



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN
PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO**

Trabajo de Titulación, Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Física y Electrónica

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la Información y Sistemas de Control

AUTOR: José Alberto Villalva Freire

TUTOR: Ing. Franklin Salazar Logroño Mg.

Ambato – Ecuador

agosto-2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación realizado por el señor José Alberto Villalva Freire, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto 2021

Ing. Franklin Salazar Logroño Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2021



.....
José Alberto Villalva Freire

C.C. 1804455515

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor José Alberto Villalva Freire, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, agosto 2021

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Pamela Castro Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Andrea Sánchez Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto 2021



.....
José Alberto Villalva Freire

C.C. 1804455515

AUTOR

DEDICATORIA:

El presente proyecto se lo dedico a mis padres y hermanos, por apoyarme de manera incondicional en todo momento durante la culminación de cada una de mis metas personales.

José Alberto Villalva Freire

AGRADECIMIENTO:

A CELEC E.P. por la apertura en la realización de este proyecto, al personal de Mantenimiento Electrónico de la Central Hidroeléctrica San Francisco por la predisposición para trabajar de manera conjunta para sacar adelante este trabajo.

José Alberto Villalva Freire

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	18
MARCO TEÓRICO	18
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
1.2 ANTECEDENTES.....	18
1.3 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	21
1.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO Y PROCESOS DE GENERACIÓN	21
1.4.1.1 Ubicación Geográfica	21
1.4.1.2 Capacidad Productiva	22
1.4.1.3 Principales obras Civiles.....	22
1.4.1.4 Equipo Eléctrico	24
1.4.1.5 Equipo Hidromecánico	24
1.4.1.6 Equipo Mecánico	25
1.4.1.7 Servicios Auxiliares	25
1.4.2 SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRALES DE GENERACIÓN.....	26
1.4.3 SISTEMA DE CONTROL	27
1.4.3.1 Sistema de Control Automático.....	27
1.4.3.2 Tipos de Sistemas de Control	27
1.4.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC.....	28
1.4.5 VARIADORES DE FRECUENCIA	30

1.4.6 SENSOR DE TEMPERATURA	31
1.4.7 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA HMI	32
1.4.7.1 Normativa ANSI/ISA-101.01-2015.....	33
1.4.7.2 Guía Ergonómica de Diseño de Interfaz de Supervisión (GEDIS)	35
1.4.8 REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	38
1.4.8.1 Ventajas de las Redes Industriales.....	38
1.4.8.2 Pirámide de Automatización (CIM)	39
1.4.8.3 Modelo OSI	40
1.4.8.4 Modos de Comunicación	40
1.4.8.5 Formas de organización de nodos.....	41
1.4.9 BUSES DE CAMPO.....	42
1.4.10 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.....	44
1.4.10.1 Normas Físicas.....	44
1.4.10.2 Protocolo de Comunicación MODBUS.....	47
1.5 OBJETIVOS	55
1.5.1 OBJETIVO GENERAL:	55
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	55
CAPÍTULO II	56
METODOLOGÍA	56
2.1 MATERIALES	56
2.2 MÉTODOS	56
2.2.1 Modalidad de la investigación	56
2.2.2 Recolección de información	57
2.2.3 Procesamiento y análisis de datos.....	57
2.2.4 Desarrollo del proyecto.....	58
CAPÍTULO III	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	60
3.2 MEJORAMIENTO DEL NSAE.....	60
3.3 DISEÑO DE LA RED MODBUS PARA VARIADORES DE FRECUENCIA Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	60
3.3.1 Descripción de sistema	62
3.4 SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN	63
3.4.1 Diagrama de Bloques.....	63
3.4.2 Diagrama de procesos de Instrumentación (P&ID).....	64

3.4.3 Planos Eléctricos y Electrónicos	66
3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA.....	67
3.5.1 Hardware del Sistema	67
3.5.1.1 Controlador Lógico Programable PLC	67
3.5.1.2 Pantalla Interfaz Hombre-Máquina	77
3.5.1.3 Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5.....	79
3.5.1.4 Controlador de Temperatura DELTA DTB4848.....	83
3.5.2 Cableado de entradas y salidas	84
3.5.3 Software del Sistema	88
3.6 MODOS DE COMUNICACIÓN	93
3.6.1 Modos de comunicación entre la HMI DELTA y PLC GE.....	93
3.6.2 Modo de comunicación entre la HMI DELTA, Variadores de Frecuencia ABB y Controlador de temperatura DTB4848	102
3.6.3 Asignación de direcciones a las variables de lectura en la HMI	107
3.7 DISEÑO DE LAS PANTALLA PARA LA HMI	108
3.8 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	122
CAPÍTULO IV	129
4.1 CONCLUSIONES	129
4.2 RECOMENDACIONES.....	130
BIBLIOGRAFIA	132
ANEXOS	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del Sistema de Enfriamiento	26
Tabla 2. Modelo OSI.....	40
Tabla 3. Comparación Buses de Campo	44
Tabla 4. Distribución de pines RS-232	45
Tabla 5. Diferencia entre RS-232 y RS-485	46
Tabla 6. Bloque de modelo de datos de Modbus	48
Tabla 7. Códigos de Función	49
Tabla 8. Códigos de Excepción Modbus	51
Tabla 9. Características Modbus	53
Tabla 10. Características Modbus TCP-IP	54
Tabla 11. Características de la Fuente IC200PWR002	68
Tabla 12. Especificaciones Técnicas CPU IC200CPUe05	69
Tabla 13. Especificaciones Técnicas Módulo de entradas digitales IC200MDL650	70
Tabla 14. Módulo de entradas digitales 1 (DI1)	71
Tabla 15. Módulo de entradas digitales 2 (DI2)	71
Tabla 16. Módulo de entradas digitales 3 (DI3)	72
Tabla 17. Módulo de entradas digitales 4 (DI4)	73
Tabla 18. Módulo de entradas digitales 5 (DI5)	74
Tabla 19. Especificaciones Técnicas del módulo de Salidas Digitales IC200MDL750	74
Tabla 20. Módulo de salidas digitales 1 (DO1)	75
Tabla 21. Especificaciones Técnicas del módulo de entradas analógicas IC200ALG260	76
Tabla 22. Módulo de entradas analógicas 1 (AI1)	77
Tabla 23. Especificaciones Técnicas pantalla Delta modelo DopW157B	79
Tabla 24. Especificaciones Técnicas del VARIADOR DE FRECUENCIA ABB ACS880-04-0610-5	80
Tabla 25. Adaptadores de Bus de Campo para controladores ABB	81
Tabla 26. Datos Técnicos Controlador de Temperatura DTB4848	83
Tabla 27. Terminales del Módulo RMBA-01	86
Tabla 28. Parámetros de configuración para comunicación RS-232	93
Tabla 29. Registros Modbus para datos de tipo Word	96

Tabla 30. Registros Modbus para datos de tipo Binario	96
Tabla 35. Parámetro de comunicación de los Variadores de Frecuencia.....	103
Tabla 36. Direccionamiento de parámetros de los Variadores de Frecuencia	104
Tabla 37. Mapeo de registros de los variadores de frecuencia.....	105
Tabla 38. Direcciones de los parámetros de los Variadores de Frecuencia	106
Tabla 39. Configuración de parámetros de comunicación del controlador de temperatura DTB4848.....	107
Tabla 40. Direccionamiento de los parámetros del controlador de temperatura.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica Central San Francisco.....	22
Figura 2. Casa de Máquinas Central Hidroeléctrica San Francisco	22
Figura 3. Descripción de la Central Hidroeléctrica San Francisco	23
Figura 4.- Diagrama general de un Sistema de Control	27
Figura 5.- Sistema de Control de Lazo Abierto	28
Figura 6.- Sistema de control de lazo cerrado	28
Figura 7.- PLC modular marca General Electric	29
Figura 8. Componentes elementales de un PLC	29
Figura 9. Variadores de Frecuencia	30
Figura 10.- HMI	33
Figura 11. Pirámide de Automatización	39
Figura 12. Ejemplo de red PROFIBUS.....	46
Figura 13. Relación Maestro Esclavo	47
Figura 14. Esquema general del Mejoramiento del NSE.....	61
Figura 15. Topología de la Red Modbus	62
Figura 16. Conexión RS-485 [29].....	63
Figura 17. Diagrama de Bloques	63
Figura 18. CPU GE VERSAMAX IC200CPUE05 [30].....	68
Figura 19. Pantalla Delta modelo DOPW157B	78
Figura 20. Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5.....	80
Figura 21. Controlador del Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5	81
Figura 22. Modulo adaptador Modbus RMBA-01	82
Figura 23. Modo de comunicación módulo RMBA-01	82
Figura 24. Controlador de temperatura DELTA DTB4848	83
Figura 25. Ubicación del sensor de temperatura Pt100	84
Figura 26. Esquema de un Bus RS-485	85
Figura 27. Asignación de terminales del módulo RMBA-01	85
Figura 28. Diagrama de conexión Sensor PT100	86
Figura 29. Diagrama de conexión DTB4848	87
Figura 30. Visualización parte trasera pantalla Delta DOPW-157B	87
Figura 31. Pines de conexión entre HMI y PLC	88
Figura 32. Pines de conexión entre HMI y Red Modbus.....	88

Figura 33. Software Proficy Machine Edition 9.00	89
Figura 34. Crear archivo en Proficy Machine Edition	89
Figura 35. Configuración de Hardware en Proficy Machine Edition	90
Figura 36. Puertos de comunicación del PLC GE IC200CPUE05	91
Figura 37. Software DOPSoft	91
Figura 38. Creación de archivos en DOPSoft.....	92
Figura 39. Selección de tipo de pantalla en DOPSoft.....	92
Figura 40. Configuración de parámetros de configuración de la pantalla DELTA ..	94
Figura 41. Configuración de los parámetros de comunicación del PLC	95
Figura 42. Configuración de los parámetros de comunicación del HMI para la Red Modbus.....	102
Figura 43. Asignación de variables en el HMI	108
Figura 44. Esquema general de distribución de las interfaces de la HMI.....	109
Figura 45. Pantalla principal del NSAE.....	110
Figura 46. Túnel de Construcción del NSAE	111
Figura 47. Tanque de Bombeo del NSAE	111
Figura 48. Desarenador del NSAE.....	112
Figura 49. Chimenea de Equilibrio Inferior del NSAE	113
Figura 50. Generadores de la Central San Francisco	113
Figura 51. Extractor central de aire del NSAE	114
Figura 52. Tabla de información de la Pantalla Principal.....	114
Figura 53. Diagrama Unifilar del NSAE	115
Figura 54. Tabla de información de la pantalla del Diagrama Unifilar	116
Figura 55. Estado de los variadores de frecuencia del NSAE	117
Figura 56. Entradas digitales del NSAE	118
Figura 57. Entradas y Salidas digitales del NSAE.....	119
Figura 58. Entradas analógicas del NSAE.....	120
Figura 59. Historial de Eventos del NSAE	121
Figura 60. Gráfica de estado de señales analógicas del NSAE.....	122
Figura 61. Montaje de la HMI en el tablero de control del NSAE	123
Figura 62. Carga del programa de DOPSoft al HMI	123
Figura 63. Mensaje de Error de comunicación entre el PLC y el HMI	124
Figura 64. Calibración de los equipos e instrumentos del NSAE.....	125
Figura 65. Pantalla principal del SCADA del NSAE	125

Figura 66. Contrastación de lectura de variables del Túnel de Construcción entre la HMI y el SCADA	126
Figura 67. Contrastación de lectura de variables del Desarenador entre la HMI y el SCADA	127
Figura 68. Diagrama Unifilar del NSAE desde el SCADA	127
Figura 69. Contrastación de lectura de variables del Diagrama Unifilar entre la HMI y el SCADA	128

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto se realiza el mejoramiento del Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento (NSAE), subsistema que forma parte fundamental en el proceso de generación de energía eléctrica que produce la Central Hidroeléctrica San Francisco, y cuya función es mantener la temperatura normal de las Unidades de Generación de la Central mediante el almacenamiento y distribución de agua de enfriamiento, con el uso de bombas que conducen este líquido a través de tuberías conectadas hacia los sistemas de enfriamiento de los generadores.

El sistema que fue instalado en el año 2012 no proporcionaba una interfaz de monitoreo local de las variables de proceso, por lo cual se vio la necesidad de instalar una pantalla HMI en el tablero de control del sistema, aumentando así su confiabilidad, permitiendo una visualización completa de los procesos a través de la monitorización del estado de los elementos que conforman el sistema: bombas, niveles de los tanques de almacenamiento, extractor central de aire, válvulas de flujo, presóstatos, medidas de temperatura, caudal, voltaje, diagrama unifilar del sistema, diagrama trifilar de los variadores de frecuencia, historial de eventos, estado de todas las variables del PLC, gráficas de estado de las variables analógicas. Con este mejoramiento ahora se puede contrastar el estado del sistema entre la nueva interfaz, el SCADA y la lectura en sitio de los equipos e instrumentos que lo conforman. Además, se realiza el diseño de una red Modbus que permite la adquisición de parámetros de los variadores de frecuencia desde la nueva interfaz, incluido un nuevo sensor de temperatura para el Tanque de Bombeo.

La metodología que se utiliza es teórico-práctico, ya que los diseños de interfaz y red están orientados a los requerimientos de la Central, proveyéndolos de una interfaz informativa, intuitiva y accesible, mejorando así la interacción humano-máquina entre los operadores y el sistema mediante el uso de redes de comunicación industrial.

