.
- Determinar las características que debe cumplir el PLC nuevo.
- Determinar la forma en que el operador se relaciona con el sistema de control.

Una vez que se logró obtener toda la información del sistema original y su modo de operación, fue posible determinar el hardware adecuado para cumplir con los requerimientos del sistema, sin comprometer el adecuado funcionamiento de las unidades de generación y brindando al operador la posibilidad de una interfaz con el sistema eficiente y práctica.

4.4 Implementación de la solución

Es posible fragmentar la implementación de la solución en etapas consecutivas que dieron lugar a la obtención de la solución por completo, permitiendo desarrollarla de manera ordenada y de acuerdo a plazos establecidos para cada una. Cada etapa se describe a continuación:

Estudio de los paquetes de software utilizados: La primera etapa de la implementación de la solución consistió en conocer y aprender a utilizar las herramientas de software por utilizar durante el desarrollo del proyecto.

Para la programación del controlador, el cual pertenece a la familia ControlLogix de Allen-Bradley, se utilizaron tres herramientas:

- RSLogix 5000: permite la programación del PLC.
- RSLinx: servidor de comunicación entre paquetes de software desarrollados por Rockwell Automation, permite la comunicación entre el computador de desarrollo y el controlador programable.
- BOOTP Server: permite asignar una dirección IP al controlador a través de su módulo Ethernet.

Gracias a los manuales de usuario disponibles en la página web de Rockwell Automation, se lograron dominar estas herramientas.

Estudio del equipo utilizado: Una vez obtenido el dominio sobre las herramientas de software, se procedió a investigar el equipo a utilizar. Principalmente se recurrió a los manuales de usuario para conocer el funcionamiento, programación y manejo del controlador programable y de la terminal de operador PanelView Plus.

Estudio de la rutina de software programada: Fue necesario realizar la reprogramación de la secuencia que gobierna la operación de las unidades de generación de el PLC-5 que existía al nuevo PLC ControlLogix, lo cual debido a la relevancia de tal secuencia para el Centro de Producción Angostura se relegó tal función a la empresa dedicada a brindar soluciones de ingeniería en automatización industrial llamada Elvatrón S.A⁶. Con la secuencia disponible para el PLC ControlLogix, procedió la revisión de la misma comparándola con la secuencia programada en el PLC-5; esto con dos propósitos, el primero verificar que no existiesen errores en cada una de las rutinas y el segundo estudiar la secuencia a modo de conocerla para su posterior mejoramiento de acuerdo a las sugerencias externadas por parte del departamento eléctrico, tanto del ingeniero como de los técnicos.

Determinación de la configuración de comunicación: Con las rutinas programadas y revisadas en el PLC ControlLogix, procedió la configuración de los módulos de comunicación y también de los módulos de entrada y salida.

En el bastidor ControlLogix se agregaron, además del PLC, tres módulos más. Uno fue el módulo encargado de la interface de comunicación Ethernet, el cual da la posibilidad de asignar una dirección IP al PLC para así mantener el sistema en red. Por otro lado, también se contó con un módulo encargado de funcionar como puente ControlNet, por medio del cual se comunicaron los módulos remotos de entradas

⁶ Más información en: <http://www.elvatron.com/divisionelectrica.aspx>

analógicas colocando también un módulo adaptador ControlNet en el bastidor remoto. Por último, se colocó un módulo encargado de realizar una función similar al módulo anterior, pero permitiendo la comunicación de todos los módulos de entradas y salidas digitales con el nuevo PLC por medio del Remote I/O Adapter 1771-ASB (ver descripción en apartado 3.1.5).

Con los módulos descritos anteriormente debidamente configurados, se procedió a asignar los módulos de entrada y salida correspondientes, ya sea si fuesen a ser comunicados por medio de ControlNet o Remote I/O.

Desarrollo de la interfaz HMI: Otra de las tareas importantes fue la programación de la interfaz de usuario desarrollada para el terminal de operador PanelView Plus 1000 a través de la herramienta de software FactoryTalk View Studio (ver descripción en apartado 3.2.5). Con las rutinas programadas en el PLC ControlLogix y con el direccionamiento debidamente establecido, se inició el desarrollo de la interfaz para la terminal de operador, sabiendo así el tag específico que se debía escribir o leer para cada botón o cuadro de diálogo creado.

Colocación y conexión del equipo: Con el controlador programable y la terminal de operador listos, se procedió a ubicar el equipo en el gabinete adecuado dentro de casa máquinas y a realizar el cableado y las conexiones respectivas.

Ejecución de pruebas: Con el equipo debidamente dispuesto, se realizaron pruebas de comunicación tanto de los módulos de comunicación como de los módulos de entrada y salida. Se verificó que cada señal digital y analógica correspondiera con la señal proveniente desde el correspondiente transductor. Seguidamente se realizó la prueba de la secuencia programada mediante el arranque, paso a condensador síncrono y paro de la unidad de forma manual por medio de la interfaz previamente desarrollada en la terminal de operador.

Consideración de mejoras sugeridas: Se implementó una mejora a la secuencia programada la cual consistió en discriminar falsas alarmas dadas por altas temperaturas medidas por los RTDs (ver descripción en apartado 3.2.1) en las bobinas de fase del generador así como en los cojinetes. Lo anterior se logró gracias a que en algunos casos hasta tres transductores se encuentran midiendo el mismo punto, lo cual permite comparar la medición entre ellos para asegurar que ciertamente una temperatura se encuentra por arriba del máximo de operación. De esta forma se evita que la unidad se detenga, lo cual se traduce en una ganancia económica dado que la unidad se mantiene generando energía eléctrica.

Puesta en marcha: El paso final consistió en la puesta en marcha del sistema después de haber realizado todas las pruebas respectivas. En esta etapa el sistema quedó dispuesto para su operación regular en el Centro de Producción Angostura.

4.5 Reevaluación y rediseño

El sistema cuenta con la posibilidad de agregar otras funciones, como el monitoreo de otras variables importantes que requieran supervisión. En el bastidor del PLC ControlLogix se dejó espacio para agregar módulos de señales analógicas o digitales que puedan llegar a ser necesarios para mejorar el sistema, teniendo como ventaja el hecho de que estos módulos son propios del sistema ControlLogix, es decir no requerirían ningún tipo de módulo adaptador para su implementación.

Capítulo 5 Descripción detallada de la solución

En este capítulo se presenta una explicación detallada de la solución implementada tanto a nivel de hardware como a nivel de software. Se describen cada uno de los módulos que conforman el sistema desarrollado y su relación entre sí. Además se abordan las posibles soluciones consideradas en un inicio y las razones que dieron lugar a la escogencia de la solución implementada finalmente.

5.1 Análisis de soluciones y selección final

De acuerdo a los requerimientos planteados por la correspondiente empresa se analizó el equipo de control e interfaz que sería necesario a fin de desarrollar una solución que satisfaga a la empresa y que también resuelva el problema planteado anteriormente en el presente informe.

Dado que el sistema PLC-5 está obsoleto, se investigaron los controladores programables disponibles en el mercado a fin de obtener diferentes alternativas de solución tomando en cuenta el estado del sistema actual, especialmente en cuanto a cantidad de entradas y salidas y protocolos de comunicación. En la tabla A.2.1 de los apéndices se muestran algunos de los controladores más comunes y sus principales características. En ella se observa la similitud entre ellos, las mayores diferencias radican en la cantidad de entradas y salidas, de memoria o en el software de programación.

Como punto inicial para determinar el PLC adecuado a utilizar se tomó la decisión de mantener la misma marca original, correspondiente a Allen Bradley; debido a las grandes ventajas que esto conlleva. Por lo tanto se planteó un sistema basado en la familia de controladores Logix5000, los cuales corresponden a la última generación de controladores desarrollados por AB. Seguidamente se analizaron las opciones

dentro de tal familia, cuya tabla de comparación de los distintos modelos Logix5000 y sus características más importantes se puede observar en el apéndice A.2.

En primera instancia se consideró implementar un sistema con equipo completamente nuevo, incluyendo los módulos de E/S; sin embargo dado la gran cantidad de señales que conforman el sistema surgió la necesidad por buscar una alternativa que permitiera conservar la distribución de bastidores de E/S. Analizando el sistema de control original, el cual cuenta con tres bastidores de entradas y salidas (ver figura 3.6), tanto analógicas como digitales, se consideró la posibilidad de mantener los mismos bastidores con sus respectivos módulos E/S. De esta forma se aprovecharía el cableado existente entre los módulos y los transductores, botoneras y las distintas señales que conforman la información procesada por el controlador, obteniendo así una ganancia en cuanto a tiempo de implementación.

La decisión de contar con un controlador de la misma marca que el controlador original radica en las ventajas de compatibilidad entre ambos, especialmente en cuanto a las opciones de comunicación. En la figura 3.6 se observa que dos de los bastidores de E/S del sistema de control original se comunican con el PLC-5 a través de un módulo de comunicación remoto cada uno, el cual corresponde al módulo 1771-ASB para E/S remotas universales. De la tabla A.2.2 se observa que el único controlador de la familia Logix5000 que posee la opción de comunicación de E/S remotas es el 1756-ControlLogix, característica que lo convierte en una opción viable a fin de cumplir el propósito de mantener los mismos módulos E/S originales, como se planteó anteriormente. Además, el PLC ControlLogix cuenta con comunicación a la red Ethernet a través de un módulo independiente del mismo CPU, lo cual es otro de los requisitos que deben ser cumplidos al término del proyecto.

En cuanto al resto de características del PLC ControlLogix cabe destacar que son favorables para el proyecto. La memoria de programa del procesador puede ser de

hasta 8MB, lo cual es por mucho superior a la memoria de programa del PLC-5 del sistema original, el cual es de 64KB. También el lenguaje de programación es el mismo que para el PLC-5, correspondiente al lenguaje en escalera, pero también cuenta con otros lenguajes disponibles como el texto estructurado y los diagramas de funciones secuenciales.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se consultó al ingeniero asesor para seleccionar finalmente el CPU del PLC a utilizar, por consiguiente se seleccionó el modelo 1756-L61 ControlLogix⁷ para desarrollar el proyecto. Éste cuenta con las características deseadas y además cuenta con suficiente memoria para el programa de control y para futuras ampliaciones del programa en caso de ser necesario.

Un aspecto pendiente en cuanto a la intención de desarrollar el sistema manteniendo los mismos módulos E/S originales, como se explicó anteriormente, corresponde al método por utilizar para realizar la comunicación de los módulos de entradas analógicas (ver figura 3.6) con el nuevo CPU seleccionado. Para lo anterior se propusieron dos alternativas, la primera consiste en utilizar un nuevo módulo adaptador remoto ASB y así comunicar los tres bastidores por medio del protocolo Remote I/O; la segunda es mediante una red ControlNet entre los módulos analógicos y el PLC ControlLogix, ya que como se observa en la tabla A.2.2 una de las opciones de comunicación del controlador es a través de la red mencionada y, de acuerdo a lo investigado, existe un módulo adaptador para el sistema PLC-5 hacia la red ControlNet.

La alternativa seleccionada fue mediante la red ControlNet, debido a las ventajas que ésta presenta respecto a una red remota; entre las cuales se mencionan:

⁷ Ver apéndice A.2 Tablas de comparación.

- El módulo adaptador ControlNet (1771-ACNR15) para el sistema PLC-5 es más barato que el módulo adaptador remoto (1771-ASB).
- Transferencia de datos a alta velocidad.
- La conexión física es a través de cable coaxial o fibra óptica, lo cual ayuda a contrarrestar el ruido electromagnético.
- La red ControlNet fue diseñada para la transmisión de información en aplicaciones con tiempos críticos.

Una vez que se ha seleccionado el controlador y el equipo de comunicación, se seleccionó la terminal de operador que permite la interfaz con el proceso. Las pautas que se siguieron para su selección fueron que constituyera una terminal de uso industrial, capaz de comunicarse con el controlador 1756-ControlLogix a utilizar y que posea capacidad de conexión a la red Ethernet. Por lo cual se seleccionó una terminal PanelView Plus 1000, de Allen-Bradley. Además, entre sus características más llamativas está su pantalla a color y táctil, puertos de comunicación USB y la posibilidad de expansión de su memoria RAM.

Para comprender como se llevó a cabo la implementación de esta solución se explicarán los principales componentes de hardware y software que la constituyen.

5.2 Descripción del hardware

5.2.1 PLC 1756-ControlLogix

El PLC ControlLogix está constituido por el CPU, el cual es el dispositivo principal, pero además cuenta con módulos de comunicación específicos para cada red a la cual se desea conectar, también forman parte la fuente de alimentación y el chasis que aloja cada los módulos del PLC. Cabe recordar que no se requieren módulos de entrada/salida para el proyecto, ya que como se explicó anteriormente se reutilizarán

los existentes en el sistema original de la Planta. En este caso se cuenta con la necesidad de contar con tres módulos de comunicación, el primero es para la red Ethernet, otro para la red ControlNet y el tercero es el encargado de comunicar el CPU con los módulos remotos a través del protocolo Remote I/O. Seguidamente se detallará cada uno de ellos.