Palabras Clave: Sistema de Enfriamiento, central hidroeléctrica, control y monitorización, HMI, modbus RTU

ABSTRACT

In this project, the improvement of the New Cooling Water System (NSAE) is carried out, a subsystem that is a fundamental part of the electric power generation process produced by the San Francisco Hydroelectric Plant, and whose function is to maintain normal temperatures. Generation Units of the Power Plant through the storage and distribution of cooling water, with the use of pumps that lead this liquid through pipes connected to the cooling systems of the generators.

The system that was installed in 2012 did not provide a local monitoring interface for the process variables, which is why it was necessary to install an HMI screen on the system control panel, thus increasing its reliability, allowing visualization complete process through monitoring the status of the elements that make up the system: pumps, storage tank levels, central air extractor, flow valves, pressure switches, temperature, flow, voltage measurements, single-line diagram of the system, three-wire diagram of frequency inverters, history of events, status of all PLC variables, status graphics of analog variables. With this improvement, it is now possible to contrast the status of the system between the new interface, the SCADA and the on-site reading of the equipment and instruments that comprise it. In addition, the design of a Modbus network is carried out that allows the acquisition of parameters of the frequency inverters from the new interface, including a new temperature sensor for the Pumping Tank.

The methodology used is theoretical-practical, since the interface and network designs are oriented to the requirements of the Central, providing them with an informative, intuitive and accessible interface, thus improving the human-machine interaction between the operators and the system. through the use of industrial communication networks.

Key Words: Cooling System, hydroelectric power plant, control and monitoring, HMI, modbus RTU

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO NSAE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”

1.2 ANTECEDENTES

En el proceso de investigación que se realizó para el presente proyecto de investigación se encontraron los siguientes antecedentes investigativos relacionados a los sistemas de control mediante interfaces gráficas desarrollados en centrales de generación eléctrica.

En el proyecto de titulación denominado “Sistema de control y monitorización para bombas de drenaje y vaciado de la Central Hidroeléctrica San Francisco” elaborado por William García en el año 2017, se implementa una interfaz HMI que permite monitorizar el nivel de agua de los tanques de drenaje, la información detallada de bombas, así como de sus variadores de frecuencia, diagramas trifilares de fuerza de las bombas, los niveles de llenado y vaciado de los tanques, además de un histórico de los eventos que acontecen en el proceso que realiza este sistema. También realiza un control para poder comandar de forma automática o local las señales de accionamiento de las bombas. [1]

“Sistema de control y supervisión de las compuertas del vertedero 1 de la represa Agoyán por medio de un panel HMI local”, elaborado en el año 2012 por Marcelo Gavilánez es un proyecto en el cual se desarrolla un sistema de control y monitorización de las compuertas de uno de los vertederos de la represa Agoyán mediante un HMI local, logrando una regulación fina y media del nivel del agua de la represa. El proyecto se lo realiza mediante la lógica de programación entre un PLC y

un HMI que permita la operación del sistema. Se puede realizar una contrastación de los tiempos de respuesta entre el control remoto de la central y la pantalla HMI. [2]

Otro antecedente investigativo es el proyecto de titulación denominado “Diseño e implementación de un Sistema SCADA para control del proceso de un módulo didáctico de montaje FESTO utilizando PLC y una pantalla HMI, caso práctico: en el laboratorio de automatización de la FIE” elaborado en el año 2011 por José Montalvo y William Morocho, el cual permite que los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Riobamba puedan simular líneas de producción industrial de manera directa mediante el uso de un PLC Siemens S7-1200 y un HMI Simatic, realizado con programación Grafcet, y utilizando protocolos de comunicación Ethernet Industrial para conectar la interfaz HMI. [3]

La investigación realizada en 2014 por José Quezada, Ernesto García, Jorge Bautista y Víctor Quezada bajo el nombre “Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable”, enfocan el diseño de interfaces gráficas de usuarios (GUI) para la interacción con el operario, para ello la interfaz hombre máquina HMI se interconecta con un controlador lógico programable PLC, contemplando reglas de control y monitorización del sistema y reglas de protección del proceso en diagramas Ladder, permitiendo la visualización y manipulación de datos en tiempo real del sistema mediante el uso de tecnologías usadas para automatización de procesos continuos. [4]

Para entender el funcionamiento de un sistema de enfriamiento de una central de generación eléctrica Franklin Hurtado desarrolló en el año 2006 el proyecto de titulación denominado “Manual de operaciones del Sistema de Agua de Enfriamiento en la Central Hidroeléctrica Agoyán”, en el cual mediante una exhaustiva recolección de información se elabora un manual que contiene las descripciones del funcionamiento y operación del Sistema de Enfriamiento de la central Agoyán. [5]

1.3 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

La generación de energía eléctrica es uno de los pilares fundamentales dentro de los sectores estratégicos que generan ingresos en el sector público del Ecuador, tener provisión de electricidad de manera continua y producida con recursos renovables

aporta al desarrollo del país, así como también al mejoramiento de la calidad de vida de la población. [6]

El país cuenta con varias empresas encargadas de la gestión y desarrollo de actividades que brindan el servicio de este tipo de energía, una de ellas la COORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR CELEC EP, y dentro de ésta se encuentra la Unidad de Negocios HIGROAGOYÁN, la cual se encarga de la producción y administración de las centrales San Francisco, Agoyán y Pucará. [7]

El manejo y operación exitoso de una Central de Generación Hidroeléctrica de gran magnitud como lo son las centrales a cargo de Hidroagoyán requieren infraestructura y sistemas que permitan el funcionamiento eficiente de la planta, así como de personal altamente calificado capaz de solucionar de manera óptima las necesidades que se presenten en el proceso de generación eléctrica.

En este proceso se utilizan sistemas auxiliares que sirven para controlar el correcto funcionamiento de las centrales, uno de ellos es el Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento NSAE de las unidades de generación de la Central San Francisco, implementado en el año 2012 por la empresa ALSTOM en conjunto con ODEBRECH para sustituir el antiguo Sistema de Agua de Enfriamiento SAE, el cual se encarga de regular las altas temperaturas causadas por el movimiento rotacional de las turbinas de dichas unidades, y debe ser controlado de manera apropiada para evitar el incremento no deseado de temperatura de las piezas que se encuentran en movimiento, evitando el daño y deterioro de las mismas. [8]

El monitoreo de las variables de control de este proceso se lo hacía únicamente de manera remota desde el SCADA, ubicado en la sala de control de la Casa de Máquinas; ya que durante del montaje inicial de este sistema no se incluyó ningún dispositivo que permita la visualización y contrastación de información desde el sitio donde se ubica el tablero de control principal y la sala de control. Esto ocasionaba falta de interacción entre los operadores y los equipos e instrumentos, provocando inconvenientes en tiempos de respuesta y desconocimiento de los eventos causantes de fallos en el Sistema de Agua de Enfriamiento.

El uso de una Interfaz Humano Máquina (HMI) facilita el monitoreo local del proceso, permitiendo así el mejoramiento del sistema en el sitio donde se encuentra el tablero

de control, obteniendo información de las variables de control y proceso que están programadas en el PLC en conjunto con el resto de equipos interconectados.

Con la implementación de la pantalla HMI ahora se puede visualizar las variables de proceso del sistema, alertas de alarmas, gráficas, eventos y anomalías que puede presentar el proceso de enfriamiento de las turbinas, se contribuye al mejoramiento del sistema de control y monitorización del Sistema de Agua de Enfriamiento NSAE de la Central Hidroeléctrica San Francisco, beneficiando de manera directa a los operadores del sistema.

El presente trabajo de investigación se basa en el desarrollo teórico práctico de la programación y diseño de una interfaz HMI que permite visualizar las variables de entrada análogas y digitales, que indican el estado de los sensores de nivel y temperatura de los tanques de bombeo y drenaje, el estado de las bombas de enfriamiento y extractor centrífugo de aire, diagramas eléctricos del sistema de alimentación, histórico de eventos del proceso de enfriamiento del sistema, además se adicionará una nueva señal de entrada para un sensor de temperatura ubicado en el tanque de bombeo, y diseño de una red Modbus que permite la adquisición y posterior visualización en el HMI de las señales de los variadores de frecuencia de las bombas de enfriamiento y bombas sumergibles, mediante el uso de hardware y software proporcionado por la empresa.

1.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO Y PROCESOS DE GENERACIÓN

1.4.1.1 Ubicación Geográfica

La central San Francisco fue construida a principios del año 2004 y comenzó su generación comercial en el año 2007. Se encuentra en el cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua, y su ubicación está entre la cuenca media y baja del río Pastaza (Figura 1). Conjuntamente con las centrales de generación hidroeléctricas Agoyán y Pucará forman parte de la Unidad de Negocios Hidroagoyán de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP. [9]



Figura 1. Ubicación geográfica Central San Francisco [9]

1.4.1.2 Capacidad Productiva

La central San Francisco (Figura 2) cuenta con dos unidades generadoras, y luego de haber sido reparada en su totalidad a mediados del año 2012 la central aporta 212MW al Sistema Nacional Interconectado cuando esta opera a su máxima capacidad productiva. En este año el aporte al Sistema Nacional Interconectado de potencia efectiva representó el 4, 18% del total de producción de energía a nivel nacional, tomando en cuenta todos los tipos de generación existentes en el Ecuador.



Figura 2. Casa de Máquinas Central Hidroeléctrica San Francisco [9]

1.4.1.3 Principales obras Civiles

Desde el túnel de conducción, las aguas turbinadas por la Central Hidroeléctrica Agoyán que anteriormente se descargaban al río Pastaza son desviadas hacia una cámara de interconexión, por este túnel el agua circula a lo largo de 11099,28 m aproximadamente hasta la casa de máquinas subterránea (Figura 3).

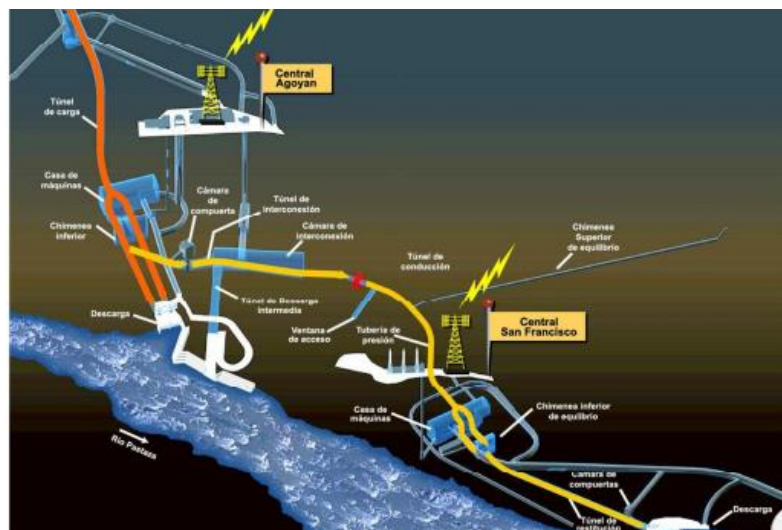


Figura 3. Descripción de la Central Hidroeléctrica San Francisco [10]

Túnel de interconexión. - Interconecta la descarga de las aguas turbinadas de la Central Agoyán.

Cámara de interconexiones y túnel de descarga inmediata. - Conecta el túnel de carga de la Central San Francisco con los túneles de descarga de la Central Agoyán.

Túnel de Conducción. - Conecta la Cámara de interconexión con el codo vertical superior de la Tubería de presión.

Chimenea Superior de equilibrio. - Empieza en el Túnel de Conducción antes de llegar al tramo horizontal superior de la tubería de presión.

Tubería de presión. – Se compone de tres tramos: tramo Horizontal Superior, tramo Vertical, tramo Horizontal Inferior.

Casa de Máquinas. - Se compone de 4 niveles:

- Nivel 1: Unidades de generación alimentadas por el Bifurcador, válvulas mariposa, turbinas y las descarga a los túneles de succión.
- Nivel 2: Subestación, transformadores principales y turbinas.
- Nivel 3: Generadores, sistema de frenado de unidades y transformadores auxiliares.
- Nivel 4: Túnel de Acceso Principal y Túnel de Cables, sistemas de control y oficinas de la Central.

Chimenea Inferior de equilibrio. – Absorbe las variaciones de caudal de las operaciones salida y entrada de las unidades generadoras.

Túneles de acceso casa de máquinas. – Permite el acceso a la Caverna de la Casa de Máquinas durante el montaje de los equipos de electromecánicos, la construcción y operación de la Central.

Túnel de drenaje/escape. – Permite drenar todo el macizo rocoso alrededor de la casa de máquinas. Conecta el Túnel de drenaje con el Edificio de Control en caso de emergencia.

Túnel de restitución y cámara de compuertas. – Es la estructura por donde se descarga el agua turbinada hacia el río Pastaza, y la cámara de compuertas permite el cierre de este túnel para proteger a las unidades de generación en caso de crecidas del río.

Túnel y pozo de cables. – El túnel de cables conecta el pozo de cables con la salida de cables de alta tensión de la Subestación. [10]

1.4.1.4 Equipo Eléctrico

A continuación, se enlista los equipos eléctricos que conforman la central.

- Dos generadores sincrónicos trifásicos de 13.8 kV
- Dos sistemas trifásicos de barras de generador
- Dos transformadores trifásicos 13,8/230 kV.
- Una subestación de 230KV.
- Sistema de telecomunicaciones, telecontrol, necesarios para mantenimiento y operación de la Central.
- Equipos de instrumentación de supervisión, mando, señalización, protección y cableado eléctrico para equipos de control y fuerza.
- Sistema de conexión a tierra de neutros y cubiertas de equipos. [11]

1.4.1.5 Equipo Hidromecánico

A continuación, se enlista los equipos hidromecánicos que conforman la central.

- Compuertas y rejillas.
- Blindaje tubería de presión y bifurcador.

- Sistemas eléctricos y oleo hidráulicos de control de compuertas. [11]

1.4.1.6 Equipo Mecánico

A continuación, se enlista los equipos mecánicos que conforman la central.

- Puente grúa y monorraíles de la subestación y casa de máquinas.
- Dos válvulas mariposa.
- Dos turbinas tipo Francis de eje vertical de 115 MW de potencia cada una.
- Dos reguladores de velocidad tipo PID.
- Sistemas auxiliares para el enfriamiento, drenaje, sellos, agua potable, aire acondicionado, ventilación, sistema para incendio y aire comprimido. [11]

1.4.1.7 Servicios Auxiliares

Sistema de aceite de presión, utilizado para el proceso de regulación de velocidad y accionamiento de la válvula mariposa.

Sistema de aire de regulación, garantiza la presión normal en el tanque aire-aceite del sistema de aceite a presión.

Aire de frenado y servicios, utilizado para el accionamiento de los gatos de frenado de las unidades de generación y para abastecer las líneas de aire comprimido para mantenimiento.

Sistemas de aire de interruptores de unidad, para los interruptores de salida de cada generador y de subestación.

Sistema de engrase centralizado, para los equipos mecánicos.

Agua para los sellos de turbinas, garantiza el enfriamiento y el óptimo sellado del eje de la turbina, evitando el ingreso de agua turbinada al interior de la casa de máquinas.

Agua de enfriamiento, se compone de un sistema de captación de agua del túnel de carga, tuberías, filtros, válvulas reductoras de presión y direccionales, tanque desarenador. Garantiza la operación normal de las unidades de generación, así como el enfriamiento de las partes rotativas de las máquinas y generador principal. [8]

1.4.2 SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRALES DE GENERACIÓN

El objetivo de un sistema de enfriamiento es disminuir la temperatura de los equipos y maquinarias de un sistema sometidos a cambios constantes que producen aumento de calor en ellos. Las maneras en que se puede controlar este tipo de temperatura son de manera directa, cuando la máquina y el medio entran en contacto y de manera indirecta cuando no lo hacen. [5]

El medio por el cual actúa el Sistema de Enfriamiento de la central San Francisco es el agua, que en conjunto con una serie de componentes forman un sistema centralizado, adaptado a la capacidad de la planta de tratamiento, las características del agua, y la fuente de abasto, además de las condiciones del terreno donde está instalado el sistema. [5]

Entre los tipos de sistemas de enfriamiento se mencionan los siguientes:

- Sin recirculación, se toma el agua de ríos, lagos y su propósito es disminuir la temperatura del sistema con el uso de grandes caudales.
- Con recirculación en circuito abierto, recircula el agua de enfriamiento y se disminuye la temperatura usando el aire atmosférico, para lo cual se utiliza torres de enfriamiento.
- Con recirculación en circuito cerrado, se utiliza un intercambiador de calor para para extraer el calor absorbido. [5]

Componentes del sistema de enfriamiento

Tuberías y Tubos -Tuberías metálicas -Tuberías no metálicas	Medidores de Flujo -Medidores Mecánicos -Medidores Eléctricos	Filtros de agua -Filtros de gravedad -Filtros de presión
Accesorio para tuberías -Bridas -Disco ciego -Codo -Te -Reducción -Válvulas	Compresores -Compresores dinámicos -Compresores de desplazamiento -Compresores de diafragma	Bomba -Bomba centrífuga
	Medidores de presión -Nanómetros -Presostatos	

Tabla 1.Componentes del Sistema de Enfriamiento [10]

La Tabla 1 muestra todos los componentes que forman parte del sistema de enfriamiento.

1.4.3 SISTEMA DE CONTROL

Es el conjunto de dispositivos y componentes que permiten cumplir un conjunto de operaciones de acuerdo a parámetros específicos de funcionamiento requeridos.

1.4.3.1 Sistema de Control Automático

Es un sistema que realiza operaciones en conjunto con dispositivos y componentes de manera automática siguiendo los parámetros para los cuales fue diseñado. [12]

Elementos de un sistema de control automático

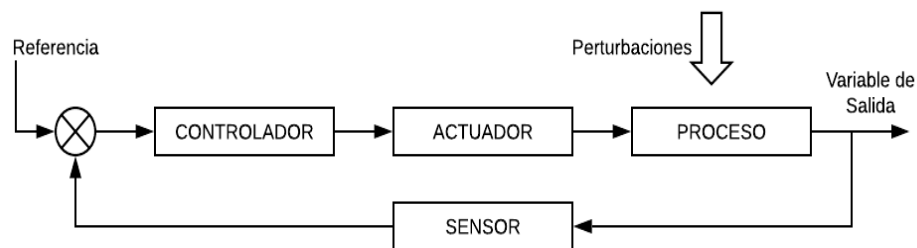


Figura 4.- Diagrama general de un Sistema de Control [12]

La Figura 4 muestra los elementos que componen un sistema de control automático, que son:

- **Controlador.** – Compara el valor deseado con el valor medido y calcula el error para poder corregirlo. Su objetivo es mantener la variable controlada igual a la señal de referencia.
- **Actuador.** – Regula la variable de control y ejecuta la acción de control.
- **Proceso.** – Se refiere al equipo o sistema que va a ser automatizado.
- **Sensor.** – Realiza la medición de una señal de salida de manera periódica. [12]

1.4.3.2 Tipos de Sistemas de Control

a) Sistemas de control de lazo abierto

En este tipo de sistema que se muestra en la Figura 5, la señal de salida no afecta la acción de control, no existe retroalimentación ya que la señal de salida no se compara con la señal de entrada y puede causar perturbaciones.

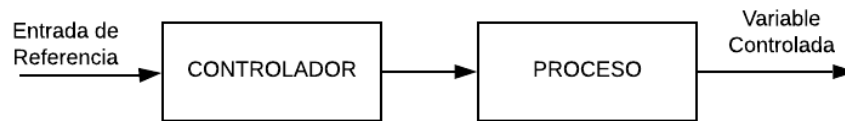


Figura 6.- Sistema de Control de Lazo Abierto [12]

b) Sistemas de control de lazo cerrado

En este tipo de sistema que se muestra en la Figura 6, la señal de salida se compara con la señal de referencia de la cual se obtiene una señal de error, esta señal de error sirve para retroalimentar el sistema y así reducir la posibilidad de una perturbación y disminuir el error de la señal de salida deseada. [12]

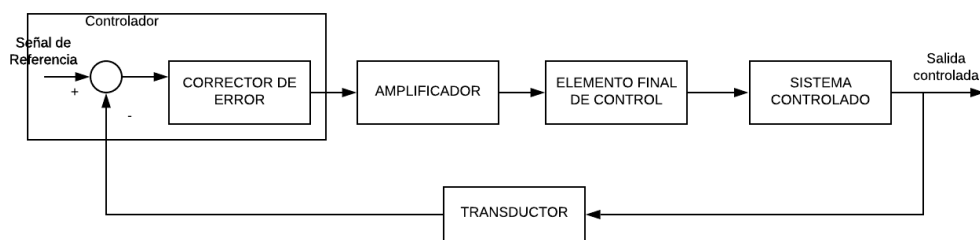


Figura 7.- Sistema de control de lazo cerrado [12]

1.4.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC

Es un dispositivo electrónico diseñado para el control automático de cualquier tipo automatización industrial, puede ser programado para que cumpla los requisitos que el operario requiera, ya que su diseño está basado en un microprocesador programable que ejecuta operación de forma cíclica. Además, provee una conexión hacia la red, lo cual permite que sea manejado desde un ordenador y esté conectado a otros dispositivos al mismo tiempo (Figura 7). [2]



Figura 7.- PLC modular marca General Electric [13]

Las señales que ingresan a un PLC provienen de elementos de instrumentación como transmisores o transductores, que convierten una variable de magnitud física en una señal eléctrica estandarizada que el PLC pueda leer. De igual manera las salidas del PLC son señales eléctricas estandarizadas que se envían hacia elementos finales de control como relés, contactores, motores, etc. Los PLC poseen al menos un puerto de comunicación, utilizado para conectarse con dispositivos externos, terminales de interfaz gráfica, módems, módulos de comunicación remotos o para su propia programación. Dependiendo la forma de conexión de los componentes del PLC existen compactos (componentes agrupados como uno solo) y modulares (módulos independientes). A continuación, la Figura 8 muestra un esquema general de los componentes de un PLC. [13]

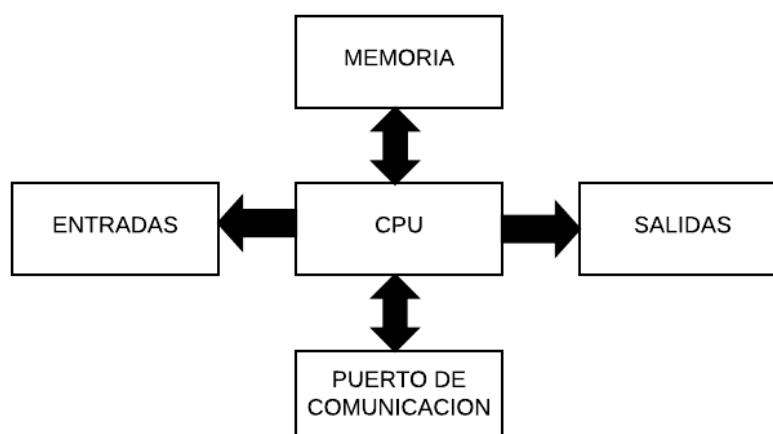


Figura 8. Componentes elementales de un PLC [15]

1.4.5 VARIADORES DE FRECUENCIA

Los motores eléctricos cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de una Central de Generación Eléctrica, utilizados principalmente para la activación de ventiladores y bombas de agua que se utilizan para drenar y conducir agua hacia varios de los procesos de generación. Estos motores utilizan solamente la cantidad de energía necesaria para generar el torque y velocidad que se exige acorde a cada proceso en el cual son utilizados. [16]

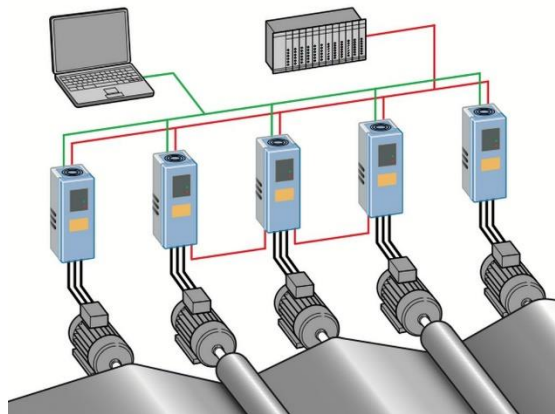


Figura 9. Variadores de Frecuencia [16]

Por definición un variador de frecuencia (Figura 9) es un regulador industrial que se encuentra entre la fuente de alimentación y el motor. Para su funcionamiento la energía pasa por el variador, donde regula la energía antes que ésta llegue al motor, ajusta la tensión y frecuencia en función de los requerimientos de aplicación de cada proceso. [18]

Características:

- Reduce entre un 20 y 70% el consumo energético de un motor.
- Controla la cantidad de energía suministrada en el motor regulando así su velocidad.
- Reduce la potencia de bombas y ventiladores mediante el control de velocidad del motor, lo cual permite que no funcione a una velocidad mayor a la requerida.
- Permite el control inteligente de los motores, lo cual se traduce en eficiencia financiera, operativa, energética, medioambiental.