5.2.1.1 Controlador 1756-L61

El controlador ControlLogix divide los recursos de procesamiento entre múltiples CPUs para aumentar el rendimiento. Con el controlador 1756-L61, un CPU Logix mononúcleo y un CPU de backplane⁸ son usados, como se muestra en la figura 5.2.1. El CPU Logix ejecuta el código de aplicación y mensajes, además es responsable de la lógica y memoria de datos. El CPU de backplane es el encargado de la comunicación de entrada/salida y envía y recibe información desde el backplane, además es la responsable de la memoria E/S. Ambos CPUs operan de forma independiente, por lo que la información de entrada/salida es enviada y recibida asincrónicamente durante la ejecución del programa.

En las tablas A.2.1 y A.2.2 que se encuentran en los apéndices se detalla el controlador 1756-L61 con mayor profundidad.

⁸ El backplane corresponde a lo que en español se denomina bastidor (ver glosario).

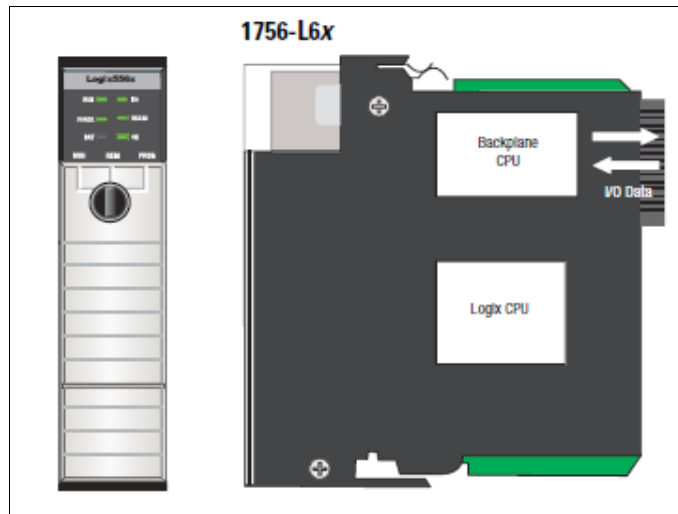


Figura 5.2.1 División de CPUs en el controlador 1756-L61. [5]

5.2.1.2 Módulo de comunicación EtherNet/IP 1756-ENET/B

Este módulo da la posibilidad al PLC para conectarse a cualquier red de área local y aprovechar las ventajas que esto representa en aspectos de velocidad de transferencia de información, seguridad y facilidad de monitoreo del sistema desde un computador remoto. Una vez que se haya colocado en el bastidor ControlLogix y que se le haya asignado su dirección IP única, el módulo estará listo para servir como puente entre el CPU y la red Ethernet. En la figura 5.2.2 se muestra el módulo, el cual cuenta con un puerto Ethernet para la conexión de cables con conector RJ-45.



Figura 5.2.2 Módulo de comunicación EtherNet/IP 1756-ENET/B [22]

5.2.1.3 Módulo de comunicación ControlNet 1756-CNB

El módulo de comunicación para la red ControlNet permite llevar señales de módulos E/S que se encuentren a larga distancia hacia el CPU. La comunicación a través de una red ControlNet permite tener los módulos E/S cerca de los transductores y a la vez el CPU alejado de la maquinaria, evitando que el ruido lo afecte. Esto se logra además con poco cableado, ya que únicamente se necesita una línea de cable coaxial para transportar la información de E/S. La figura 5.2.3 muestra el módulo 1756-CNB utilizado, éste no requiere mayor configuración, únicamente se debe conectar el cable coaxial con su respectivo conector. Sin embargo, a pesar de que el módulo por si mismo no conlleva ninguna configuración, en el software Logix5000 sí es necesario asignar el número de nodo a cada dispositivo dentro de la red.



Figura 5.2.3 Módulo de comunicación ControlNet 1756-CNB. [23]

5.2.1.4 Módulo de comunicación Remote I/O 1756-DHRIO

El módulo de la figura 5.2.4 funciona como puente de comunicación para dos tipos distintas de redes, una corresponde a la red Data Highway Plus (DH+) la cual es una red propietaria de la compañía Allen-Bradley; y la otra corresponde a la red de E/S remotas. El módulo posee dos canales de comunicación, lo que permite mantenerlo funcionando dentro de ambas redes simultáneamente o dentro de dos redes del mismo tipo. Sin embargo para el proyecto desarrollado sólo se necesitó para la red de E/S remotas, haciendo uso únicamente de un canal.



Figura 5.2.4 Módulo de comunicación DH+ y Remoto E/S 1756-DHRIO. [24]

5.2.1.5 Fuente de alimentación

El PLC ControlLogix cuenta con un sistema de alimentación redundante por medio de dos fuentes de alimentación dedicadas exclusivamente para el chasis del PLC. Estas se encargan de alimentar los distintos módulos alojados en el chasis, en este caso el CPU 1756-L61 y los módulos de comunicación antes descritos. Las dos fuentes se mantienen conectadas al PLC y en el momento que una falle, la otra sigue alimentando el sistema; por lo que brinda seguridad en el control de procesos críticos, como lo es en el caso del presente proyecto donde se busca evitar en lo posible paros no deseados en las unidades de generación. En la figura 5.2.5 se observan ambas fuentes en un sistema redundante conectadas al chasis del PLC.

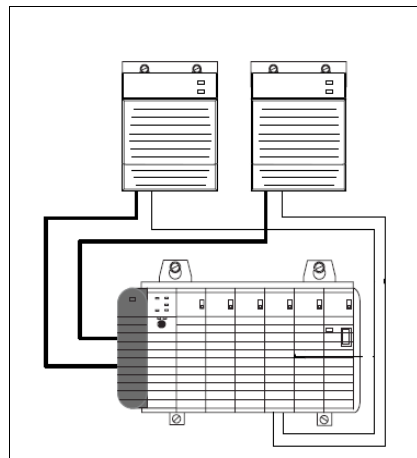


Figura 5.2.5 Fuentes de alimentación redundantes ControlLogix.

5.2.2 Sensores

Los sensores utilizados por el sistema son diversos, se cuenta con sensores para medir la temperatura en gran cantidad de lugares y dispositivos, sensores para medir presión, revoluciones, potencia, frecuencia, vibración, flujo de agua, nivel en la toma de agua. Gran cantidad de los sensores fueron colocados durante la construcción de casa máquinas, sin embargo muchos han sido reemplazados a través de los años debido al deterioro de los mismos.

Los sensores con mayor presencia son los transductores de temperatura, se encuentran ubicados treinta y dos en distintas partes de casa máquinas; cada bobina de fase cuenta con tres que permiten mantener bajo vigilancia la temperatura dentro del estator de la unidad, además los cojinetes de carga y guía también poseen sus transductores, entre otros lugares en los que se encuentran el resto de sensores. Los transductores utilizados son Detectores Resistivos de Temperatura (RTD) y termocuplas, sin embargo los RTD predominan sobre las termocuplas debido a las ventajas del primero, como se explica en el marco teórico. En la figura siguiente se observa un RTD Pt100, el cual es el tipo de transductor que se emplea con mayor frecuencia y trabaja midiendo la resistencia eléctrica a través del metal platino.

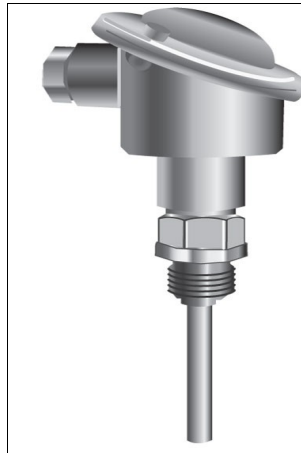


Figura 5.2.6 Detector Resistivo de Temperatura Pt100. [25]

5.2.3 Módulos adaptadores 1771

5.2.3.1 Módulo adaptador remoto 1771- ASB

Este módulo sirve de interfaz entre módulos E/S remotos y el controlador programable. Es capaz de transmitir información a distancias de hasta 10,000 pies a una tasa de transferencia de 57.6 Kbaudios, y distancias de hasta 2,500 pies a 230.4

Kbaudios. Envía y recibe datos de los módulos entrada/salida en forma paralela y es capaz de manejar módulos de 4, 6, 8, 16 o 32 entradas/salidas.

Debido a que la distancia a la que se encuentran los bastidores remotos es de pocos metros hacia el controlador programable, se configuró el módulo 1771-ASB a su máxima tasa de transferencia, es decir 230.4 Kbaudios. Se requiere un cable de dos líneas con blindaje para conectar los módulos adaptadores remotos 1771-ASB y el correspondiente a ControlLogix 1756-DHRIO, el blindaje del cable ayuda a evitar que el ruido electromagnético no afecte la transmisión de datos. En la figura 5.2.7 se muestra el módulo 1771-ASB, en ella se observan los LEDs ubicados en la parte frontal los cuales son indicadores del estado del módulo en cuanto a su operación y los conectores para el cable de comunicación; también se observa en la parte trasera los conectores hacia el bastidor, el cual es el encargado de interconectar todos los módulos correspondientes.



Figura 5.2.7 Módulo adaptador remoto 1771-ASB. [26]

5.2.3.2 Módulo adaptador ControlNet 1771-ACNR15

El módulo 1771-ACNR15 constituye la interfaz de comunicación dentro de la red ControlNet para los módulos de entradas analógicas del sistema original de control con el controlador ControlLogix. Este cuenta con interruptores en su parte trasera con los cuales es posible configurar el número de nodo que el módulo ocupará dentro de la red y en su parte frontal posee un conector BNC para cable coaxial que transporta la información hacia el adaptador 1756-CNB. Este adaptador debe colocarse en el slot más a la izquierda del chasis 1771 correspondiente.



Figura 5.2.8 Módulo adaptador ControlNet 1771-ACNR15. [27]

5.2.4 Terminal de operador PanelView Plus 1000

Como se explicó en la sección anterior, Análisis de soluciones, la interfaz hombre-máquina se desarrolló mediante una terminal de operador PanelView Plus 1000 de la compañía Allen-Bradley. Como se observa en la figura 5.2.8, esta terminal no posee ningún tipo de botón para operar la aplicación, dado que posee una pantalla táctil a color de 10.4 pulgadas. Además cuenta con una resolución de 640 x 480 y gracias a

los puertos USB incorporados existe también la posibilidad de contar con entrada de operador por medio de teclado. Por otro lado cuenta con un diseño modular, por lo que la unidad lógica, la pantalla y los módulos de comunicación son independientes lo que permite sustituir alguno de ellos sin necesidad de adquirir una terminal nueva. También cuenta con un puerto para comunicación a la red Ethernet incorporado, cualidad deseada para el proyecto.



Figura 5.2.8 Pantalla de operador PanelView Plus 1000. [4]

5.3 Descripción del software

A continuación se explicarán las rutinas de software que constituyen las secuencias de control de las unidades de generación y de los sistemas auxiliares programadas en el controlador mediante el software RSLogix 5000. También se describirá la aplicación desarrollada para la terminal de operador PanelView Plus 1000, desarrollada mediante el software FactoryTalk View Studio.

5.3.1 Secuencias programadas en el controlador 1756-L61

Las secuencias fueron programadas mediante el lenguaje en escalera, el cual corresponde a una programación pensada como una lógica de relés en donde se evalúa el estado de una entrada para tomar acción sobre alguna salida. Además las instrucciones y rutinas se ejecutan de forma secuencial, de ahí su nombre.

El programa de control cuenta con distintas rutinas donde cada una tiene una función específica dentro del control de las unidades. Las rutinas de mayor importancia son las encargadas de el arranque y el paro de las unidades, además del paso de generador a condensador síncrono y viceversa. Durante la ejecución de las secuencias mencionadas, el sistema evalúa el estado de todos los equipos y dispositivos periféricos, como sensores, finales de carrera, válvulas, motores, entre otros; a fin de ejecutar la secuencia correspondiente de forma exitosa, ya que si algún dispositivo incurre en fallo la secuencia se interrumpe y se debe corregir el dispositivo para continuarla. También cuenta con rutinas de alarma en caso de mal funcionamiento de algún dispositivo o en caso de temperaturas por arriba de los límites permitidos en los cojinetes, bobinas de estator y en otros puntos de interés. El programa cuenta con varios procedimientos, lo cual lo mantiene ordenado y también facilita el entendimiento del mismo, ya que de otro modo sería difícil de comprender debido a su tamaño extenso. En la figura 5.3.1 se observa cada uno de ellos, de los cuales los más importantes se detallarán posteriormente.

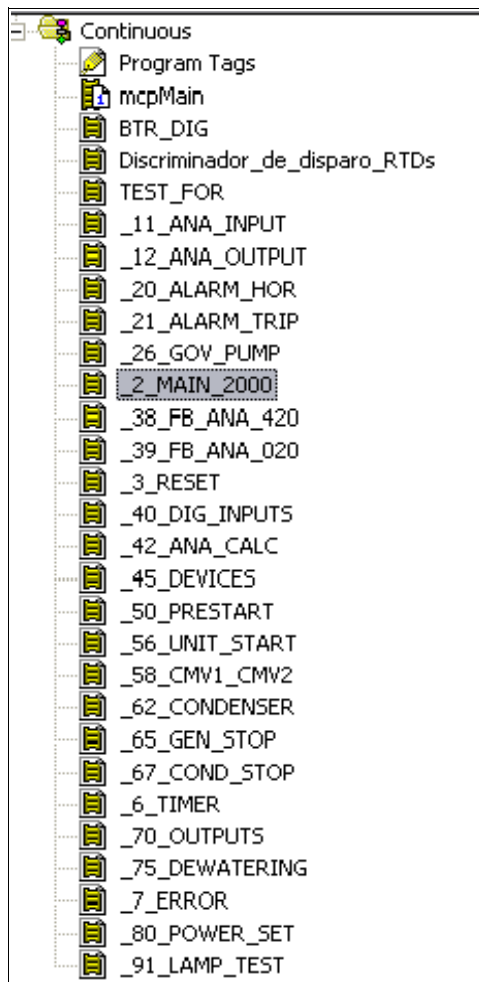


Figura 5.3.1 Distribución de procedimientos del programa.

Como se mencionó anteriormente, las rutinas más importantes son las que corresponden a las secuencias llevadas a cabo durante el arranque o paro de las unidades y también las encargadas del paso de la unidad de generador a condensador síncrono o viceversa. Además se desarrolló una mejora en el programa, la cual se encuentra programada en la rutina llamada *Discriminador_de_disparo_RTDs*, la cual se explicará seguidamente junto con otras rutinas importantes.

PRESTART

Este procedimiento verifica que la unidad se encuentra lista para su arranque una vez que se encuentra detenida. Especialmente revisa que no haya ningún tipo de alarma activa y que los dispositivos periféricos funcionan correctamente y que están en la posición adecuada, ya sea abierto o cerrado, encendido o apagado, de acuerdo al tipo de dispositivo. La figura 5.3.2 muestra una porción del programa en escalera de esta rutina, en la cual se observa que varias condiciones dan lugar a la señal de unidad lista para arranque, señal que se evalúa en la rutina de arranque de la unidad explicada posteriormente.

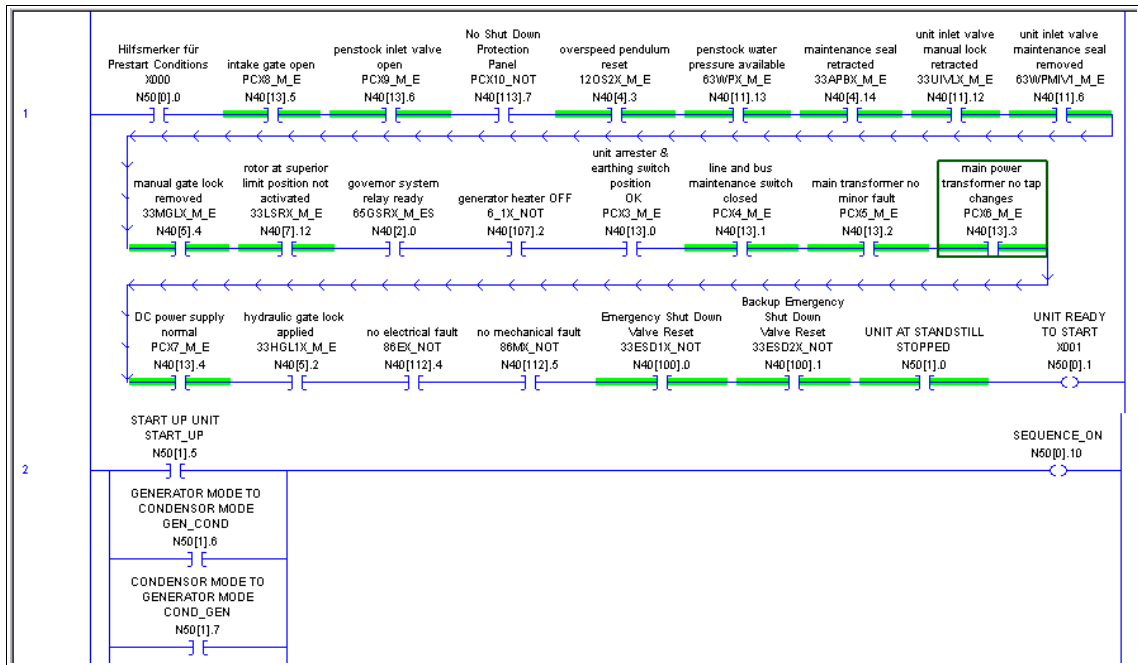


Figura 5.3.2 Fragmento de la rutina PRESTART.

UNIT_START

Esta rutina es la encargada de llevar a cabo la secuencia de arranque de la unidad. Si la señal de la rutina anterior, es decir la que indica que la unidad está lista para arrancar, se encuentra activa; entonces al momento de activar la señal de arranque

inicia la secuencia hasta llevar la unidad a su operación en línea con la red eléctrica. También existen los mandos para arrancar la unidad sin llevarla a operar en línea con la red eléctrica, es decir sin llevar a cabo la sincronización de la unidad; esto mediante el arranque sin carga excitado y sin excitar. En la figura 5.3.3, en su primera línea, se observan ambas señales de arranque sin carga excitado y sin excitar; lo cual corresponde a dos estados de operación posibles de la unidad antes de incorporarla a la red eléctrica nacional.

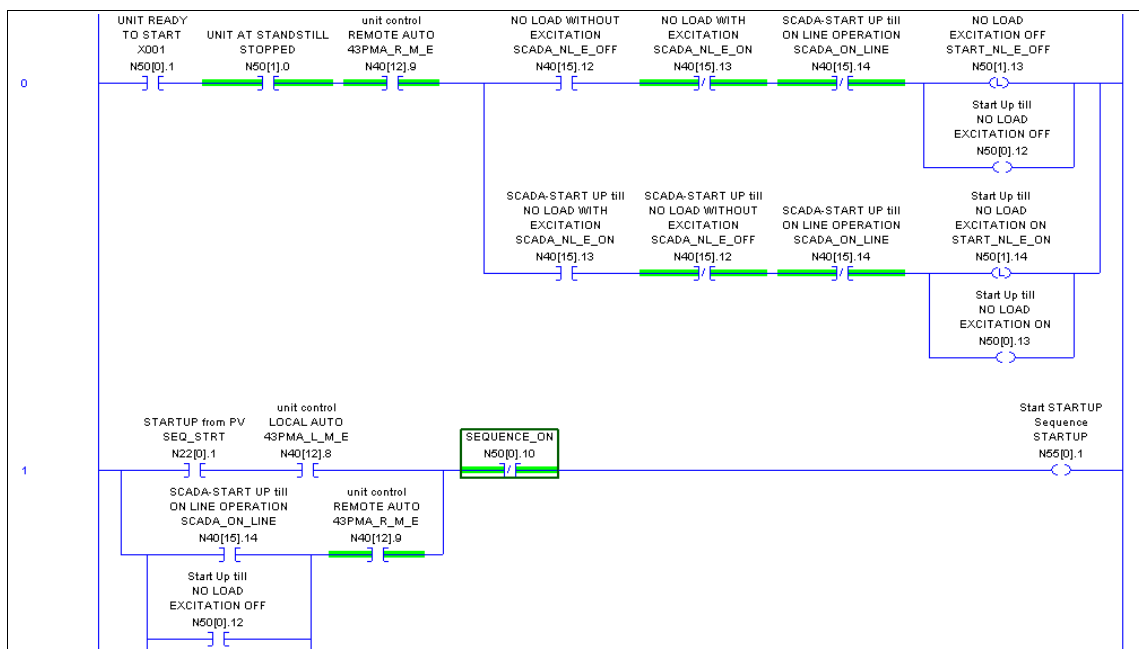


Figura 5.3.3 Fragmento de la rutina UNIT_START.

Como se dijo, la secuencia corresponde a un conjunto de pasos que llevan la unidad a su operación en línea. La figura 5.3.4 muestra un diagrama de flujo con la secuencia que se lleva a cabo, desde que la unidad se encuentra detenida hasta que entra a operar en red.

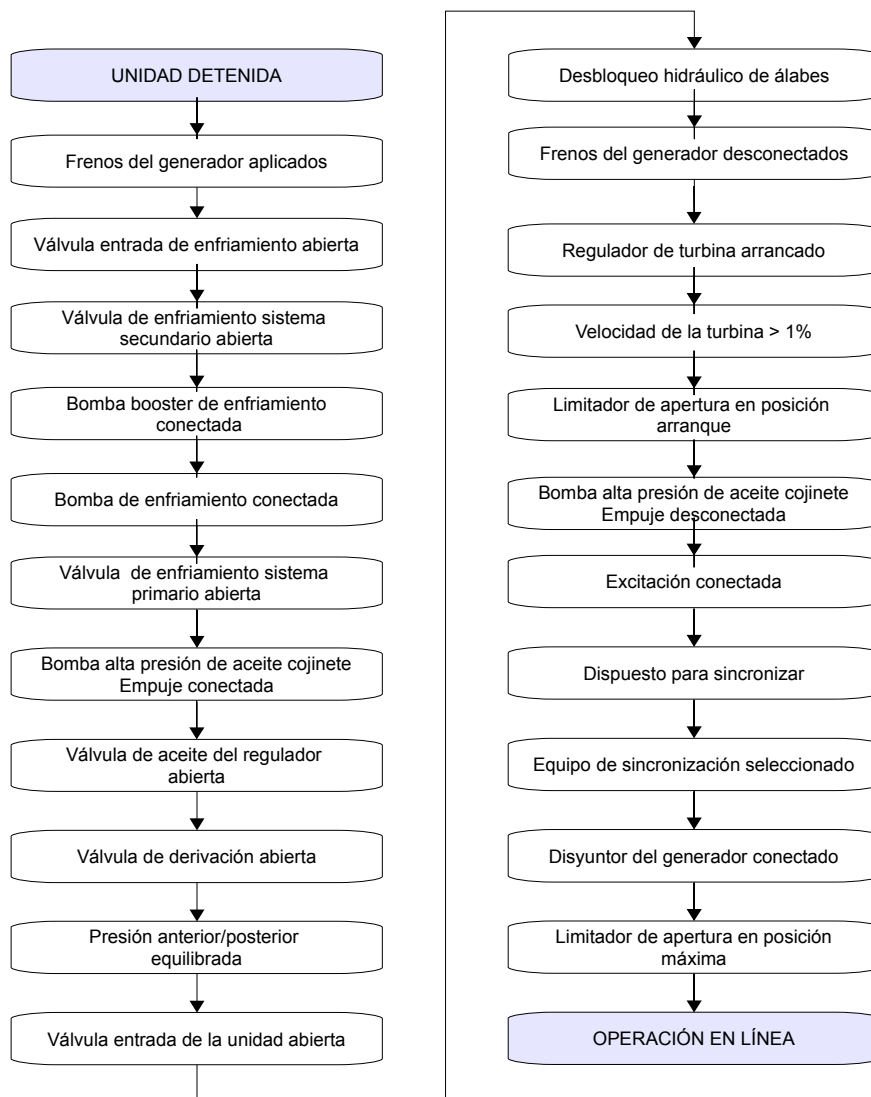


Figura 5.3.4 Secuencia de arranque de la unidad.

En la figura anterior se observan la cantidad de dispositivos que deben ser abiertos, cerrados, encendidos, apagados, conectados o desconectados para que la unidad llegue a operar como generador en línea con la red eléctrica nacional. Los dispositivos principales manejados por el PLC son válvulas y motores, además se evalúan señales digitales provenientes de otros dispositivos, como sensores de

velocidad y finales de carrera, para llevar a cabo la secuencia de acuerdo al estado de estos dispositivos.

GEN_STOP

Esta rutina es la encargada del paro de la unidad una vez que ésta se encuentra operando como generador. Al igual que el resto de las secuencias, ésta avanza por etapas de acuerdo a las tareas que debe llevar una por una hasta lograr detener por completo la unidad. La figura 5.3.5 muestra una porción de la rutina de paro, donde se observan dos pasos de la secuencia, los cuales son el bloqueo hidráulico de los álabes y el paso siguiente correspondiente al cierre de la válvula de aceite del regulador de velocidad.