- Alarga la vida útil de los equipos, evita paradas bruscas que producen el deterioro de equipos.
- Al variador de frecuencia también se lo conoce como: convertidor de velocidad variable, convertidor de frecuencia de corriente alterna, variador de velocidad o simplemente variador o convertidor. [14]

1.4.6 SENSOR DE TEMPERATURA

En el mercado existen muchos sensores que permiten obtener magnitudes de temperatura y su elección se la hace dependiendo ciertos parámetros como: precisión, acceso al medio, rango de temperaturas, velocidad de respuesta, tipo de magnitud (física, eléctrica) y la rentabilidad. Algunos de estos sensores son:

- **Sensor de temperatura por resistencia (RTD)**
Aprovecha el cambio de resistencia eléctrica de un material cuando varía su temperatura. Entre estos se encuentran los termistores y los dispositivos metálicos (RTD). Un RTD trabaja con el cambio de resistencia de un metal, su resistencia aumenta de forma más o menos lineal con la temperatura. Un termistor utiliza la variación de resistencia en un semiconductor de cerámica, cuando la temperatura aumenta la resistencia cae de forma no lineal. [19]
- **Termopar**
Consta de un par de alambres fabricados de diferentes materiales y unidos al final de uno de sus extremos que producen una diferencia de potencial cuando existe variación de temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la diferencia de potencial se incrementa en el orden de los milivoltios. [19]
- **Infrarrojos sin contacto**
Son utilizados para realizar mediciones de alta precisión en materiales y objetos en movimiento o difícil acceso. Mide temperaturas en rangos de -20°C a 2000°C . Tiene una salida de 4-20mA compatible con varios dispositivos de instrumentación sin necesidad de acondicionamientos adicionales. [15]

1.4.7 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA HMI

Es un dispositivo que permite la interacción entre el operador y la máquina de manera gráfica e intuitiva mediante el uso de protocolos de comunicación. Una HMI puede incorporar una base de datos que contenga datos de diagnóstico y manejo de información de las actividades que se desarrollan en un proceso. En la actualidad la mayoría de fabricantes de PLCs ofrecen la posibilidad de integrar sistemas HMI/SCADA usando protocolos de comunicación abiertos, lo cual facilita la configuración de las interfaces sin la necesidad de personal especializado en cada marca. [1]

Una HMI permite a los operadores supervisar el funcionamiento adecuado de los procesos automatizados de las industrias de manera gráfica, permitiendo así la toma de decisiones y acciones oportunas sobre los procesos sin la necesidad de encontrarse en el sitio donde se desarrollan los eventos. Proporciona datos acerca de sucesos de forma confiable y en tiempo real desde cualquier parte del sistema hacia el operador y viceversa. Entre los parámetros de variables físicas que se pueden visualizar se encuentran: temperatura, presión, caudal, nivel, voltaje, corriente, potencia, y además de visualizar el de los elementos de control final como: motores, bobas, relés, contactores, electroválvulas, interruptores. Con estos datos obtenidos la HMI tiene la capacidad de proporcionar al operador los siguientes recursos:

- Mostrar de forma gráfica la marcha o paro de los elementos de control de un proceso, ya sea que estos estados se los ejecuten de manera manual por parte de los operadores o de forma automática mediante controladores lógicos.
- Activar desde la HMI elementos de control final, modificar valores y rangos, activar alarmas, disparo o bloqueos de procesos.
- Generar un historial de eventos de la ocurrencia de alarmas para determinar la hora y posible causa del problema de origen, para que los operadores tomen las acciones correctivas del caso.
- Generar un historial de eventos de la ocurrencia de alarmas para determinar la hora y posible causa del problema de origen, para que los operadores tomen las acciones correctivas del caso.

- Advertir sobre eventos anormales en los procesos mediante alarmas visuales o auditivas para que los operadores tomen acciones preventivas evitando así el paro brusco de los procesos.
- Restringir el acceso de usuarios a la HMI, dependiendo su jerarquía o nivel de autorización, limitando la intervención de personas al sistema. [13]

La Figura 10 muestra un esquema general de conexión entre un PLC, un variador de frecuencia y una HMI.



Figura 10.- HMI
Elaborado por: el autor.

1.4.7.1 Normativa ANSI/ISA-101.01-2015

ISA101 establece estándares, informes técnicos y prácticas relacionadas con las HMI, aplicadas en industrias y manufactura. Normalmente el desarrollo de estas pantallas las realiza personal ajeno los procesos de operación en planta, lo cual provoca que personal de operación afronten inconvenientes en su manejo por la gran cantidad de información contenida en estas (gráficos, históricos, tendencias, variables digitales y analógicas de entrada y salida, alarmas, etc.), provocando mala operación, respuesta tardía en presencia de eventos anormales de los procesos y un sistema de control poco confiable. [16]

Características de ANSI/ISA-101.01-2015

- Proporciona una guía para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de una HMI, permitiendo conseguir un sistema de control de procesos más seguro y eficiente.

- Ayuda al operador a detectar, diagnosticar y actuar de manera adecuada antes situaciones anormales presentes en un sistema de control.

Etapas para el desarrollo de una HMI

a) Diseño

- **Diseño de la consola.** – **Configuración** del entorno del operador de acuerdo al número de operadores, jerarquía de visualización y condiciones ambientales locales (temperatura, iluminación, sonido).
- **Diseño de los sistemas de la HMI.** – Selección de plataformas de control, sistemas operativos y herramientas utilizan los sistemas como son: diseño de red, usuarios y seguridades.
- Requerimientos funcionales de usuarios.

b) Revisión

- **Revisiones primarias.** – Muestra el contenido básico de la HMI para sus respectivas correcciones y refinamiento de la información contenida.
- **Revisiones finales.** - Muestra toda la información e interacciones completas.

c) Implementación

En esta etapa se realiza la instalación y configuración del HMI junto con el sistema de control, pruebas de comunicación y respuesta de los elementos integrados en la pantalla.

d) Operación.

En esta etapa se considera que la HMI está en servicio, además del mantenimiento de la pantalla (correcciones del sistema, modificaciones del proceso).

Ingeniería de factores humanos (HFE) y Ergonómica

La aplicación de estos principios en el desarrollo de las HMI ayuda a su diseño efectivo siguiendo las siguientes recomendaciones.

- Minimizar el impacto de tareas secundarias en los procesos, el diseño debe enfocar los eventos principales del sistema de control a los operadores.
- El diseño debe basarse en los requerimientos y necesidades de los operadores.
- Las funciones programadas en la pantalla deben ser intuitivas para el operador.
- Las pantallas deben proporcionar información apropiada para su manejo.
- Los formatos de la información deben ajustarse a las necesidades de los operadores.
- Los respaldos de información deben estar disponibles para el operador.
- La terminología presentada en las pantallas debe ser estandarizada entre los operadores y el sistema.

1.4.7.2 Guía Ergonómica de Diseño de Interfaz de Supervisión (GEDIS)

GEDIS es una guía para el diseño de pantallas de sistemas de control y supervisión industrial, utiliza niveles en donde se van concretados el diseño de los diferentes tipos de pantallas y contenidos mediante los siguientes indicadores:

- **Arquitectura.** - Organiza las pantallas de manera jerárquica mediante mapas que relacionen las pantallas con sus funciones. [21]
- **Distribución de pantallas.** – Determina la cantidad de pantallas que se van a desarrollar, además se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos en el diseño de cada pantalla:
 - La información más importante debe ir arriba.
 - La información miscelánea debe ir abajo a la izquierda.
 - La información y funciones críticas deben estar ubicada en un lugar fijo de la pantalla.
 - La mejor posición para las imágenes es a la izquierda del campo visual.
 - Colocar información efectiva. [21]
- **Navegación.** – La navegación en las pantallas debe ser intuitiva y fácil de usar con el uso de: menús y submenús, barras de íconos gráficos, barras de botones, links con gráficos de proceso, links con hipertexto, lista desplegable y teclas de función. Para ello se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:
 - La navegación no debe obstaculizar las acciones del operador en situaciones emergentes.

- Se recomienda facilitar el desplazamiento a pantallas siguientes o anteriores.
 - Determinar zonas donde se coloquen los menús.
 - Mostrar ayuda textual en los íconos colocados en las pantallas.
 - Evitar que el texto que muestra funciones sea extenso.
 - Proporcionar al operador un mapa general de navegación. [21]
- **Uso del color.** – El uso de colores es primordial para el desarrollo de una excelente interfaz, su uso debe ser conservador, consistente y convencional, tomando en cuenta los siguientes estándares:
 - Color que represente el estado de los equipos del sistema (paro, marcha, manual, fallo).
 - Color de materiales y fluidos (agua, aires, gases).
 - Color de alarmas (mensajes, advertencias, críticas).
 - Color del fondo de pantalla
 - Color de texto general (etiquetas, títulos).
 - Color de parámetros de proceso (presión, nivel, temperatura, caudal). [21]
- **Información textual.** – Para presentar la información a través de texto se toma en cuenta las características de texto como: fuentes, tamaño, alineación, espaciamiento, abreviaturas y acrónimos. Para esto se toma en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - No utilizar más de tres fuentes.
 - No usar más de tres tamaños de la misma fuente.
 - De preferencia usar fuente Sans Serif.
 - No usar mayúsculas en todo el texto.
 - El tamaño de la fuente debe ser visible para el operador.
 - Espaciar la información crítica. [21]
- **Estado de los equipos y eventos de proceso.** – Se define el estándar gráfico de íconos y símbolos que representan los estados de los equipos del sistema: bombas, ventiladores, válvulas, etc., además de estados digitales que necesiten

ser visualizados en la interfaz. Para ello se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para símbolos e íconos de la HMI:

- Evitar realismos y muchos detalles innecesarios.
 - Deben ser de un tamaño visible, simples y cerrados.
 - Se recomienda que sean enmarcados por límites con borde oscuro.
 - No deben ser ambiguos. [21]
-
- **Información y valores de procesos.** – Los gráficos o mímicos de proceso es una modalidad en las cual se recomienda mostrar los valores analógicos en una HMI, esto permite al operador informar sobre el estado de la planta, mediante valores directos o valores procesados del sistema. [21]
-
- **Gráficos de tendencias y Tablas.** – Son un medio por el cual se agrupan variables, creando esquemas informativos para el usuario. Para ello se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Utilizar diferentes colores y tipos de línea para cada dato.
 - No usar más de nueve valores en una sola gráfica.
 - Mostrar el máximo y mínimo de cada variable.
 - Visualizar valores numéricos de los datos vs tiempo.
 - Colocar rangos de valores adecuados para cada operación.
 - Incrementar escalas de abajo hacia arriba y de izquierda a derecha. [21]
-
- **Comandos e ingresos de datos.** – Una de las funciones que pueden tener los operadores en las HMI es ingresar datos y parámetros de procesos, ejecutar comandos, seleccionar opciones y reconocer alarmas con el objetivo que los sistemas se comporten de acuerdo a una serie de requerimientos necesarios en los procesos. Se puede clasificar los comandos usados por los operadores de la siguiente manera:
 - Confirmación de alarmas.
 - Comando de arranque/paro.
 - Selección simple.
 - Selección múltiple. [21]

- **Alarmas.** – Las alarmas constituye uno de los principales elementos de una HMI, ya que informa anomalías en el correcto funcionamiento de los procesos del sistema. La diferencia entre una alarma y un mensaje mostrado en pantalla es que el mensaje solamente es de carácter informativo y la alarma requiere la intervención de un operador que gestione una solución a cualquier falla presentada en el proceso. Se clasifican de acuerdo a su prioridad en:
 - Críticas: amenazan la seguridad de los equipos que intervienen en el proceso y por lo tanto la seguridad de todo el sistema.
 - Advertencias: afecta el proceso óptimo del sistema y si el evento que origina esta advertencia no es corregido, puede llegar a convertirse en un estado crítico para el funcionamiento del proceso.
 - Mensajes: representan una amenaza en los procesos del sistema la información debe ser transmitida al operador. [17]

1.4.8 REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

En la actualidad uno de los pilares fundamentales de la industria moderna es la comunicación de datos entre diversos sistemas, procesos e instalaciones, que permiten mejorar las exigencias requeridas en los procesos productivos de las industrias, mejorando así la competitividad de estas. [22]

En un sistema de comunicaciones industrial cuanto más cerca del proceso se encuentren los operadores, se vuelve más exigente y las características que determinan la aplicación de las redes de comunicación son: el volumen de datos, la velocidad de transmisión y la velocidad de respuesta. [18]

1.4.8.1 Ventajas de las Redes Industriales

- Posibilidad de intercambiar información de manera sencilla entre sistemas que controlan diferentes procesos.
- Monitoreo continuo de procesos interconectados entre sí.
- Simplifica la adquisición de información de los procesos aumentando la eficiencia de dichos sistemas.

- Diversidad de formas de comunicación dependiendo las necesidades propias del sistema.

1.4.8.2 Pirámide de Automatización (CIM)

La integración de las comunicaciones en una red industrial está representada en una pirámide de cinco niveles, cada uno de los cuales puede tener uno o más subsistemas capaces de comunicarse tanto con los niveles superiores e inferiores, así como con el resto de subsistemas que contenga cada nivel. Esto niveles se pueden apreciar de mejor manera en la Figura 11:



Figura 11. Pirámide de Automatización [23]

- Nivel de sensado, o nivel de instrumentación, formado por los elementos físicos de medida y mando (sensores y actuadores) presentes en la industria.
- Nivel de control, aquí se sitúan los elementos que gestionan los sensores y actuadores como autómatas programables, PLCs, PIDs, etc.
- Nivel de supervisión, visualiza los procesos que se llevan a cabo dentro de un sistema a través de entornos SCADA (Sistema de supervisión, control y adquisición de datos).
- Nivel de planificación, se encuentran los MES (sistema de ejecución de la producción).
- Nivel de gestión, gestión integral de la empresa (ERP), comunicaciones entre plantas, relación entre clientes y proveedores. [19]

1.4.8.3 Modelo OSI

OSI o modelo de referencia para la interconexión de Sistemas Abiertos es una estructura modular de siete capas que describe la forma como se da la transmisión de información dentro de un sistema, y también entre varios sistemas de una red.

MODELO OSI				
Nivel	Nombre	Función	Objetivo	
7	Aplicación	Procesos de red a aplicación	Intercambio de información. Telnet, SMTP, FTH, HTTP	Aplicación
6	Presentación	Representación de datos	Lenguaje del equipo para transmitir y recibir	
5	Sesión	Comunicación entre hosts	Coordinación y fiabilidad de la transmisión	
4	Transporte	Conexiones de extremo a extremo	Transmisión segura. TCP, UDP	Transporte de Datos
3	Red	Direccionamiento y mejor ruta	Comunicaciones entre redes. IP, ARP	
2	Enlace	Acceso a medios	Control de errores	
1	Física	Transmisión binaria	Tipo de cable	

Tabla 2. Modelo OSI

Para las comunicaciones industriales de acuerdo a la Tabla 2, las capas más usadas son:

- **Capa Física.** - Define las especificaciones eléctricas que permiten mantener y desactivar el enlace físico entre los sistemas de red tales como niveles de voltaje y velocidad de transmisión de datos.
- **Capa de Enlace.** - Gestiona el envío de los paquetes de datos
- **Capa de Aplicación.** – El usuario y la aplicación interactúan de forma directa con la aplicación del software. [20]

1.4.8.4 Modos de Comunicación

Según su enlace:

Modo de comunicación Simplex

Simplex o unidireccional, es una transmisión única entre un emisor y un receptor en una dirección. Al tratarse de un sistema de lazo abierto no se recibe información del elemento al que se envía información.