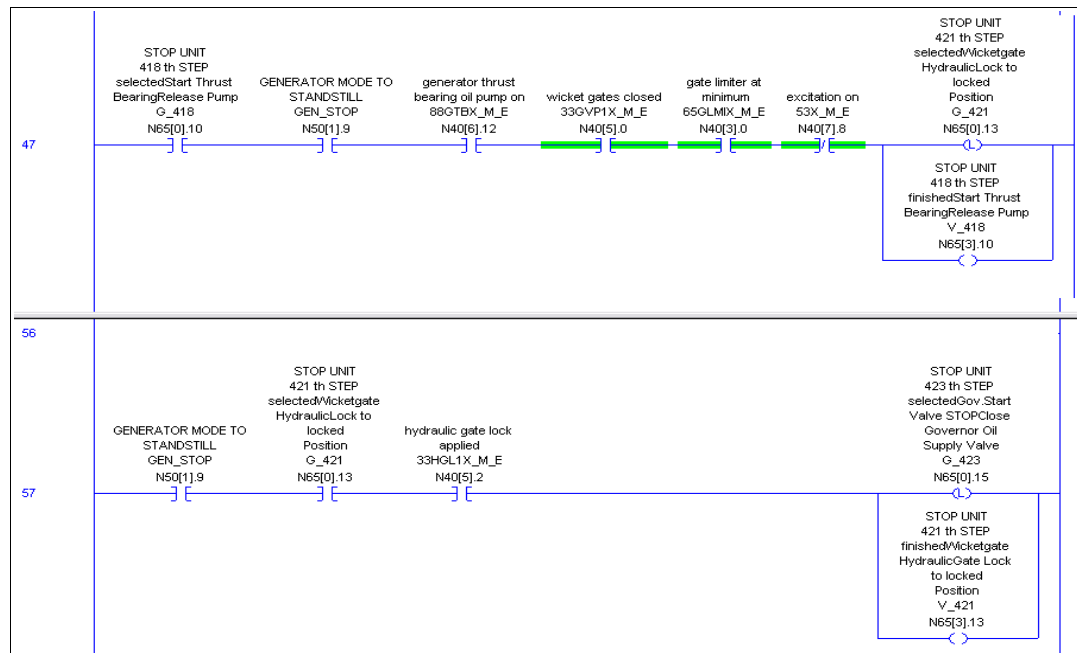


Figura 5.3.5 Fragmento de la rutina GEN_STOP.

La figura 5.3.6 muestra las tareas que debe ir realizando la secuencia de paro, principalmente durante la secuencia se desconecta la carga al generador, se

desconecta la excitación, también se detiene el ingreso de agua a la turbina cerrando los álabes y cerrando la válvula de entrada de la unidad, se aplican los frenos y además se cierran otras válvulas y se desconectan bombas hasta detener la unidad por completo. En la figura se observan también los pasos programados en el fragmento de rutina mostrado en la figura 5.3.5 y descritos anteriormente.

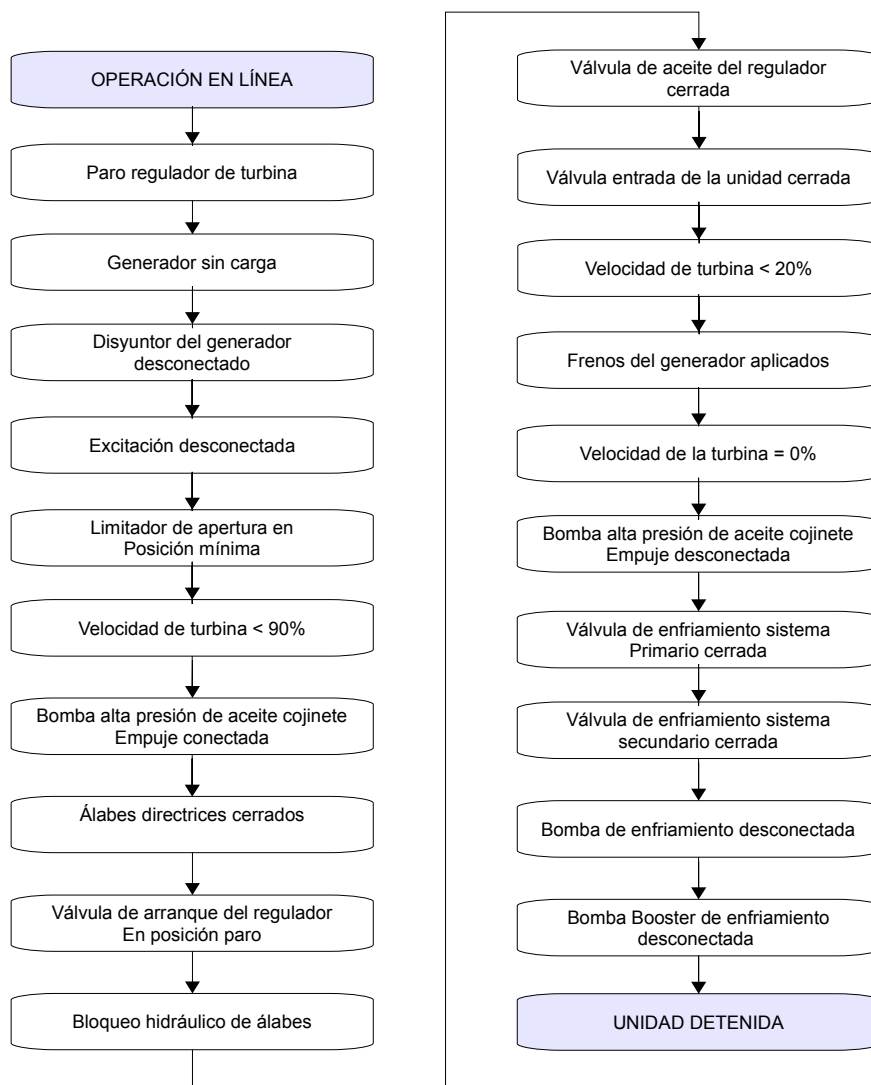


Figura 5.3.6 Secuencia de paro de la unidad operando como generador.

COND_STOP

Este procedimiento es el encargado de detener la unidad cuando ésta se encuentra operando como condensador síncrono. Existe gran similitud de esta secuencia con la secuencia de paro cuando la unidad se encuentra operando como generador. Principalmente, en esta secuencia una etapa no debe llevarse a cabo, la cual es la de desconectar la carga del generador, ya que como condensador síncrono la unidad no tiene carga conectada. Al observar ambas secuencias de las figuras 5.3.6 y 5.3.8, se nota que a partir de que la velocidad de la turbina es menor a 90% los pasos siguientes son los mismos hasta detener la unidad.

La figura 5.3.7 muestra una porción de la rutina de paro de la unidad cuando ésta se encuentra operando como condensador síncrono, se muestran dos instrucciones para la activación de dos pasos de la secuencia. La primera instrucción activa el cierre de la válvula para anillos de desgaste y la segunda activa el cierre de las válvulas de derivación y de entrada de agua hacia la turbina. Ambos pasos de la secuencia se muestran también en la figura 5.3.8, además de la secuencia completa de paro.

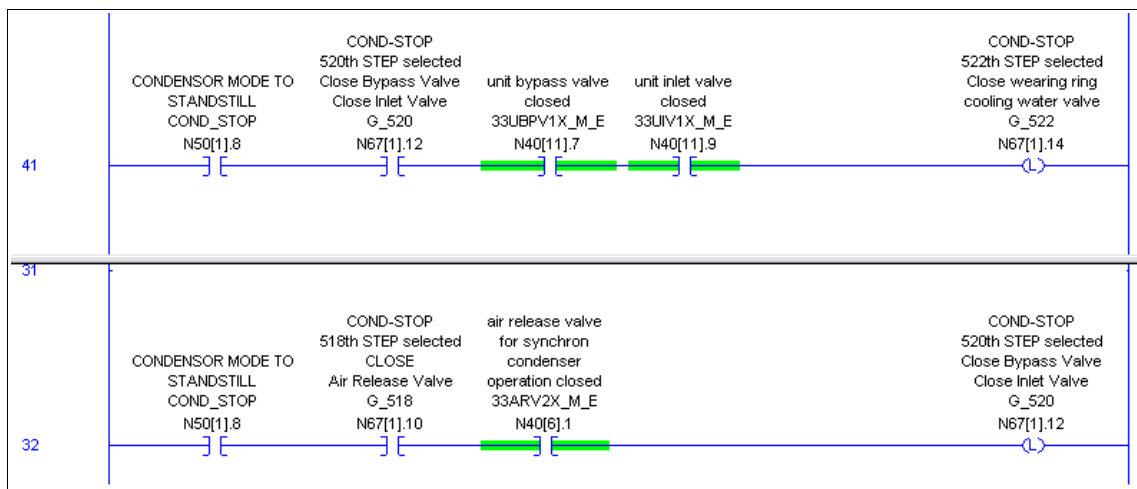


Figura 5.3.7 Fragmento de la rutina COND_STOP.

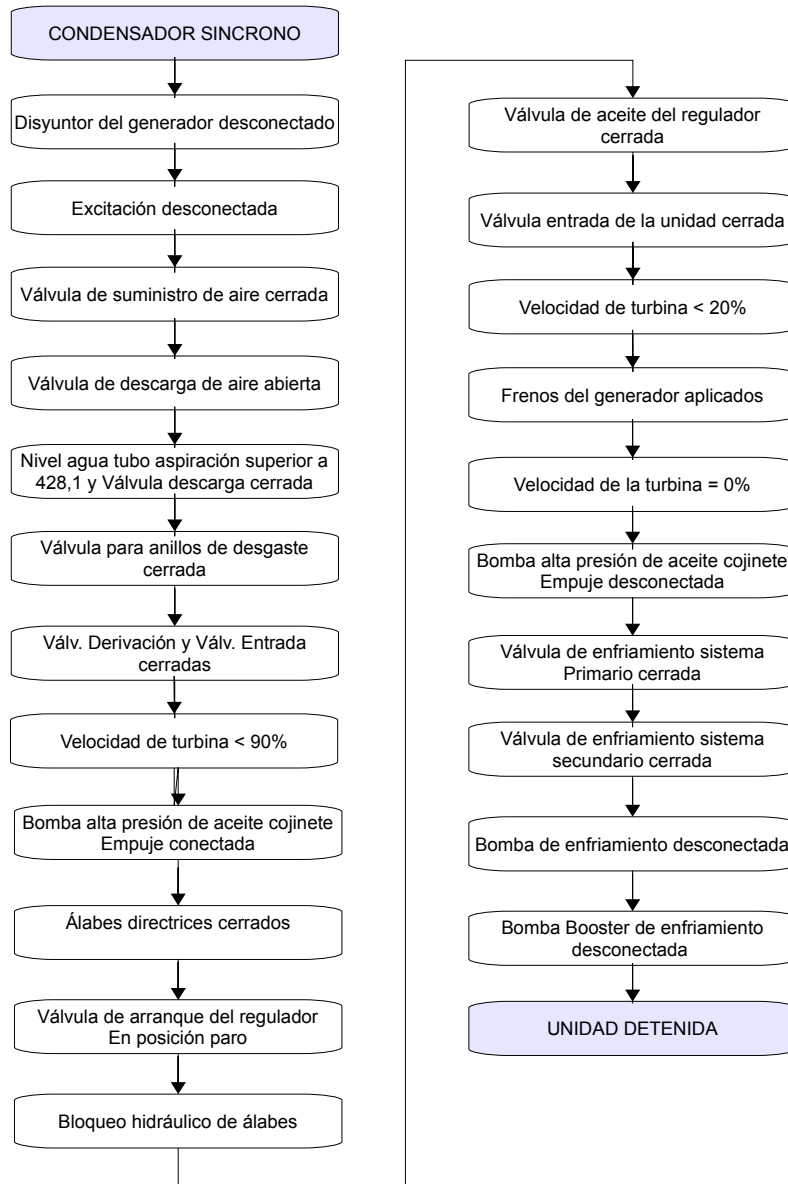


Figura 5.3.8 Secuencia de paro de la unidad operando como condensador síncrono.

CONDENSER

Esta rutina lleva a cabo dos secuencias, el paso de la unidad de generador a condensador síncrono y viceversa. De acuerdo al modo de operación de la unidad al momento del cambio, así se ejecuta una u otra secuencia. La figura 5.3.9 muestra una porción de esta rutina donde se observa en la primera instrucción que si el PMA se encuentra en automático y la unidad está trabajando como generador, entonces al momento de presionar el botón de Modo de operación condensador síncrono se inicia la secuencia mostrada en la figura 5.3.10.