Modo de comunicación Half Dúplex

Es una transmisión donde los datos circulan en una sola dirección a la vez entre dos puntos en las dos direcciones. Si los equipos situados en los puntos transmiten al mismo tiempo se origina una colisión, la cual puede afectar las tareas de automatización de un sistema.

Modo de comunicación Dúplex

Los datos circulan de forma bidireccional, es decir el intercambio de información se la hace en ambas direcciones simultáneamente, gracias a un canal para transmitir y otro para recibir. [20]

1.4.8.5 Formas de organización de nodos

De acuerdo a la forma de gestionar la información en relación a otros nodos, estas formas pueden ser:

Maestro-Esclavo

En las comunicaciones es común establecer una jerarquía en donde uno de los equipos que intervienen tiene el control de la comunicación temporal o permanente. El maestro tiene el control para escribir o leer sobre el esclavo de la red que se controla, el esclavo recibe la información enviada por el maestro y ejecuta las ordenes que éste le asigna.

Los esclavos se clasifican en Activos: equipos con un PLC que recibe órdenes y ejecutan su programa propio; y Pasivos: no ejecutan ningún programa, realizan las funciones de entrada/salida del autómeta Maestro. [24]

Cliente-Servidor

El Cliente es aquel equipo que solicita servicios a una estación, y la estación que proporciona dichos servicios se denomina Servidor. Un esclavo de la red puede ser un Servidor y una estación puede ser un Cliente-Servidor. [24]

Productor-Consumidor

Todos los nodos de una red pueden acceder al mismo tiempo a un dispositivo para leer sus datos sin importar el número de solicitantes. Utiliza el concepto de broadcast (para todos) emitiendo un mensaje global a la red cuando se requiera. Los nodos consumidores determinan si son destinatarios del mensaje cuando reciben la información. [20]

1.4.9 BUSES DE CAMPO

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información a través de una sola línea de comunicación que interconecta los elementos de campo y los equipos de control, sustituyendo las conexiones punto a punto de bucles de corriente de 4-20mA, simplificando de manera significativa la instalación y operación de elementos y equipos industriales utilizados en los procesos de automatización.

Mediante los buses de campo se incrementa la velocidad para transportar información, facilita la administración de los elementos de la red y da flexibilidad en la distribución del control. [25]

Dependiendo las prestaciones y campo de aplicación que los sistemas de automatización requieran, a los buses de campo se los clasifica en los siguientes grupos:

Buses de alta velocidad y baja funcionalidad

Comprenden la capa física y de enlace del modelo OSI, es decir estos buses están diseñados para integrar señales físicas de dispositivos simples como relés, actuadores simples, finales de carrera, utilizados en aplicaciones de tiempo real y agrupados en una zona específica de alguno de los procesos de automatización. Entre ellos: CAN, SDS, ASI. [25]

Buses de alta velocidad y funcionalidad media

Estos buses tienen la capacidad de controlar dispositivos complejos de campo, de bajo costo y de manera eficiente. Algunos de estos poseen funciones estándar para

diferentes dispositivos, lo cual facilita la interoperabilidad de dispositivos de distintas marcas. Algunos de estos son: DeviceNet, LONWorks, DIN, InterBus-S. [25]

Buses de altas prestaciones

Soportan comunicaciones a nivel de toda la pirámide CIM, en diversos tipos de aplicaciones. Algunos de estos buses, aunque se basan en buses de alta velocidad, presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características de seguridad y funcionalidad que se les exige Como ejemplo: PROFIBUS, FIP, Foundation Fieldbus. [21]

Comparación entre buses de campo

La Tabla 3 muestra una comparación de los diferentes Buses de Campo que pueden ser aplicados para comunicaciones industriales.

Nombre	Topología	Soporte	Nº dispositivos	Rango de transmisión (BPS)	Distancia máx. (km)	Comunicación
Fieldbus HSE	Estrella	Par trenzado, fibra óptica	240/segm 32.768 sist	100M	0.1 segm 2 fibra	Simple/Multi Maestro
Fieldbus H1	Estrella o bus	Par trenzado, fibra óptica	240/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Simple/Multi Maestro
Profibus DP	Línea, estrella, anillo	Par trenzado, fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Maestro/Esclavo o Punto a punto
Profibus PA	Línea, estrella, anillo	Par trenzado, fibra óptica	14400/segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Maestro/Esclavo o Punto a punto
Profibus FMS		Par trenzado, fibra óptica	127/segm	500K		Maestro/Esclavo o Punto a punto
Interbus-S	Segmentado	Par trenzado, fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.6 total	Maestro/Esclavo
DeviceNet	Troncal/puntual/bifurcación	Par trenzado Fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/rep	Maestro/Esclavo o Multi Maestro Punto a punto
ASI	Bus, anillo, árbol, estrella	Par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Maestro/Esclavo

Ethernet Industrial	Bus, estrella, Malla	Coaxial Par trenzado Fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Maestro/Esclavo o Punto a punto
Modbus RTU	Línea, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado Coaxial Radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Maestro/Esclavo
Hart		Par trenzado	15 p/segm	1.2K	0.1 segm 24fubra	Maestro/Esclavo

Tabla 3. Comparación Buses de Campo [22]

Características de los buses de campo

- Respuesta rápida a mensajes cortos.
- Reducción de cableado.
- Crea un red mantenible y ampliable por el personal técnico.
- Se puede usar una red conectada al sistema de comunicaciones principal de la industria.
- Se pueden conectar diferentes equipos de distintas marcas.
- Permite realiza una calibración de manera remota.

1.4.10 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

Se puede definir a un protocolo de comunicaciones como un conjunto de reglas y permisos que permiten el intercambio de datos entre elementos que conforman un sistema.

El uso de buses de campo simplifica la instalación y operación de máquinas y equipos industriales utilizados en un sistema de automatización. Permitiendo conectar dispositivos entre sí, como PLC, sensores, transductores, actuadores y equipos de monitorización. [18]

1.4.10.1 Normas Físicas

Dentro del modelo OSI en el entorno industrial, las conexiones físicas se las realiza mediante interfaces serie normalizadas por la EIA. Son estándares recomendados que

determinan como debe ser la señal eléctrica y las características del soporte de comunicación. Los estándares más utilizados en comunicaciones industriales son:

- RS-232
- RS-422
- RS-485

a) RS-232

Se utiliza para la conexión punto a punto de diferentes equipos y componentes, como PLC, variadores de frecuencia, reguladores, etc.

Para el estándar RS-232 de 9 contactos (DB-9) se presenta la Tabla 4, de asignación de patillas del conector para este tipo de comunicación relacionando la señal y función que cada uno realiza.

Contacto	Señal	Función	Tipo de Señal
1	CD	Detector de portadora	Líneas de módem
2	RD	Recepción de datos	Datos
3	TD	Transmisión de datos	Datos
4	DTR	Terminal de datos preparado	Control de flujo
5	SG	Tierra de señal	Tierra común
6	DSR	Línea de datos preparado	Control de flujo
7	RTS	Petición de flujo	Control de flujo
8	CTS	Preparado para transmitir	Control de flujo
9	RI	Indicador de señal de llamada	Línea de módem

Tabla 4. Distribución de pines RS-232

Tipo de transmisión

El tipo de transmisión que utiliza RS-232 es simple, utiliza un único hilo por el cual se obtiene una señal que contiene el dato transmitido, se emplea para distancias cortas y bajas velocidades de transmisión. [18]

b) RS-485

Es una versión mejorada del estándar RS-422 y se utiliza para interfaces multipunto, permitiendo la comunicación de hasta 32 equipos de emisión-recepción en un bus de datos común. Utiliza transmisión de tipo diferencial Half-Duplex a través de dos hilos, el dato se obtiene de la diferencia de nivel de señal entre los dos hilos que componen

el canal de comunicación. Cuando una transmisión es Half-Duplex cada equipo puede enviar y recibir, pero no se lo puede hacer de forma simultánea. [22]

Las velocidades de transmisión que usa la norma RS-485 es de hasta 10Mbps en una distancia máxima de 1200 metros.

Una de las principales aplicaciones que tiene esta norma para transmisión de datos es PROFIBUS (Figura 12).

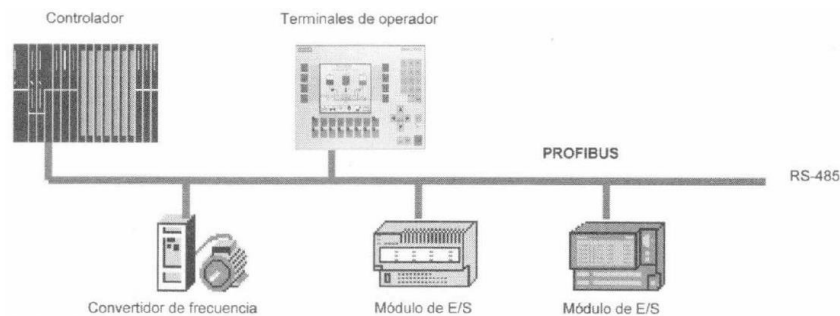


Figura 12. Ejemplo de red PROFIBUS [18]

Diferencia entre RS-232 y norma RS-485

A continuación, se presenta Tabla 5, de resumen de las características de los estándares RS-232 y RS-485.

Parámetros	RS-232	RS-485
Modo de trabajo	Diferencial	Diferencial
Número de emisores y receptores	1 emisor 32 receptores	32 emisores 32 receptores
Longitud máxima del cable	1200 metros	1200 metros
Velocidad de transmisión máxima	Hasta 10 Mbps	Hasta 10 Mbps
Número de líneas	Hasta 4 (datos y control por software)	4 (datos y control por software)
Tipo de cable	Par trenzado (2 pares)	Par trenzado (1 pares)
Topología que admiten	Multipunto (punto a punto desde principal a secundarias) Anillo	Punto a punto Multipunto Anillo Bus
Simultaneidad del transmisor	Full duplex	Half duplex
Tensión de salida del emisor	+/-5v sin cargar +/-15v cargado	+/-1.5v sin cargar +/-6v cargado

Tabla 5. Diferencia entre RS-232 y RS-485 [18]

1.4.10.2 Protocolo de Comunicación MODBUS

Es un protocolo industrial que permite la comunicación entre dispositivos de los sistemas de las industrias. Utiliza una relación Maestro-Eslavo con una comunicación que se realiza en pares, es decir para que exista la comunicación un dispositivo debe iniciar una solicitud para obtener una respuesta, y quien inicia esta cadena de interacción es el Maestro. A menudo el Esclavo es un controlador lógico programable (PLC), sensores, variadores de frecuencia, etc., y el Maestro es un sistema SCADA o una interfaz hombre máquina (HMI). Si el controlador origina el mensaje, lo hace como Maestro y espera una respuesta de tipo Esclavo. Si un controlador recibe una petición de otro, éste reconstruye la respuesta como si fuese un Esclavo (Figura 13). [23]

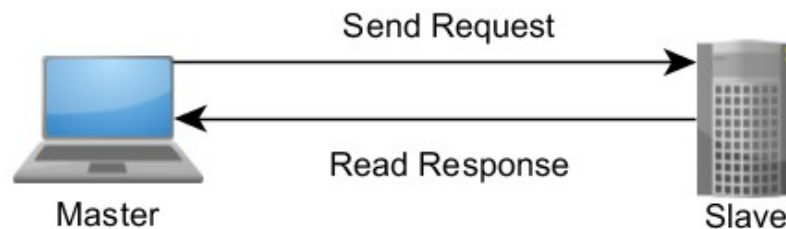


Figura 13. Relación Maestro Esclavo [23]

En un principio Modbus se implementa como un protocolo a nivel de aplicación que permite transmitir datos por una capa serial, en la actualidad se ha expandido para realizar implementaciones a través de protocolo serial UDP y TCP/IP.

Acceso al Medio

La estructura lógica del protocolo de comunicación Modbus es de tipo Maestro-Eslavo con acceso al medio controlado por el Maestro, con un número máximo de 63 esclavos. Esta arquitectura Maestro-Eslavo brinda al maestro un control total sobre el flujo de información que se transmite a través de la red, al ser este quien realiza la petición o solicitud de información al esclavo. [26]

El intercambio de datos puede ser: a) punto a punto, donde el maestro realiza una petición al esclavo, y el esclavo emite una respuesta. b) mensajes difundidos, donde la comunicación es unidireccional del maestro hacia todos los esclavos, pero no existe respuesta de los esclavos. En la conexión punto a punto entre controladores, cualquiera

de estos puede iniciar la comunicación con los demás controladores, de esta manera un controlador puede funcionar como Esclavo y Maestro en comunicaciones independientes. [26]

Diálogo

En el proceso de comunicación de una red Modbus, el protocolo determina la forma como cada esclavo reconoce las direcciones, mensajes y acciones que debe llevar a cabo. De igual forma se define el protocolo para las acciones de respuesta.