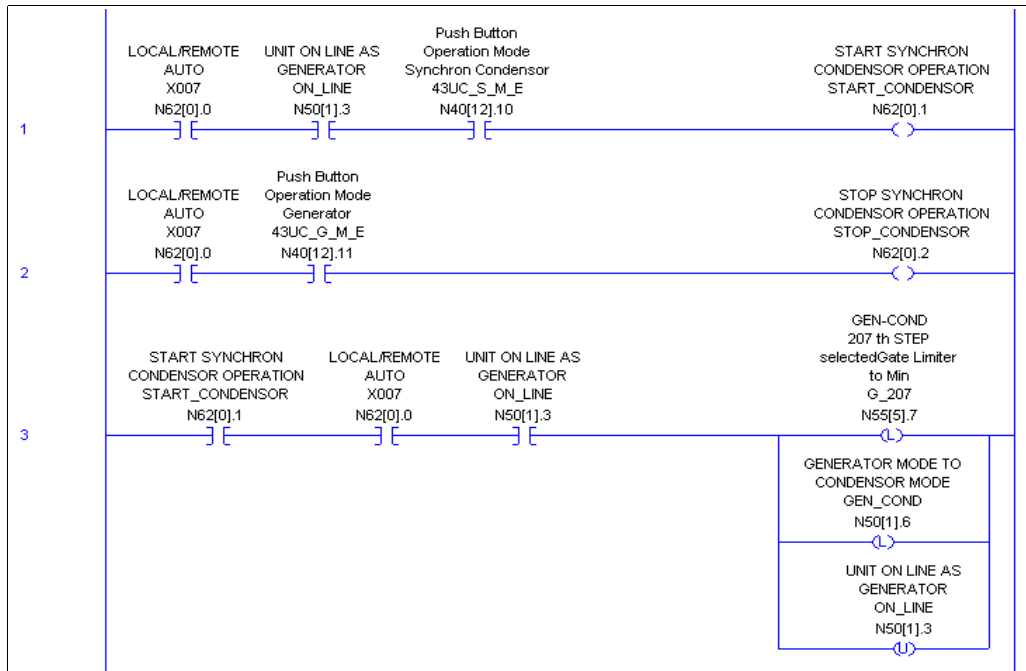


Figura 5.3.9 Fragmento de la rutina CONDENSER.

Como se mencionó, la figura 5.3.10 muestra el diagrama de flujo de la secuencia llevada a cabo para llevar la unidad a operar como condensador síncrono. Las secuencias de las figuras 5.3.10 y 5.3.11 tienen una estrecha relación, debido a que prácticamente son procesos inversos uno del otro.

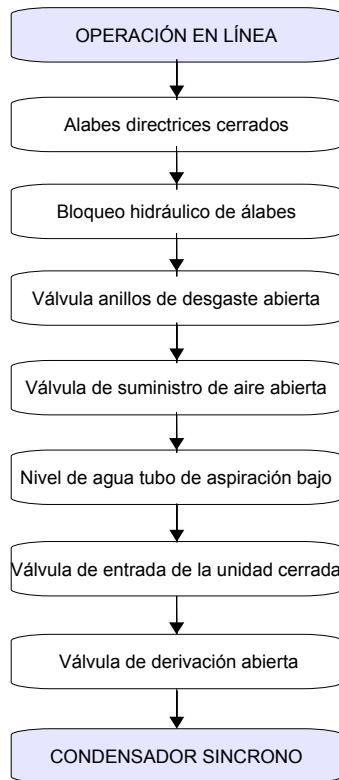


Figura 5.3.10 Secuencia de paso de la unidad de generador a condensador síncrono.

La siguiente figura muestra la secuencia de tareas que se realizan para llevar la unidad de operar como condensador síncrono a operar como generador. En ella se observa que las tareas de mayor importancia son las de abrir la válvula de entrada de agua de la unidad, y el desbloqueo y posterior apertura de los álabes directrices, entre otras.

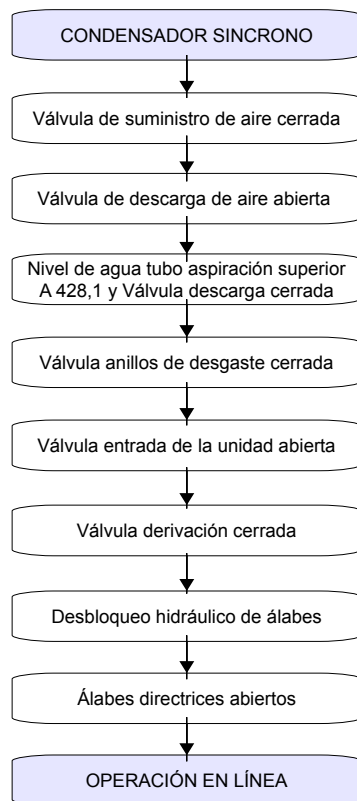


Figura 5.3.11 Secuencia de paso de la unidad de condensador síncrono a generador.

Discriminador_de_disparo_RTDs

Dada la existencia de varios sensores de temperatura (RTD) colocados en un mismo punto, es decir midiendo la misma temperatura, se desarrolló esta rutina para descartar falsos disparos (paradas) de la unidad debido a alta temperatura. En ella se comparan los valores medidos en cada sensor de un mismo grupo para determinar si la temperatura verdaderamente es elevada o es un valor falso debido a algún desperfecto en el sensor. A modo de ejemplo, existen tres RTDs midiendo la temperatura en la fase R de las bobinas del estator, por lo que se programó un disparo de la unidad sólo si por lo menos dos sensores están por arriba de la temperatura máxima, correspondiente a 120°C; así se evitan disparos si por algún motivo un solo sensor se descompone, midiendo erróneamente un valor de

temperatura por arriba del límite establecido, ya que los otros dos indicarían la temperatura correcta.

En la figura 5.3.12 se muestra una porción de la rutina desarrollada, donde se observa el caso antes descrito para la fase R.

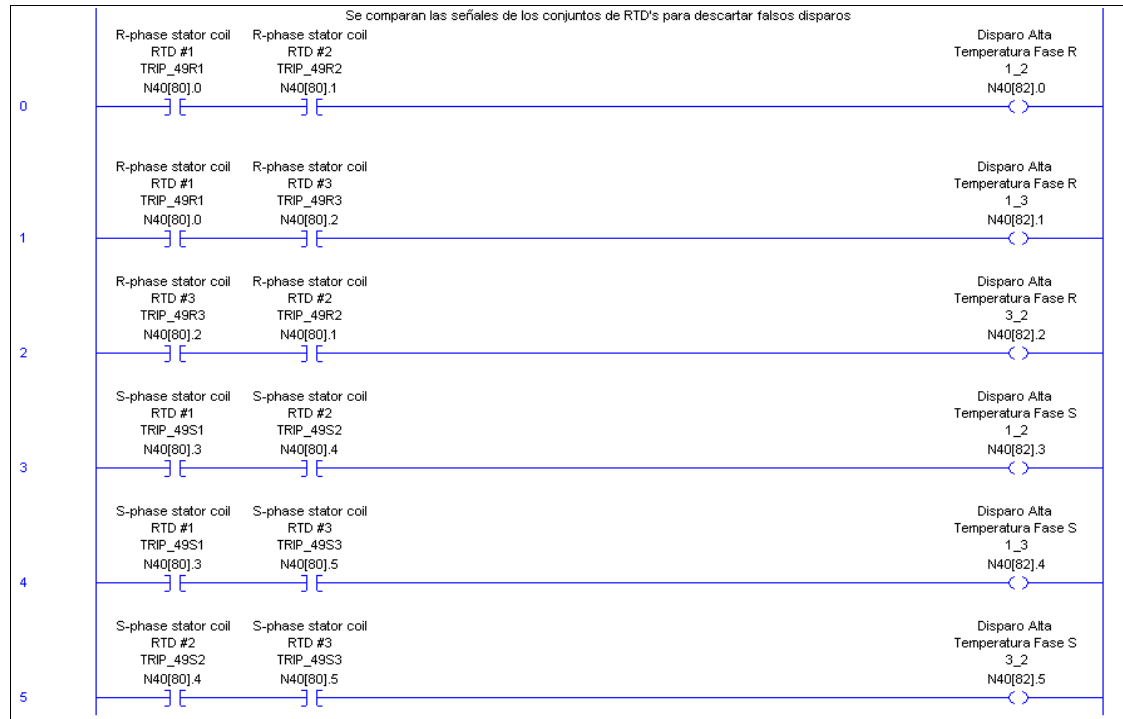


Figura 5.3.12 Fragmento de la rutina Discriminador_de_disparo_RTDS.

5.3.2 Interfaz de usuario para la terminal de operador

El sistema de control de las unidades de generación cuenta con la opción de ejecutar el arranque de cada unidad de forma manual, activando cada paso de la secuencia una a una mediante la interfaz programada en la terminal de operador PanelView Plus 1000. En la terminal además se cuenta con monitoreo de distintas variables, como temperaturas, presiones, flujos, velocidad en revoluciones por minuto,

frecuencia, potencia generada, entre otras; en los apéndices se muestran las pantallas con estas variables mencionadas. Cabe destacar que la interfaz se desarrolló tomando en cuenta la interfaz antigua programada en la terminal PanelView 900 que se usaba en la Planta anteriormente, esto fue debido a la solicitud de los operadores ya que éstos deben ingresar los datos leídos de la terminal en un dispositivo para tener un registro de ellos, para lo cual ya estaban adecuados a la distribución de los datos en la interfaz antigua, por lo que se mantuvo el orden y la disposición de los mismos en la nueva interfaz programada.

En la figura 5.3.13 se muestra el menú de la aplicación desarrollada en la terminal de operador, como se observa cada botón programado lleva a un paso de la secuencia de arranque, de modo que el operador pueda hacerla de forma manual, en caso de deseárselo así. De otro modo, basta con ajustar el PMA⁹ en automático para que la secuencia se ejecute de esa forma.



Figura 5.3.13 Menú principal de la interfaz de usuario.

⁹ Pupitre de Mando y Alarmas (ver detalles en sección 3.1.1).

La aplicación desarrollada posee la posibilidad de revisar las señales de disparo activas, estas señales son aquellas que impiden el arranque de la unidad cuando se encuentra detenida o hacen que la unidad se detenga automáticamente, este caso es llamado disparo de la unidad. Estas señales representan algún dispositivo dañado o mal funcionando, por lo que de esta forma inmediatamente los técnicos pueden atender la falla para arrancar la unidad nuevamente, en caso de un disparo. También cuenta con una pantalla donde se visualizan las alarmas activas, desplegando un texto que indica la fuente de la alarma, la hora y el estado del dispositivo que la generó. En las figuras siguientes se muestran ambas pantallas descritas, entre otras que conforman la aplicación desarrollada.

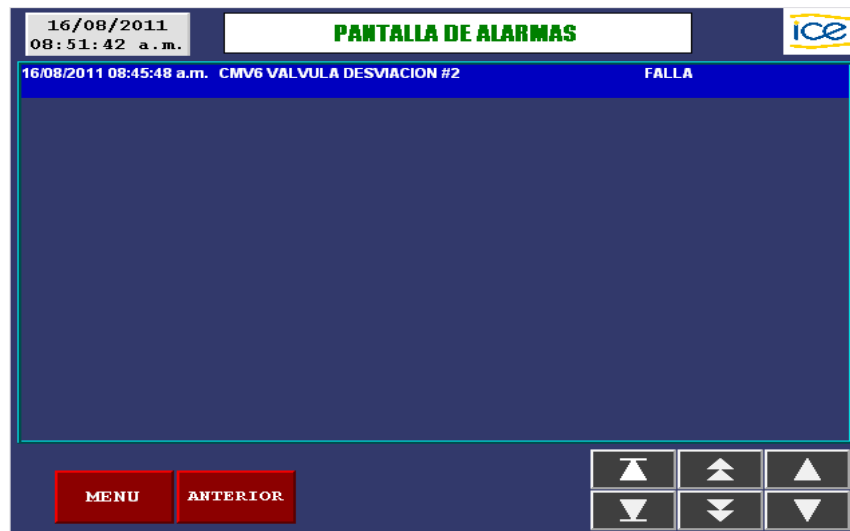


Figura 5.3.14 Pantalla de alarmas.

En la pantalla de alarmas se visualizan y se registran eventos que significan algún mal funcionamiento en cualquiera de los dispositivos periféricos, por ejemplo en la figura 5.3.14 se observa una alarma acerca del estado de una válvula y la hora y fecha en que surgió.



Figura 5.3.15 Pantalla de disparos.

De la figura anterior se observa que todas las señales de disparo se encuentran normales, sin embargo al momento de activarse alguna de ellas su correspondiente cuadro de indicación cambia a color rojo, la alarma surge y la unidad inicia automáticamente la secuencia de paro.

Capítulo 6 Análisis de resultados

Los resultados de la implementación del sistema se muestran en las figuras A.8, A.9 y A.10 de los apéndices, las cuales corresponden a fotografías tomadas al finalizar el proyecto. En la figura A.8 se observa el gabinete del PLC, en la parte superior se encuentra el chasis del PLC ControlLogix con los módulos correspondientes al CPU y los módulos de comunicación EtherNet/IP, ControlNet y Remote I/O, en ese orden de izquierda a derecha. Además a la izquierda del chasis se observan las fuentes redundantes alimentadas con 24V, las cuales dan robustez al sistema. En la figura A.9 se muestran los tres bastidores de los módulos de entrada y salida remotos del sistema junto con los módulos adaptadores seleccionados, los cuales permiten la comunicación con el CPU. Por último, en la figura A.10 se muestra el panel correspondiente al PMA en el cual se colocó la terminal de operador PanelView Plus 1000 que corresponde a la interfaz hombre-máquina.