El protocolo asigna el formato del mensaje del Maestro mediante la dirección, código de acciones a realizar, control de errores y datos adicionales. La respuesta se construye con el mismo formato mediante campos de confirmación de la acción solicitada, control de errores y datos adicionales. De existir algún error se devuelve un mensaje que especifica el tipo de error. [26]

El mensaje de interrogación que envía el maestro lleva un mensaje que indica al esclavo el tipo de acción que debe realizar. Los bytes de información deben contener toda la información esencial que permita al esclavo realizar las acciones propuestas. [26]

Acceso y Modelo de Datos

Modbus utiliza cuatro rangos de direcciones o banco de datos donde almacena los datos disponibles: bobinas, entradas discretas, registros de entrada y registros de retención, mostrados en la Tabla 6. Estos rangos de direcciones definen el tipo y los derechos de acceso de los datos contenidos. El maestro solicita acceso a estos datos mediante diversos códigos de función y los esclavos los alojan de manera local en cada dispositivo.

Bloque de Memoria	de	Tipo de Datos	Acceso de Esclavo	Acceso de Maestro
Bobinas		Booleano	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Entradas Discretas		Booleano	Lectura/Escritura	Solo Lectura
Registro de Entradas	de	Palabra sin signo	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura
Registro de Retención	de	Palabra sin signo	Lectura/Escritura	Solo Lectura

Tabla 6. Bloque de modelo de datos de Modbus [23]

Códigos de Operación o Función

La Tabla 7 contiene algunos de los códigos de función Modbus para dispositivos que cumplen con las especificaciones estándar. (controladores MODICON):

Código	Descripción
1	Leer bobinas
2	Leer entradas discretas
3	Leer múltiples registros
4	Leer registros de entradas
5	Escribir a bobina individual
6	Escribir a registro individual
7	Leer Estado de Excepción
15	Escribir a múltiples bobinas
16	Escribir múltiples registros
20	Leer registro de archivo
21	Escribir a registro de archivo
22	Escribir a registro de máscara
23	Leer/Escribir múltiples registros
24	Leer FIFO

Tabla 7. Códigos de Función [23]

- Función 1 y 2 (1 Leer bobinas – 2 Leer entradas discretas)

Se utiliza para leer las entradas digitales (2 Leer entradas discretas) y salidas digitales (1 Leer bobinas). Esto ocurre cuando el maestro solicita el número de bits que requiere leer a partir de una dirección determinada.

- Función 3 y 4 (3 Leer múltiples registros – 4 Leer registros de entrada)

Se utiliza para leer las entradas analógicas (4 Leer registros de entrada) y salidas analógicas (3 Leer múltiples registros). El maestro indica la dirección que va a leer a partir de una dirección base y número de palabras, y el esclavo muestra el número de bytes de retorno en la respuesta seguido de estos valores. Los registros se direccionan a partir de la dirección 0. (ej.: el registro @40001 se direcciona 0).

- Función 5 (Escribir a bobina individual)

Se utiliza para modificar el estado de una salida digital del esclavo. Mediante este comando se puede ordenar la ejecución o activación de un mando de alguna de las variables internas. El maestro indica la dirección a modificar seguido de 0x00 para

desactivar la bobina y 0xFF para activarla. Mientras que el esclavo responde con una trama similar que indica la dirección modificada y el nuevo valor establecido.

- Función 6 (Escribir a registro individual)

Se utiliza para escribir en las salidas analógicas del esclavo, actúa sobre la zona de memoria de las salidas analógicas. El maestro indica la dirección del valor que se desea modificar y su nueva magnitud, a continuación el esclavo responde con la dirección del dato modificado y el nuevo dato asignado.

- Función 7 (Leer estado de excepción)

Realiza la lectura rápida de un byte fijo de un esclavo que generalmente informa el estado del equipo.

- Función 15 (Escribir a múltiples bobinas)

Modifica simultáneamente varios bits de salidas digitales en el esclavo, activándolas o desactivándolas según convenga.

- Función 16 (Escribir a múltiples registros)

Realiza la escritura en un grupo de salidas analógicas, se especifica la dirección a partir de la dirección que se desea actualizar valores, la lista de valores que se va a asignar a los nuevos registros y el número de valores.

- Función 20 (Leer registro de archivo)

Devuelve el valor de los registros Extended Memory (@6xxxx), como direcciones que estén activadas o desactivadas.

- Función 21 (Escribir a registro de archivo)

Permite modificar el contenido de los registros Extended Memory. [24]

Códigos de Excepción (Códigos de Error Modbus)

Asocian un error en el proceso de datos por diferentes causas detectadas en el protocolo Modbus, estos códigos de error se los puede visualizar en la Tabla 8. Se contemplan

varios aspectos en la comunicación asociados a los códigos de error Modbus como son:

- El maestro envía información, es esclavo la recibe correctamente, pero por alguna razón no puede completar la petición.
- El esclavo detecta en error CRC (comprobación de redundancia cíclica) en la petición del maestro.
- El esclavo no recibe la trama de enviada por el maestro, por lo tanto, no existe respuesta. [25]

Código de excepción	Nombre	Descripción
0x01	Función ilegal	El código de función no es una acción autorizada para el esclavo.
0x02	Dirección de datos ilegal	La dirección de datos recibida por el esclavo no es autorizada por el mismo.
0x03	Valores de datos ilegal	El valor de datos no es permitido en el esclavo.
0x04	Fallo de dispositivo esclavo	Error interno cuando el esclavo intenta responder peticiones del maestro.
0x05	Acuse de recibo	El esclavo tarda mucho tiempo en procesar la solicitud que emite el maestro.
0x06	Dispositivo Esclavo ocupado	El esclavo no está disponible por lo tanto el maestro debe volver a enviar la solicitud cuando este se encuentre disponible.
0x07	Acuse negativo	El esclavo no puede procesar la solicitud enviada por el maestro.
0x08	Error de paridad en la memoria	El esclavo detecta un error de paridad.
0x0A	Ruta a la puerta de enlace no disponible	La puerta de enlace está mal configurada.
0x0B	El dispositivo de puerta de enlace deseado no responde	No existe esclavo en la red

Tabla 8. Códigos de Excepción Modbus [25]

Modos de transmisión

Existen dos modos de trabajo los cuales pertenecen únicamente a las redes tipo Modbus, mediante los cuales se define los contenidos de los campos del mensaje y la forma de encapsular los datos. Para que exista una comunicación, los parámetros del modo de transmisión (paridad, velocidad, etc.) deben ser los mismos en todos los componentes de la red Modbus. [24]

En los dos modos el mensaje se coloca dentro de la trama que es enviada en un lugar específico, proporcionando a los receptores la información necesaria para localizar la cabecera, determinar el final de mensaje y determina el destinatario, por lo cual los mensajes parciales son detectados como errores de transmisión. [24]

Los controladores pueden configurarse para los siguientes modos de transmisión:

MODBUS ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

- Cada 8 bits de un mensaje son enviados como dos caracteres ASCII.
- Codificación Hexadecimal (0...9, A...F).
- Permite tiempos muertos de hasta un segundo entre caracteres sin provocar un error.
- Los equipos conectados escanean la red buscando los dos puntos. Cuando recibe el mensaje se decodifica la dirección para saber si son los destinatarios del mensaje.
- Los mensajes comienzan con “:” (ASCII 3ª, hexadecimal) y terminan con CRLF (ASCII 0D y 0A hexadecimal).

Cada byte contiene:

- 1 start bit
- 8 bits de datos
- 1 bit de paridad
- 1 stop bit
- Campo de verificación de error
- Verificación de Redundancia longitudinal

MODBUS RTU (Remote Terminal Unit)

- Cada 8 bits de un mensaje son enviados con dos caracteres hexadecimales de 4 bits.
- Utiliza codificación binaria de 8 bits, hexadecimal (0...9, A...F).
- Utiliza dos caracteres hexadecimales por cada byte de mensaje.
- Tiene mayor densidad de caracteres que ASCII, lo cual aumenta la tasa de transmisión manteniendo la velocidad.

- Los mensajes comienzan a transmitirse después de un silencio de al menos 3.5 caracteres y a continuación sigue la dirección del dispositivo.
- Los equipos conectados escanean la red a la espera de un silencio, para continuar con la decodificación de la dirección, a continuación, existe un intervalo similar que indica el fin del mensaje, lo cual permite asegurarse que un mensaje se transmita de forma continua para no generar errores de transmisión.

Las direcciones válidas en estos modos de transmisión van desde 0 a 247. A los esclavos se les asignan direcciones desde 1 a 247. [20]

A continuación, en la Tabla 9, se muestra un resumen de las características de Modbus RTU/ASCII.

Protocolo	Modbus RTU/ASCII
Topología	bus, estrella, árbol
Medio	RS-232, RS-485, RS-422
Elementos	RTU/ASCII: 250 nodos por segmento.
Distancia	RTU/ASCII: 350 m
Comunicación	Maestro/Esclavo
Velocidad	RTU/ASCII: 300 b/s-38.4 kb/s
Paridad	Par, impar, ninguna
Bits de parada	Modbus ASCII: ASCII '0'...'9', 'A'...'F' Modbus RTU: Binario 0...255
Comprobación de errores	Modbus ASCII: LRC (Longitudinal Redundancy Check) Modbus RTU: CRC (Cyclic Redundancy Check)

Tabla 9. Características Modbus

Modbus TCP/IP

Es una variante del protocolo Modbus que se lo puede utilizar sobre la capa de transporte TCP/IP y su desarrollo fue con la finalidad de utilizarlo en redes Ethernet. Su rendimiento depende de los procesadores de las interfaces de comunicación y del diseño y tipo de red Ethernet.

Algunas de las ventajas de esta variante de Modbus son:

- Realizar mantenimiento remoto de equipos de automatización en las industrias.
- Control remoto desde fuera de la planta donde se encuentran instalados los equipos.

- Permite gestionar sistemas distribuidos geográficamente mediante el uso de tecnologías de Internet.

Características:

La Tabla 10 contiene algunas de las características más relevantes de Modbus.

Tipo de red	Ethernet TCP/IP
Topología	Bus, estrella, árbol
Medio	Cobre, fibra óptica, inalámbrica
Distancia	TCP/IP: 100 m entre switches
Velocidad de datos	10 a 1000 Mbits
Estaciones	Casi ilimitadas
Funciones de Red	Cliente/Servidor basada en tecnología Ethernet y protocolos TCP/UDP/IP

Tabla 10.Características Modbus TCP-IP

Ventajas y desventajas de Modbus

a) Ventajas

- Su uso es abierto y disponible para la mayoría de fabricantes.
- Fácil integración de instalaciones industriales para personal con conocimiento en redes de comunicación.
- Permite hacer enlaces de datos entre el nivel 2 y3 en la pirámide de automatización.
- Deja de lado algunas restricciones en el manejo de datos de las diferentes marcas.

b) Desventajas

- Uso limitado como bus de dispositivos, no permite comunicaciones no solicitadas, ya que utiliza una jerarquía Maestro-Esclavo.
- Tiene un máximo de 254 nodos para conexión de dispositivos.
- Es necesario pruebas de funcionamiento en lugares con mucho ruido, ya que la transmisión de información se la hace únicamente mediante dos hilos.
- Se requiere alimentación independiente para el funcionamiento de los dispositivos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL:

Mejorar el sistema de control y monitorización del Sistema de Agua de Enfriamiento NSAE de la central Hidroeléctrica San Francisco.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Analizar el sistema de monitorización existente y plantear una mejora para el Sistema de Agua de Enfriamiento NSAE.
- ✓ Diseñar un sistema de monitoreo de temperatura para los tanques de bombeo del sistema.
- ✓ Diseñar una red Modbus para la adquisición de datos de los variadores de frecuencia de las bombas de enfriamiento del sistema.
- ✓ Diseñar una interfaz HMI para el control y monitorización del sistema.
- ✓ Implementar una interfaz HMI para el control y monitorización del sistema.
- ✓ Realizar las pruebas de validación del sistema implementado.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

Para el diseño e implementación del presente proyecto de investigación se requiere información de la Central San Francisco, manuales, planos, fichas técnicas, hojas de datos los equipos que intervienen en el Sistema de Agua de Enfriamiento, además de artículos, revistas, libros, tesis y estudios relacionados al diseño de interfaces visuales (HMI) y modos de comunicación en procesos industriales. Se requiere también tener acceso a las instalaciones donde se encuentra el tablero de control del sistema, acceso a las instalaciones que conforman el proceso y también a la sala de control donde se realiza la monitorización del sistema a través del SCADA.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Modalidad de la investigación

Al realizar la investigación de forma directa en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio, la modalidad que utiliza el presente trabajo de investigación es la Investigación Aplicada.

Se utiliza Investigación Documental para la indagación, interpretación y presentación de datos e información sobre la programación de sistemas de control y adquisición de datos mediante Interfaces Gráficas y protocolos de Comunicación Industriales; Investigación de Campo para el desarrollo de un proceso sistemático que permita recolectar información directa del estado actual del sistema que se va a controlar; Investigación Experimental para el diseño de la Interfaz Gráfica, tipo de comunicación entre dispositivos e implementación del HMI que puedan ser aplicados al Sistema de Agua de Enfriamiento de la Central San Francisco.

2.2.2 Recolección de información

La Información para el estudio, aplicación y dimensionamiento de equipos y materiales se obtiene mediante lectura de las salidas y entradas del PLC que controla el sistema, lectura de las variables a través del SCADA, planos eléctricos del actual sistema e información recolectada del personal que labora en el sitio. También se obtiene información mediante fundamentación bibliográfica relacionada a protocolos de comunicación industrial, programación y control de interfaces gráficas disponibles en los repositorios de la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato, tesis de grado, papers, manuales de equipos disponibles en las bases de datos de CELEC EP, páginas web, folletos, libros, revistas científicas.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos se realiza mediante una clasificación de la información obtenida de los parámetros de funcionamiento del Sistema de Agua de Enfriamiento, presentando una descripción ordenada de los entornos a desarrollarse mediante observaciones en planta. Se realizará un análisis crítico de los datos obtenidos durante la recolección de datos, considerando los siguientes lineamientos:

- Obtener parámetros técnicos de funcionamiento de los equipos e instrumentos que permiten el control y monitorización del sistema mediante manuales y hojas de datos de las marcas de equipos instalados para su actual funcionamiento. Esto se lo podrá realizar con la ayuda del tutor empresarial, el cual pondrá a disposición toda la información necesaria del sistema completo para dar facilidad al desarrollo del presente proyecto.
- Analizar la información que permita realizar una clasificación de equipos e instrumentos por su estructura física y lógica que permita concatenar equipos de diferentes marcas con el uso de protocolos universales de comunicación industrial mediante una investigación de compatibilidad que permita la adquisición y envío de datos de manera bidireccional en tiempo real.

2.2.4 Desarrollo del proyecto

El proceso para el mejoramiento del Sistema de Agua de Enfriamiento será desarrollado de acuerdo a la siguiente organización de actividades.

- Recopilación de información sobre el estado actual del sistema.
- Análisis del funcionamiento del sistema.
- Identificación del sistema eléctrico y electrónico del sistema.
- Obtención de datos de la lógica de programación del PLC del actual sistema.
- Investigación de la Interfaz Gráfica (HMI) que se va a implementar.
- Investigación de protocolos de comunicación entre la HMI y el PLC, y entre la HMI y los variadores de frecuencia.
- Diseño del sistema monitoreo de temperatura para los tanques de bombeo del sistema.
- Diseño de la red Modbus para los variadores de frecuencia de las bombas de enfriamiento del sistema.
- Diseño de la HMI.
- Programación de la HMI.
- Pruebas operativas del HMI para comprobar el correcto funcionamiento de los protocolos de comunicación utilizados.
- Instalación de la fuente de alimentación para la HMI en el tablero de control.
- Instalación de la HMI en el tablero de control y pruebas operativas.
- Corrección de los planos eléctricos que contemplan las modificaciones realizadas.
- Levantamiento de información de la lógica de control y las pruebas de validación del sistema implementado.
- Elaboración del reporte final de la información adquirida y funcionamiento del sistema después de realizado el mejoramiento.
- Análisis de resultados y conclusiones obtenidas en el desarrollo de este

proyecto.

- Elaboración de informe final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Mediante el desarrollo de la interfaz de esta pantalla se mejora el sistema de monitoreo del control de los procesos de manera local, con una presentación visual clara y dinámica de los procesos a controlar permitiendo una mejor comprensión de los operadores hacia dichos procesos.

3.2 MEJORAMIENTO DEL NSAE

El mejoramiento del Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento se lo puede observar en el esquema mostrado en la Figura 14, en cual consiste en tres partes:

- La primera es el desarrollo de la red Modbus para variadores de frecuencia, aquí se configura dispositivos seriales (FC-1, FC-2, FC-11, FC-12, FC-3, FC4) mediante módulos de comunicación Modbus RTU propios de los variadores para que los datos puedan ser monitoreados a través de la HMI.
- La segunda parte es el diseño y configuración de la pantalla HMI para la visualización del control y monitoreo de los valores de proceso de la red Modbus de los variadores de frecuencia y el PLC GE.
- La tercera parte es el diseño del control de temperatura mediante un sensor RTD para el monitoreo de la temperatura del tanque de bombeo, el acondicionamiento se lo realiza mediante un controlador de temperatura que será incluido en la red Modbus de los variadores de frecuencia, este nuevo parámetro también será visualizado en la interfaz HMI.

3.3 DISEÑO DE LA RED MODBUS PARA VARIADORES DE FRECUENCIA Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA

La primera parte del mejoramiento del NSAE comprende el diseño de una red mediante protocolo Modbus para los variadores de frecuencia que permita el

seguimiento, control y vigilancia permanente del funcionamiento de los motores de las bombas de enfriamiento y bombas sumergibles ubicados en el Tanque de Bombeo y Chimenea de Equilibrio Inferior respectivamente. El monitoreo de la red de variadores de frecuencia se utiliza para conocer el comportamiento de estos motores a través de una interfaz HMI, usando el concepto Maestro- Esclavo, característico del protocolo Modbus.

La característica principal de este protocolo es que trabaja mediante registros que se los puede configurar dependiendo el dispositivo que se va a controlar o la utilidad que se requiera en el proceso. Los datos obtenidos van a ser registro de lectura o escritura proporcionados por los variadores y que van a ser mostrador en la HMI.

En la Figura 14, se muestra el diagrama esquemático del proceso, en el que se puede observar que la norma que se utiliza para la conexión entre los variadores de frecuencia y la HMI es la norma RS-485, la cual puede procesar datos a velocidades de 19200 baudios con hasta 247 dispositivos conectados. A esta red también se le incluye el controlador de temperatura del sensor Pt100.

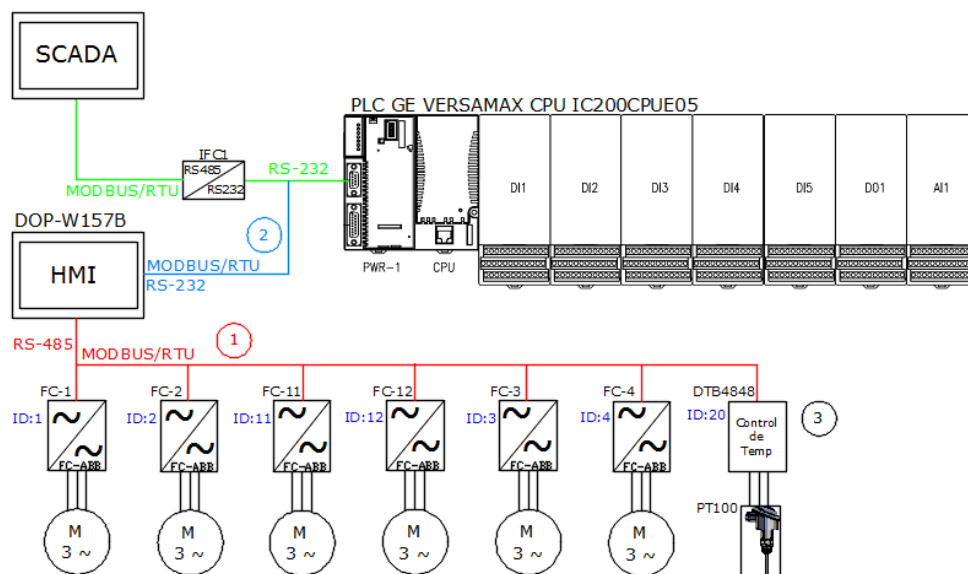


Figura 14. Esquema general del Mejoramiento del NSAE

Elaborado por: el autor.

En el desarrollo de la red será la configuración de los dispositivos esclavos (FC1, FC2, FC11, FC12, FC3, FC4 y controlador DTB4848) para que mediante el maestro (HMI Delta) se puedan monitorear los datos requeridos. A continuación, se configura el otro

esclavo (PLC GE) con conexión independiente a la de los variadores de frecuencia para adquirir de igual manera la información de los procesos del Sistema de Enfriamiento.

Lista de elementos para el mejoramiento del NSE

Por requerimiento de la Central se utilizan los equipos listados en la siguiente tabla, ya que son los dispositivos con los que cuenta la empresa para realizar el mejoramiento de este sistema.

Lista de elementos para el mejoramiento del NSE	
1	PLC GE Versamax modelo CPUIC200CPUE05
2	Pantalla marca Delta modelo DOP-W157B
3	6 módulos de comunicación Modbus para variadores de frecuencia ABB.
4	6 Variadores de Frecuencia ABB modelo ACS800-04-0610-5.
5	Controlador de temperatura DTB4848
6	Sensor de temperatura RTD

3.3.1 Descripción de sistema

3.3.1.1 Topología

La topología que se va a utilizar para los variadores de frecuencia y el controlador de temperatura es Bus (Figura 15), ya que este tipo de conexión permite conectar dispositivos ubicados a grandes distancias en serie por un mismo cable, muchos nodos pueden estar conectados en el bus para enviar y recibir datos con otros nodos por el mismo cable. Además, es una topología fácil de extender y comprender.

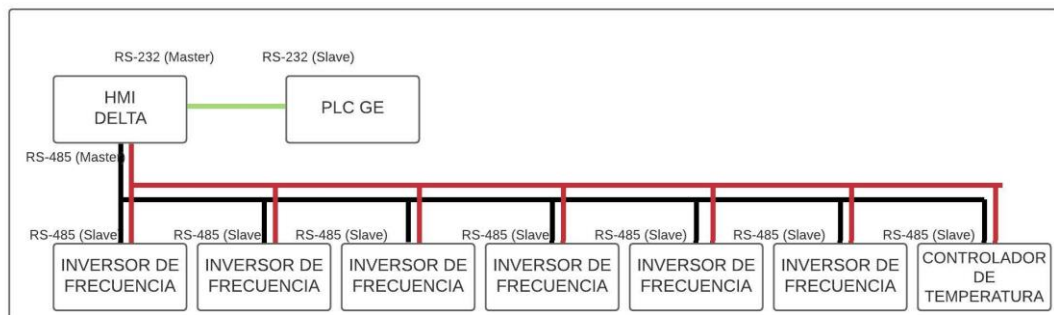


Figura 15. Topología de la Red Modbus

Elaborado por: el autor.

3.3.1.2 Modo de diálogo

Al ser una red serie, se usa normativa RS-485 (Figura 16) con modo de comunicación Half-Duplex, es decir que cada equipo puede enviar y recibir información, pero no de forma simultánea. Cada esclavo tiene un emisor y un receptor conectado con el maestro pasando por resistencias de 120 ohmios que ayudan a mantener la impedancia de la línea todo el tiempo.

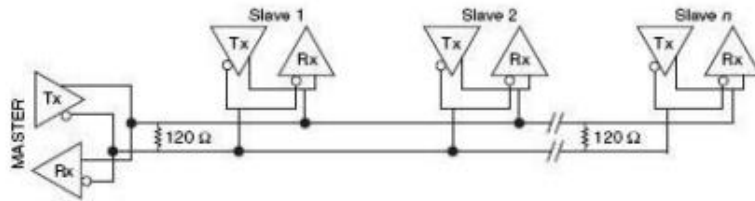


Figura 26. Conexión RS-485 [29]

3.4 SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN

Mediante la integración de la pantalla HMI, el diseño de la red Modbus de variadores de frecuencia y control de temperatura del tanque de bombeo, se contribuye con el mejoramiento del sistema para que a través esta pantalla se pueda supervisar y monitorizar los eventos que producen fallas en el funcionamiento del NSAE.

3.4.1 Diagrama de Bloques

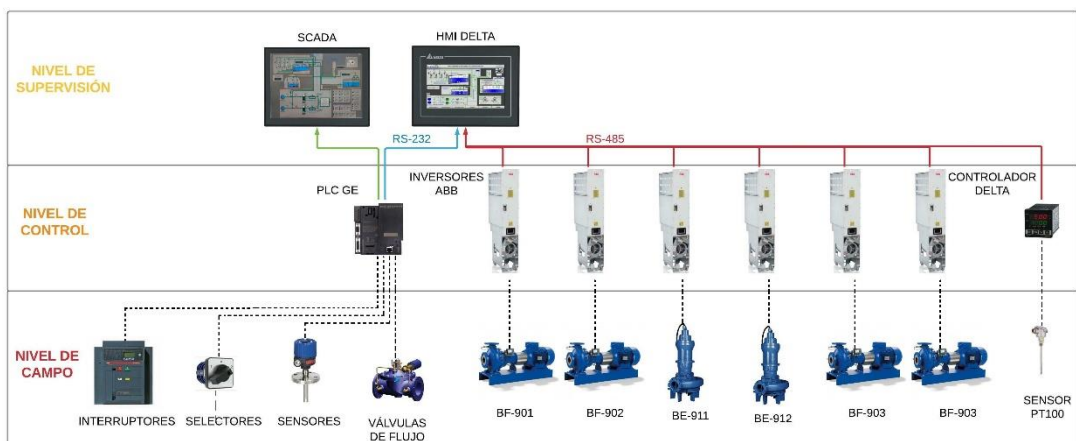


Figura 37. Diagrama de Bloques

Elaborado por: el autor.

Tomando en consideración los niveles de la pirámide de automatización se plantea el mejoramiento del sistema de acuerdo al diagrama de bloques que se muestra en la Figura 17, detallando los niveles de la siguiente manera:

a) Nivel de campo

En este nivel se encuentra los subprocesos, equipos en general con los que se realiza el proceso de Enfriamiento de las turbinas de generación de la Central. También se encuentra toda la parte de instrumentación como sensores, actuadores, variadores de frecuencia, válvulas y otros equipos que se enlista en las tablas de variables (Tabla 14, 15, 16, 17, 18, 20 y 22) que se mencionan más adelante.

b) Nivel de control

En este nivel se encuentra el dispositivo de control, en este caso el PLC GE Versamax, ubicado en el tablero de control del NSAE, el cual es el encargado de la regulación, control, ejecución y seguridad del proceso de Enfriamiento. Todas las señales llegan de los elementos que se encuentra en el nivel de campo mediante cables individuales o en algunos casos con el uso de redes de comunicación dedicadas.