Una vez implementada la solución se procedió a la prueba del mismo mediante el arranque de la unidad de generación en la cual se conectó el equipo primeramente, con la presencia de los ingenieros y técnicos de la Planta y con la ayuda de la terminal de operador se llevó paso a paso la secuencia de arranque como se muestra en la figura 5.3.4 hasta llevar la unidad a operar como generador sincronizada con la red eléctrica exterior. Además se probó que las otras secuencias también corrieran de forma correcta, por lo que se pasó la unidad de generador a condensador síncrono y viceversa; y también se detuvo la unidad, de esta forma se verificó el buen funcionamiento de cada secuencia programada en el controlador ControlLogix. Con lo anterior quedó comprobado la correcta comunicación de la terminal de operador PanelView Plus 1000 con el PLC a través de la red Ethernet, lo cual se encontraba dentro de las especificaciones.

Una vez probadas las secuencias del sistema de control, se procedió a verificar el monitoreo del controlador programable a través de la red Ethernet con el software de programación RSLogix500, lo cual fue satisfactoriamente posible y da una indicación de que el PLC puede ser incorporado a la red de monitoreo del Centro de Producción Angostura, dando pie a la posibilidad de reforzar el sistema de control mediante la aplicación SCADA existente.

A consecuencia del nuevo sistema de control implementado, específicamente gracias a la interfaz de usuario desarrollada, el tiempo de recorrido por parte del operador para la adquisición de datos disminuyó; de acuerdo a lo informado por los mismos operadores. Lo anterior se debió al rediseño de la interfaz programada en la terminal de operador, ya que se facilitó el acceso a las pantallas que muestran los datos que el operador debe registrar mediante un nuevo menú y submenú que permiten localizar rápidamente la pantalla deseada por visualizar, los cuales se observan en las figuras 5.3.13 y A.1 respectivamente.

Un aspecto de gran importancia durante la implementación de la solución fue la determinación de los módulos adaptadores que permitieron reutilizar los módulos de entrada y salida del sistema antiguo de control. Este aspecto significó un ahorro en tiempo, esfuerzo y dinero para el desarrollo del proyecto, ya que se evitó el cableado de señales y la compra de nuevos módulos para ello.

Gracias al análisis del programa de control del PLC se desarrolló una rutina a modo de mejora en la eficiencia del mismo en el uso de los transductores de temperatura (RTDs) ya que como se ha explicado anteriormente en el presente informe, varios puntos dentro del foso del generador cuentan con hasta tres transductores midiendo la temperatura, que teóricamente corresponde al mismo valor, por lo que la rutina realiza la validación de los disparos de la unidad de acuerdo a la medición de los

sensores. Con esto se aumentó la certeza en las mediciones de temperaturas por arriba del límite especificado para cada punto medido.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la implementación y prueba del sistema de control de las unidades de generación del Centro de Producción Angostura se pudo comprobar que el nuevo sistema de control cumple los objetivos planteados, y que además queda a disposición para incorporarlo dentro del sistema SCADA existente en la Planta.

Además en los apéndices se incluye el documento titulado *Guía de procedimientos utilizados durante el desarrollo del proyecto*, en el cual se describen algunas tareas importantes que fueron realizadas. La intención principal del documento es brindar información útil a los técnicos eléctricos que de otra forma sería difícil de obtener.

Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- El funcionamiento del sistema implementado puede ser supervisado desde un computador conectado a la red Ethernet.
- La utilización de módulos adaptadores para comunicar los módulos de entrada y salida remotos redujo en gran medida el tiempo de implementación.
- La rutina programada para evitar falsos disparos de la unidad por sobretemperatura aumentó la eficiencia en el manejo de los transductores de temperatura dispuestos en Casa Máquinas.
- Debido a las características de la terminal de operador y a la interfaz de usuario programada en ella, se disminuyó notablemente el tiempo de toma de datos por parte de los operadores.
- El nuevo sistema de control desarrollado permite ser incluido en el sistema SCADA existente para contar con control remoto de las unidades de generación.
- La interfaz hombre-máquina permite al operador de la máquina controlar de forma manual la unidad de generación y tener bajo supervisión las variables del proceso de generación.

7.2 Recomendaciones

Con el fin de mejorar el sistema de control de las unidades de generación, se pueden tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- De acuerdo a lo sugerido por los operadores de la Planta se recomienda analizar la secuencia de paro de la unidad con el objetivo de implementar una condición que dependa del operador para confirmar si la secuencia de paro, al activarse por un disparo, sigue hasta detener la unidad por completo, o si por el contrario se reconocen las señales que originaron el disparo de la unidad y ésta se devuelve a su operación en línea.
- Con el fin de eliminar equipo innecesario que únicamente se dedica a la lectura de variables para su envío al SCADA, es posible agregar módulos de entrada al bastidor del PLC ControlLogix para hacer tal envío a través del nuevo sistema de control de las unidades de generación.

Capítulo 8 Bibliografía

- [1] Terminales de operador PanelView estándar, Manual del usuario. [En línea] [Consultado el 5 de febrero de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-um014_-es-p.pdf
- [2] Wikipedia: Monitor monocromo. [En línea][Consultado el 7 de febrero de 2011]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Monitor_monocromo
- [3] Matic, N. "Introduction to PLC Controllers". MikroElektronika, 2003. [En línea] [Consultado el 7 de febrero de 2011]. Disponible en: <http://www.electronicspal.com/plc/>
- [4] Rockwell Automation. "PanelView Plus Terminals, User Manual". [En línea] [Consultado el 10 de febrero de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711-p-um001_-en-p.pdf
- [5] Rockwell Automation. "ControlLogix Controllers, User Manual". [En línea] [Consultado el 12 de febrero de 2011]. Disponible en: <http://support.elmark.com.pl/rockwell/Instrukcje/LogixProcessors.pdf>
- [6] Wikipedia: Definición PROFIBUS. [En línea][Consultado el 19 de febrero de 2011]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Profibus>
- [7] Controlador Lógico Programable. [En línea][Consultado el 28 de febrero de 2011]. Disponible en: <http://tesisalfovan.wordpress.com/clp/>

[8] Programación en Escalera (Ladder), Rodrigo A. Musalem M. [En línea][Consultado el 01 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento1.pdf>

[9] Norma IEC 61131-3. Lenguajes de programación. [En línea][Consultado el 03 de marzo de 2011]. Disponible en: [http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/IEC%2061131-3%20\(Lenguajes\).pdf](http://isa.uniovi.es/~vsuarez/Download/IEC%2061131-3%20(Lenguajes).pdf)

[10] Norma IEC 1131-3. Estandarización en la programación del control industrial. [En línea][Consultado el 02 de marzo de 2011]. Disponible en: [http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindII/documentos/iec1131-3%20espa%F1ol%20\(1\).pdf](http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindII/documentos/iec1131-3%20espa%F1ol%20(1).pdf)

[11] Rockwell Automation. “Sistema ControlLogix, Manual del usuario”. [En línea][Consultado el 04 de marzo de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um001_-es-p.pdf

[12] Rockwell Automation. “Guía de inicio rápido para controladores Logix5000”. [En línea][Consultado el 04 de marzo de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/1756-qs001_-es-p.pdf

[13] Rockwell Automation. “Remote I/O Adapter Module 1771-ASB, User Manual”. [En línea][Consultado el 05 de marzo de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1771-um001_-en-p.pdf

- [14] Rockwell Automation. "ControlNet Adapter Module 1771-ACNR15. User Manual". [En línea][Consultado el 10 de marzo de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1771-um124_-en-p.pdf
- [15] Módulo interfaz Data High Plus y Remote I/O. [En línea][Consultado el 30 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.plchardware.com/Products/RA-1756-DHRIO-E-UPP.aspx>
- [16] Rockwell Automation. "Red ControlNet, descripción general del sistema". [En línea][Consultado el 10 de marzo de 2011]. Disponible en: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1786-so009_-es-p.pdf
- [17] Sensores de temperatura. Detector Resistivo de Temperatura (RTD) y Termocuplas. [En línea][Consultado el 15 de marzo de 2011]. Disponible en: http://www.efunda.com/designstandards/sensors/rtd/rtd_intro.cfm
- [18] Wikipedia. Definición de Termopar (Termocupla). [En línea][Consultado el 16 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar#Ruido>
- [19] Wikipedia. Protocolo de comunicación TCP/IP. [En línea][Consultado el 15 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-que-son-redes/que-es-tcp-ip>
- [20] Wikipedia. Modelo TCP/IP. [En línea][Consultado el 20 de marzo de 2011]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_TCP/IP
- [21] Wikipedia. Descripción estándar Ethernet. [En línea][Consultado el 22 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>

- [22] Rockwell Automation. "Enhanced and Ethernet PLC-5 Programmable Controllers". [En línea][Consultado el 29 de marzo de 2011]. Disponible en: http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um012_-en-p.pdf
- [23] Módulo interfaz EtherNet/IP 1756-ENET/B. [En línea][Consultado el 29 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.ethernetip.de/products/products.htm>
- [24] Módulo interfaz ControlNet 1756-CNB. [En línea][Consultado el 30 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.kollewin.com/blog/controlnet-1756-cnb/>
- [25] Detector Resistivo de Temperatura Pt100. [En línea][Consultado el 30 de marzo de 2011]. Disponible en: http://cbs.grundfos.com/GMX_Mexico/lexica/AC_PT_100_sensor.html#-
- [26] Módulo adaptador remoto 1771-ASB. [En línea][Consultado el 30 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.southlandelectrical.com/itemdesc.asp?ic=1771-ASB-E-R&eq=&Tp=&Allen%20Bradley~1771-ASB%20Series%20E>
- [27] Módulo adaptador ControlNet 1771-ACNR15. [En línea][Consultado el 30 de marzo de 2011]. Disponible en: <http://www.plchardware.com/Products/RA-1771-ACN15-B-UPP.aspx>

Apéndices

A.1 Glosario

Bastidor: Armazón de metal en el cual se colocan todos los módulos del PLC, incluyendo la fuente de alimentación y el CPU, y que los interconecta eléctricamente.

DARPA: Iniciales en inglés para Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa. Pertenece al Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Efecto Seebeck: En un circuito formado por dos metales distintos homogéneos, con dos uniones a diferente temperatura, aparece una corriente eléctrica; o bien, si se abre el circuito una fuerza termoelectromotriz que depende de los materiales utilizados en la unión y de la diferencia de temperatura entre las uniones.

E/S: Iniciales correspondientes a las palabras Entradas y Salidas, respectivamente.

HMI: Iniciales en inglés para Interface Hombre-Máquina.

IEEE 802.3: Estándar desarrollado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos basado en el estándar Ethernet.

OSI: Iniciales en inglés para Interconexión de sistemas abiertos. Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

PLC: Iniciales en inglés para Controlador Lógico Programable.

RTD: Dispositivo que varía su resistencia eléctrica de acuerdo al cambio de temperatura al que se exponga.

SIL: es una medida de la fiabilidad operativa que permite determinar las recomendaciones sobre integridad de las funciones de seguridad que se deben asignar a los sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables.

Termocupla: Dispositivo que varía su tensión eléctrica de acuerdo al cambio de temperatura al que se exponga.

Transductor: Dispositivo que transforma una variable física en una eléctrica o viceversa.

A.2 Tablas de comparación

Tabla A.2.1 Comparación de diferentes modelos de PLC

Modelo	Marca	Memoria de programa	Tipo de memoria	Puertos de comunicación	Conectividad	Máx E/S	Programas
SLC 500 5/05	Allen-Bradley	16K, 32K, 64K	RAM con respaldo de batería, EEPROM, EPROM	EtherNet, RS-232	EtherNet, DeviceNet, DH-485, DH+, ControlNet, RS-232	4096	RSLogix500
ControlLogix	Allen-Bradley	Desde 750K hasta 8M	RAM con respaldo de batería, EEPROM, EPROM, y opción de utilizar un ControlFlash	RS-232	EtherNet, DeviceNet, RS-232	Hasta 16 módulos	RSLogix5000
DL405	DirectLogix	Desde 6.4K hasta 30.8K		Serial, EtherNet	RS-232 EtherNet	Desde 1152 hasta 3584	DirectSoft 32
T2	Toshiba	9.5K	SRAM	EtherNet, RS-232 en módulos aparte	ModBus, EtherNet, RS-232 en módulos aparte	512	
CJ1	OMRON	16K	SRAM	RS-232	EtherNet, DeviceNet y Controller Link	2560	CX-programmer
CS1-H	OMRON	10K - 250K	SRAM	RS-232	EtherNet, DeviceNet y Controller Link	5120	CX-programmer

Tabla A.2.2 Comparación de controladores Logix5000

Característica	1756 ControlLogix	1769 CompactLogix	1789 SoftLogix5800	1794 FlexLogix
<i>Memoria de usuario</i>	1756-L55M12 750KB 1756-L55M13 1.5MB 1756-L55M15 3.5MB 1756-L55M16 7.5MB 1756-L55M22 750KB 1756-L61 2MB 1756-L62 4MB 1756-L63 8MB	1769-L31 512KB 1769-L32x 750KB 1769-L35x 1.5MB	1789-L10 2MB 1789-L30 64MB 1789-L60 64MB	1794-L34 512KB
<i>Memoria de usuario no volátil</i>	1756-L55M12 ninguno 1756-L55M13 ninguno 1756-L55M15 ninguno 1756-L55M16 ninguno 1756-L55M22 sí 1756-L6x CompactFlash	CompactFlash (todos los controladores)	ninguna	sí
<i>Puertos de comunicación incorporados</i>	1 puerto RS-232 en serie (DF1 o ASCII)	1769-L31: 2 puertos RS-232 (uno sólo DF1, otro DF1 o ASCII). 1769-L32C, -L35CR: 1 puerto ControlNet y 1 puerto RS-232. 1769-L32E, -L35E: 1 puerto EtherNet/IP y 1 puerto RS-232 (DF1 o ASCII).	Depende de la PC	1 puerto RS-232 (DF1 o ASCII). 2 ranuras para tarjetas de comunicación 1788
<i>Opciones de comunicación (estas opciones tienen productos y perfiles específicos para su plataforma)</i>	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet Data Highway Plus E/S remotas universales Modbus DH-485	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet en serie Modbus DH-485	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet en serie	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet en serie Modbus DH-485
<i>Conexiones</i>	Controlador 250 1756-CNB 64 1756-ENBT 128	Controlador 100 puerto de ControlNet 32 puerto de EtherNet/IP 32	Controlador 250 1784-PCICS 128	Controlador 100 1788-CNx 32 1788-ENBT 32
<i>Redundancia del controlador</i>	Compatibilidad total de redundancia	No aplicable	No aplicable	Respaldo activo mediante DeviceNet
<i>E/S nativas</i>	E/S de 1756 controlLogix	E/S de 1769 Compact	Aceptado mediante tarjetas de E/S de bus de PCE de otros fabricantes.	E/S de 1794 FLEX E/S de 1797 FLEX Ex
<i>Movimiento simple</i>	Motor paso servo mediante DeviceNet variador de CA analógico	Motor paso a paso servo mediante DeviceNet variador de CA analógico	Motor paso a paso servo mediante DeviceNet variador de CA analógico	Motor paso a paso servo mediante DeviceNet variador de CA analógico
<i>Opciones de montaje e instalación</i>	Chasis 1756	Montaje en panel riel DIN	ninguno	Montaje en panel riel DIN
<i>Lenguaje de programación</i>	Escalera de relés. Texto estructurado. Bloque de funciones. Diagrama de funciones secuenciales.	Escalera de relés. Texto estructurado. Bloque de funciones. Diagrama de funciones secuenciales.	Escalera de relés. Texto estructurado. Bloque de funciones. Diagrama de funciones secuenciales.	Escalera de relés. Texto estructurado. Bloque de funciones. Diagrama de funciones secuenciales.

A.3 Pantallas de la terminal de operador para visualización de variables



Figura A.1 Submenú para visualización de variables

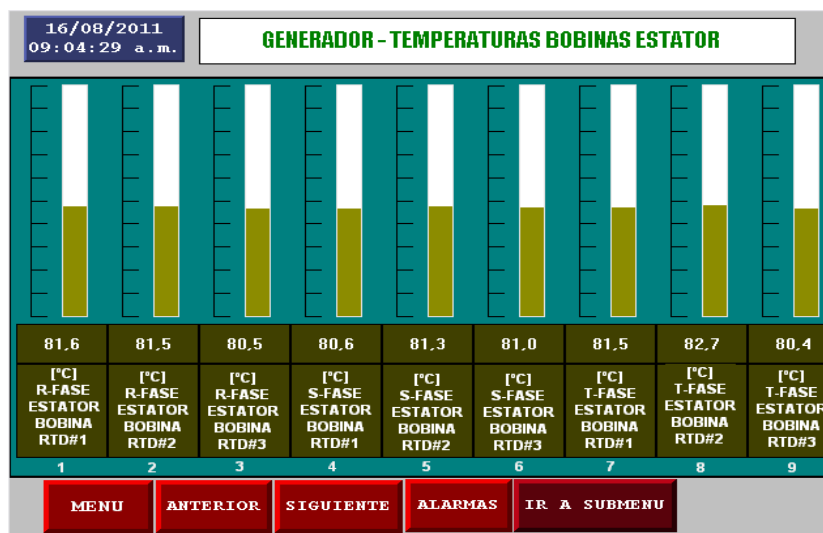


Figura A.2 Temperaturas de las bobinas del estator.

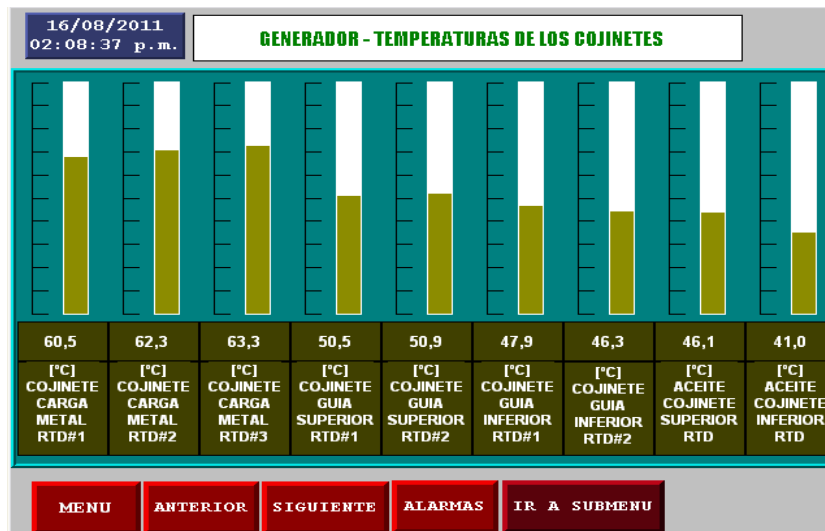


Figura A.3 Temperaturas de los cojinetes

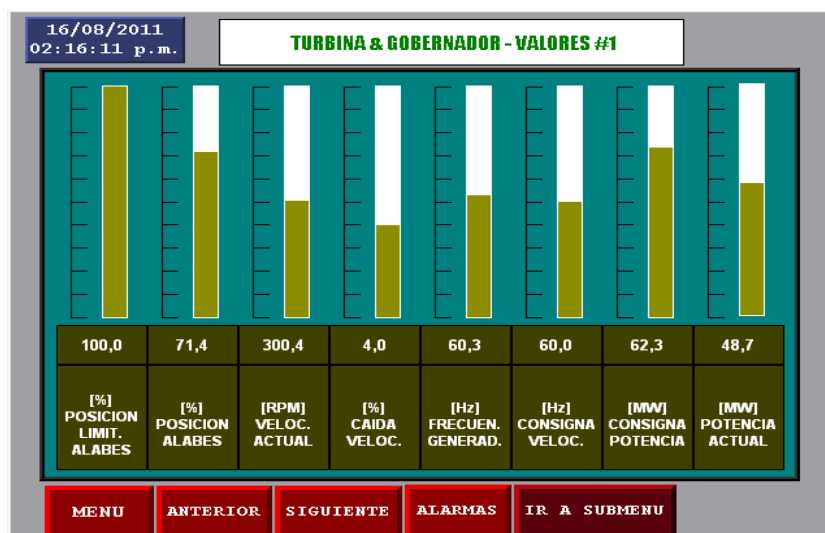


Figura A.4 Variables de la turbina y el gobernador #1

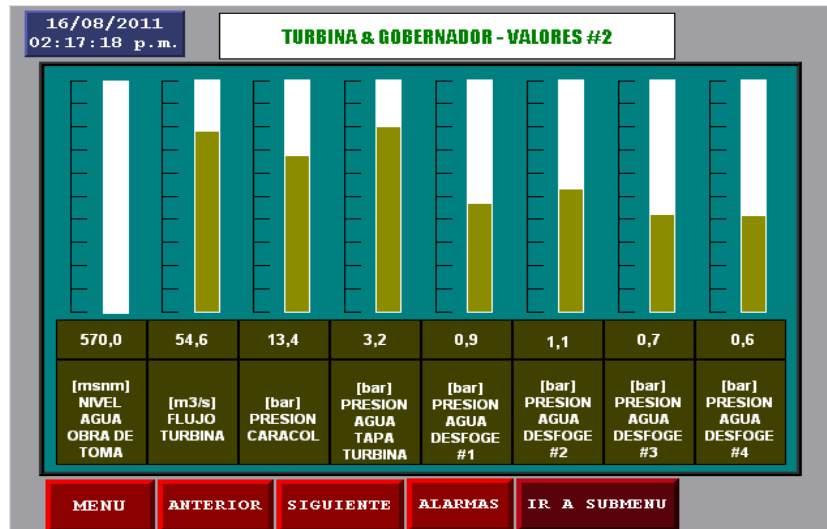


Figura A.5 Variables de la turbina y el gobernador #2

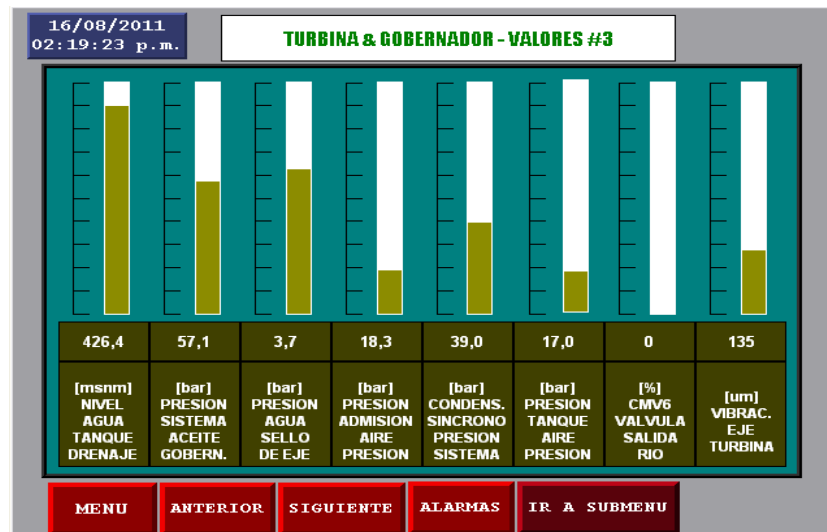
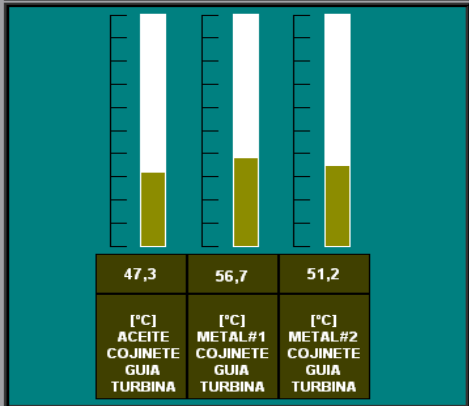


Figura A.6 Variables de la turbina y el gobernador #3

16/08/2011
02:20:13 p.m.

TURBINA - TEMPERATURAS COJINETES GUIA



MENU ANTERIOR ALARMAS IR A SUBMENU

Figura A.7 Temperaturas de los cojinetes guía

A.4 Fotos del sistema



Figura A.8 Gabinete con el PLC ControlLogix y las fuentes redundantes.



Figura A.9 Gabinete con los módulos I/O 1771 remotos.



Figura A.10 Panel de Mando y Alarmas con la pantalla PanelView Plus 1000.

A.5 Documento: *Guía de procedimientos utilizados durante el desarrollo del proyecto*

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

CENTRO DE PRODUCCIÓN ANGOSTURA

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LAS UNIDADES DE
GENERACIÓN

Guía de Procedimientos utilizados durante el desarrollo del proyecto

Realizado por Jonathan Ulloa Muñoz

Importante

La siguiente información fue tomada de los diferentes manuales de usuario para los sistemas ControlLogix y PanelView Plus 1000 publicados por Rockwell Automation, disponibles en www.literature.rockwellautomation.com

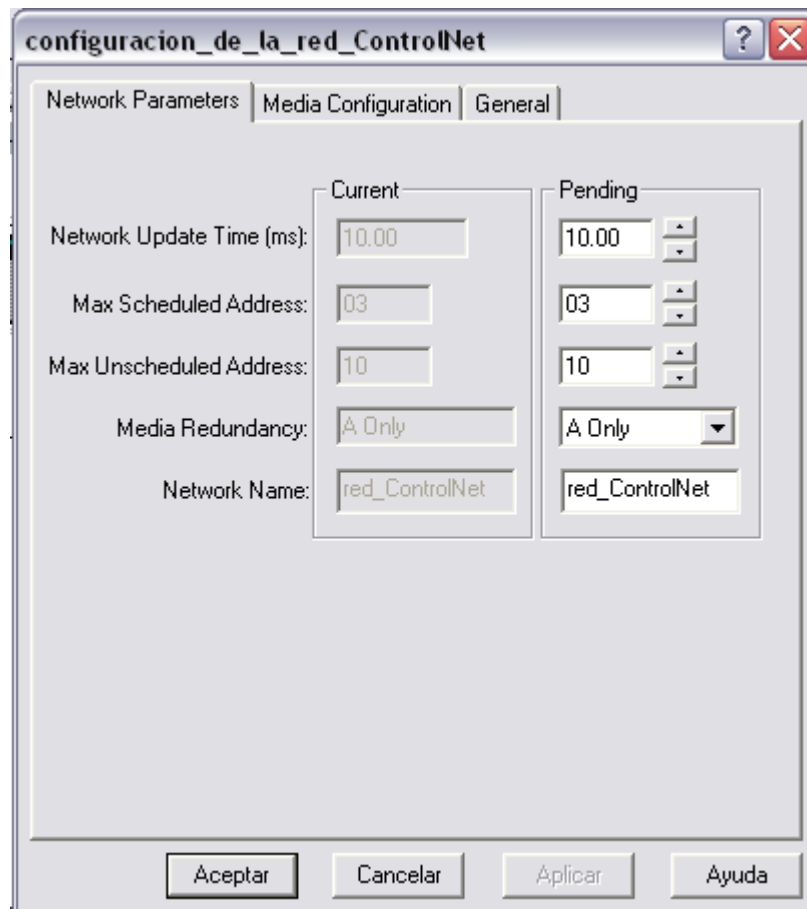
1. Programar la red ControlNet

- A) Descargue el proyecto RSLogix 5000 al controlador.
- B) Ejecute el software RSNetworx para ControlNet.
- C) ¿Ha sido programada anteriormente esta red?

Si:	Entonces:	
No	1. Del menú <i>File</i> , seleccione <i>New</i> . 2. Del menú <i>Network</i> , seleccione <i>Online</i> . 3. Seleccione la red ControlNet y seleccione <i>OK</i> . 4. Seleccione la casilla de verificación <i>Edits Enabled</i> . 5. Del menú <i>Network</i> , seleccione <i>Properties</i> . 6. De la ficha <i>Network Parameters</i> , introduzca o seleccione los parámetros siguientes:	
	En este cuadro:	Especifique:
	Network Update Time	intervalo de tiempo repetitivo durante el cual los datos se envían mediante la red ControlNet
	Max Scheduled Address	el mayor número de nodo que usará comunicaciones programadas en la red
	Max Unscheduled Address	el número mayor de nodo que se usará en la red
	Media Redundancy	los canales en uso
	Network Name	el nombre para la red
	7. Haga clic en <i>OK</i> . 8. Del menú <i>Network</i> , seleccione <i>Single Pass Browse</i> . 9. Del menú <i>File</i> , seleccione <i>Save</i> . 10. Introduzca un nombre para el archivo que almacena la configuración de red, luego haga clic en <i>Save</i> . 11. Seleccione el botón <i>Optimize and re-write Schedule for all Connections</i> (predeterminado) y haga clic en <i>OK</i> . 12. En el software RSLogix 5000, guarde el proyecto en línea.	
Si	1. Del menú <i>File</i> , seleccione <i>Open</i> . 2. Seleccione el archivo para la red y seleccione <i>Open</i> . 3. Del menú <i>Network</i> , seleccione <i>Online</i> . 4. Seleccione la casilla de verificación <i>Edits Enabled</i> . 5. Del menú <i>Network</i> , seleccione <i>Properties</i> . 6. De la ficha <i>Network Parameters</i> , actualice los parámetros siguientes:	
	En este cuadro:	Especifique:

Max Scheduled Address	el mayor número de nodo que usará comunicaciones programadas en la red
Max Unscheduled Address	el número mayor de nodo que se usará en la red
<p>7. Haga clic en <i>OK</i>.</p> <p>8. Del menú <i>Network</i>, seleccione <i>Single Pass Browse</i>.</p> <p>9. Del menú <i>File</i>, seleccione <i>Save</i>.</p> <p>10. Seleccione el botón <i>Optimize and re-write Schedule for all Connections</i> (predeterminado) y haga clic en <i>OK</i>.</p> <p>11. En el software RSLogix 5000, guarde el proyecto en línea.</p>	

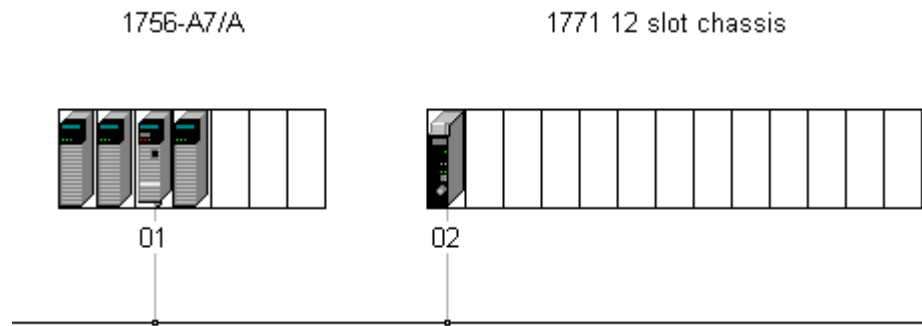
Los parámetros de la red se configuraron de la siguiente manera:



Al momento de agregar el módulo adaptador ControlNet al proyecto de RSLogix 5000 es importante configurar el RPI (Requested Packet Interval) en por lo menos el doble del NUT (Network Update Time).

El archivo de configuración creado para el proyecto se puede encontrar en *E:\Archivos de programa\Rockwell Software\RSNetWorxii\Networks\configuracion_de_la_red_ControlNet.xc*

La asignación de nodos es la siguiente:



Módulo	Nodo
Módulo 1756-CNB ControlNet	1
Módulo 1771-ACN15 Adaptador remoto ControlNet	2

2. Configuración de los interruptores DIP Switch del chasis 1771-A3B1 para el uso del CPU PLC-5.

Los interruptores (DIP Switches) del chasis deben ser configurados de la siguiente manera para que el sistema vuelva a la operación antigua con el PLC-5. El color negro indica que el interruptor se encuentra presionado en el estado indicado, ya sea ON u OFF



3. Configuración de los interruptores DIP Switch del chasis 1771-A3B1 para el uso del módulo adaptador ControlNet.

Los interruptores (DIP Switches) del chasis deben ser configurados de la siguiente manera para agregarle un adaptador ControlNet. El color negro indica que el interruptor se encuentra presionado en el estado indicado, ya sea ON u OFF.



4. Cómo convertir una aplicación de PanelBuilder32 a FactoryTalk View Studio

Los siguientes pasos describen cómo convertir un archivo de aplicación PanelBuilder, con la extensión .pba o .pva, a un archivo de aplicación de FactoryTalk View, con la extensión .med. Cabe destacar que la aplicación original de PanelBuilder no se modifica durante la conversión.

Pasos a seguir en PanelBuilder antes de convertir la aplicación

1. Puntos y coma (;) en las direcciones de tag son aceptadas en PanelBuilder, pero no así en FactoryTalk View Studio. Por lo tanto se requiere cambiar los puntos y coma por dos puntos (:) en el editor de tags antes de llevar a cabo la conversión.
2. Además, los guiones (-) en los nombres de tags no son compatibles con FactoryTalk View Studio. Por lo que se recomienda duplicar los tags y luego renombrar los tags sin el guion, o reemplazar el guión por un guión bajo (_).

Pasos a seguir para convertir la aplicación PanelBuilder.

1. Abrir FactoryTalk View Studio
2. En la pestaña *New*, escribir el nombre para la aplicación convertida.
3. Si la aplicación correrá en una terminal PanelView Plus Compact, marque la casilla de verificación; de lo contrario déjela desmarcada.
4. Especifique el idioma que fue usado por última vez para editar la aplicación. Éste será utilizado para la aplicación convertida.
5. Haga click en **Import**.
6. Siga los pasos del asistente de conversión.
7. Los archivos de la nueva aplicación son creados en \Documents and Settings\All Users\Shared Documents\RSView Enterprise\ME\HMI projects, con el nombre especificado anteriormente.

5. Cómo configurar la comunicación entre el controlador, la PC y la terminal PanelView Plus

De modo que la terminal PanelView sea capaz de comunicarse tanto con el controlador lógico programable (PLC) y a la vez con la PC es necesario configurar su comunicación. Primeramente se requiere configurar la comunicación en la terminal misma, para eso ir a:

- *Terminal Settings*
 - *Networks and Communications*
 - *Network Connections*
 - *Network Adaptors*

Luego asignar las direcciones de red, es decir *IP Address*, *Subnet Mask* y *Gateway* de ser necesario. Importante mencionar que todos los elementos deben estar dentro de la misma subred para su comunicación. Una vez terminado, reiniciar la terminal.

Una vez que los tres elementos se encuentren conectados a la red Ethernet, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Abrir el proyecto correspondiente con el software FactoryTalk View Studio.

2. En el explorador expandir la opción *RSLinx Enterprise* y hacer doble click en *Communication Setup*.
3. En *Device Shortcuts*, agregar el nombre para el *shortcut* correspondiente al PLC, éste debe coincidir con el nombre en las direcciones de Tags.
4. En la pestaña *Design* buscar el módulo del controlador en la lista desplegable de módulos del proyecto y dar click en *Apply*.
5. En la pestaña *Runtime*, dar click derecho en el driver Ethernet y seleccionar *Add device*, de la lista de *Ethernet/IP devices* seleccionar ENBT/A el cual corresponde al módulo Ethernet del PLC ControlLogix 5000.
6. Hacer click derecho en el backplane 1756 y seleccionar *Add device*, de la lista buscar el controlador correspondiente, para este caso el 1756-L61 Logix5561.
7. Con el controlador seleccionado, dar click en *Apply*.

6. Cómo descargar la aplicación al terminal PanelView Plus

Una vez finalizada la aplicación, corresponde descargarla a la pantalla, para ello seguir los siguientes pasos:

1. Del menú seleccionar *Tools*.
2. De la lista desplegable seleccionar *Transfer Utility*
3. En la pestaña *Download* seleccionar la aplicación a descargar.
4. Escribir el nombre para la aplicación actual o dejar el nombre por defecto.
5. Se recomienda agregar en la aplicación un botón para ir al modo de configuración de la pantalla.
6. Seleccionar la terminal de destino, en caso de existir varias.
7. Por último dar click en *Download*.

7. Cómo cambiar la imagen del protector de pantalla de la terminal PanelView Plus

Una imagen (Bitmap) puede ser desplegada cuando el protector de pantalla se activa. Esta imagen se mueve de forma aleatoria a través de la pantalla. Por defecto la terminal tiene una imagen llamada *ssfloat.bmp* la cual es la que usa el protector de pantalla.

El siguiente procedimiento describe cómo cambiar la imagen del protector de pantalla de las terminales: PanelView Plus 400 – 1500 con Windows CE.NET 4.1 y VersaView CE 700 – 1500 con Windows CE-NET 4.1.

Dar formato a la imagen

La imagen puede ser de cualquier tamaño y tan compleja como se quiera, sin embargo una imagen muy compleja usará más memoria. Además, una imagen con alta resolución podría no caber en la pantalla o no flotará (moverá) alrededor de la pantalla. Por lo tanto se recomienda que la imagen sea tan simple como sea posible y pequeña comparada al tamaño de la pantalla de la terminal.

Las resoluciones de algunas terminales son las siguientes:

PanelView+ / VersaView CE	Resolución
400 / 600	320 x 200
700 / 1000	640 x 480
1250	800 x 600
1500	1024 x 768

Cambiar la imagen por defecto

1. Crear un archivo llamado *autorun.bat* (Sugerencia: llame al archivo *autorun.txt* mientras lo edita). En el archivo coloque las tres líneas siguientes (en el lugar de "nuevaimagen.bmp" coloque el nombre de la nueva imagen)

```
copy \Storage Card2\nuevaimagen.bmp \Windows\ssfloat.bmp
copy \Storage Card2\nuevaimagen.bmp \Storage
Card\Windows\ssfloat.bmp
```



```
pause
```

Para transferir el archivo mediante una memoria USB, utilice el siguiente código:

```
copy \\"USB Storage "\nuevaimagen.bmp \Windows\ssfloat.bmp  
copy \\"USB Storage"\nuevaimagen.bmp \\"Storage  
Card"\Windows\ssfloat.bmp  
pause
```

2. Coloque el archivo *autorun.bat* en la memoria Compact Flash o USB e insértela en el puerto correspondiente. El archivo *autorun.bat* correrá automáticamente. Verifique que los archivos se copien correctamente observando el mensaje *Copied 1 file(s)*.

Restaurar la imagen por defecto de la terminal PanelView

De manera similar al procedimiento anterior, cree un archivo llamado *autorun.bat* y coloque en éste las siguientes tres líneas:

```
del \Windows\ssfloat.bmp  
del \\"Storage Card"\Windows\ssfloat.bmp  
pause
```

Coloque el archivo *autorun.bat* en una memoria Compact Flash o USB e insértela en el puerto correspondiente en la terminal PanelView.