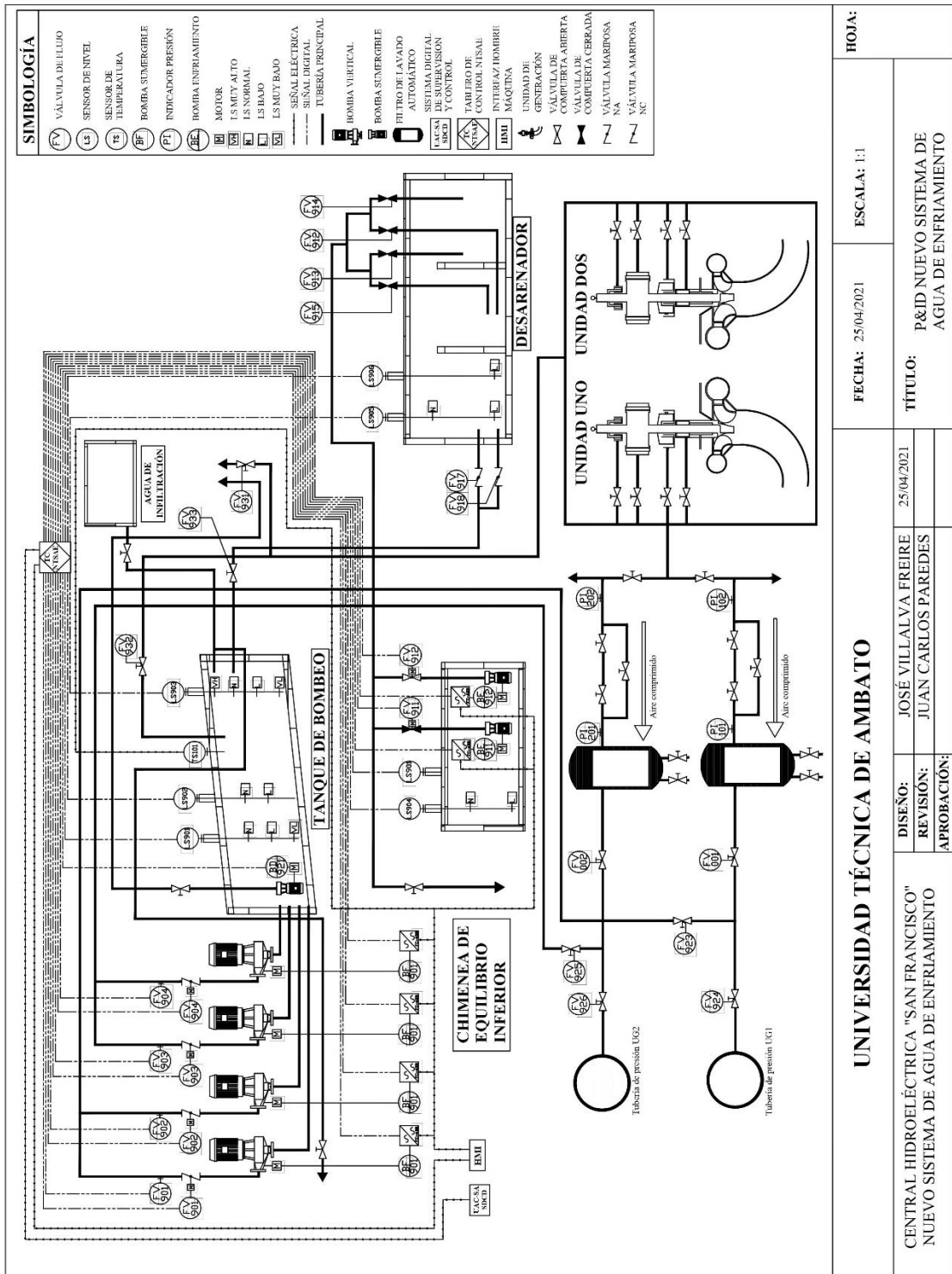
c) Nivel de supervisión

En este nivel se encuentran los equipos de supervisión y adquisición de datos, el sistema cuenta con un SCADA ubicado en la Sala de Control de la central y mediante el mejoramiento se podrá tener un sistema de supervisión a través de la pantalla HMI ubicada en el tablero de control, con el cual se podrá contrastar la información adquirida por ambas interfaces.

3.4.2 Diagrama de procesos de Instrumentación (P&ID)

El diagrama de tuberías e instrumentación muestra la relación funcional entre los equipos de instrumentación, componentes y tuberías usados en el Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento. Este P&ID es una representación gráfica de las tuberías que interconectan la Chimenea de Equilibrio con el Desarenador y este a su vez con el Tanque de Bombeo para luego llegar a las Unidades de Generación y terminar en el

Túnel de Drenaje. Muestra un esquema de la ubicación y punto de conexión de los diferentes equipos de instrumentación como sensores de nivel, sensores de temperatura, válvulas, presóstatos entre el PLC y el sistema de supervisión, se incluye también la nueva pantalla HMI, la nueva red Modbus de Variadores de Frecuencia y el nuevo sensor de temperatura para el Tanque de Bombeo.



3.4.3 Planos Eléctricos y Electrónicos

Los planos Eléctricos y Electrónicos son una parte fundamental del mejoramiento del sistema, ya que describen de forma gráfica la ubicación y todas conexiones de los elementos que componen el sistema, cuyo propósito es dar una buena comprensión y

fácil entendimiento de los nuevos cambios y mejoras que se han realizado hasta la actualidad.

Los planos que presentan son un rediseño de los planos proporcionados por la Central al inicio de la propuesta de trabajo, y han sido sujetos a cambios en el transcurso del desarrollo del proyecto de investigación.

Los planos rediseñados descritos en ANEXO C y D ayudarán al personal de mantenimiento y operadores a ubicar de manera eficiente las fallas eléctricas y electrónicas que se presente durante el funcionamiento del sistema.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS QUE COMPONEN EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA

3.5.1 Hardware del Sistema

Para el control, adquisición y manejo de los diferentes tipos de señales es necesario determinar las partes físicas que van a interactuar en el sistema, en este caso consta de un PLC GE FANUC modelo IC200CPU005, una pantalla táctil DELTA modelo DOP-W157B, un sensor de temperatura PT100, un controlador de temperatura marca DELTA modelo DTB4848, seis variadores de frecuencia marca ABB modelo ACS800-04-0610-5 y módulos de comunicación Modbus para los variadores. Con los cuales se podrá realizar el mejoramiento requerido en este proyecto.

3.5.1.1 Controlador Lógico Programable PLC

El controlador que está implementado en la actualidad es un PLC marca GENERAL ELECTRIC VERSAMAX modelo IC200CPUE05, que consta de: dos puertos serie RS-232 y RS-485, interfaz Ethernet integrada, una fuente de alimentación modelo IC200PWR002 y siete módulos de expansión cinco módulos IC200MDL650 para entradas digitales, un módulo IC200MDL750 para salidas digitales y un módulo IC200ALG260 para entradas analógicas.

Una vez investigadas las especificaciones técnicas de este modelo de PLC, se determina que la única manera de comunicarse mediante protocolo de comunicación

Modbus es mediante los puertos de comunicación seriales, ya que el puerto Ethernet solamente admite protocolos de comunicación propios de la marca GE.

La Figura 18 muestra un dibujo del PLC instalado en el tablero de control junto con sus módulos de expansión de entradas/salidas digitales, y entradas analógicas.

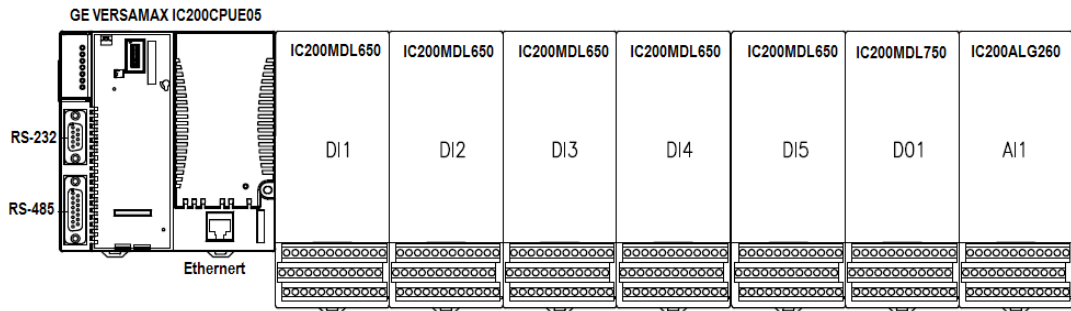


Figura 48. CPU GE VERSAMAX IC200CPUE05 [30]

Especificaciones Técnicas

Las principales características de los equipos con los cuales se trabaja en este proyecto se describen en las Tablas 11 y 12 que se muestran a continuación. De acuerdo a estas especificaciones se determina la factibilidad de poder tener una comunicación entre la pantalla HMI y el PLC.

- Fuente de alimentación PLC General Electric VERSAMAX modelo IC200PWR002

Características de la Fuente	
Voltaje de entrada	18 a 30 VDC, 24VDC nominal
Potencia de entrada	11 W
Corriente de entrada 24VDC 30VDC	20 A 25 A
Voltaje de salida	3.3 VDC, 5VDC
Corriente de salida 3.3 VDC Salida 5 VDC Salida	1.5 A máximo 1.0 A máximo
Tiempo de respuesta	10mseg

Tabla 11. Características de la Fuente IC200PWR002

- PLC General Electric VERSAMAX modelo IC200CPUE05

Características del CPU IC200CPUE05	
Velocidad de ejecución de funciones lógicas	0.5 mseg/k
Memoria configurable	64k bytes máximo
Comunicaciones incluidas	RS-232 RS-485 Interfaz Ethernet
Especificaciones de la interfaz Ethernet	
Velocidad de transferencia	10Mbps
Interfaz física	10BaseT RJ45
Administrador estación remota vía UDP	Si
Administración de estación local (RS-232)	A través del puerto CPU

Tabla 12. Especificaciones Técnicas CPU IC200CPUe05

a) Módulos de expansión de entradas digitales IC200MDL650

Estos módulos poseen las especificaciones que se muestran en la Tabla 13, y reciben los estados de:

- Estado de los interruptores de alta y media tensión.
- Posición de bombas de enfriamiento y bombas sumergibles.
- Selección de bombas de enfriamiento y bombas sumergibles.
- Alerta de presión baja en los presóstatos de las bombas de enfriamiento y sumergibles.
- Estados de protección de bajo voltaje de las líneas de media tensión.
- Estado de los inversores de frecuencia de las bombas.
- Disparo de interruptores de protección.
- Alerta de temperaturas altas en el transformador TFGD 2
- Falla de tensión en los inversores.
- Niveles de sensores en el desarenador.
- Niveles de sensores en el tanque de bombeo
- Activación de protección de las bombas.
- Falla de tensión en los interruptores.
- Estado de las válvulas de flujo.
- Alerta de temperaturas altas en el transformador TFSAE1 y TFSAE2.

- **Especificaciones técnicas:**

Características del módulo IC200MDL650	
Voltaje de entrada	0 a 30 VDC, 24VDC nominal
Número de entradas	32
Voltaje estado encendido	15 a 30 VDC
Voltaje estado apagado	0 a 5 VDC
Corriente estado encendido	2 a 5.5 mA
Corriente estado apagado	0 a 0.5 mA
Tiempo de respuesta	0.5 mseg
Impedancia de entrada	10 kΩ

Tabla 13. Especificaciones Técnicas Módulo de entradas digitales IC200MDL650

- **Tabla de variables del Módulo de Entradas Digitales (DI1)**

Módulo	Descripción	Origen	Entrada
DI1	Interruptor entradas 452E1, E3 y E3	Manual	I1
		Automático	I2
	Posición de las bombas	BF-901/BF-902 AUTOMATICO	I3
	Posición de las bombas	BE-911/BE-912 AUTOMATICO	I4
	Selección de las bombas Desarenador	BE-911	I5
		BE-912	I6
	Presión baja bomba	BE-911	I7
		BE-912	I8
	Selección bombas agua enfriamiento	BF-901	I9
		BF-902	I10
	Presión baja bomba	BF-901	I11
		BF-902	I12
	Selección bombas agua enfriamiento	BF-903	I13
		BF-904	I14
	Presión baja bomba	BF-903	I15
		BF-904	I16
	Interruptor 452-1 CMTSAE -1	50/51-51N-86-1	I17
		27-1	I18
		Abierto	I19
		Cerrado	I20
		Insertado	I21
	Interruptor 452-2 CMTSAE -2	50/51-51N-86-2	I22
		27-2	I23
		Abierto	I24
		Cerrado	I25
		Insertado	I26
	Protección Actuado (Subtensión 27)-TSAE	27B	I27
		27-E1	I28

	27-E2	I29
	27G	I30
Interruptor Entrada 1 452E-1	Abierto	I31
	Cerrado	I32

Tabla 14. Módulo de entradas digitales 1 (DI1)

• **Tabla de variables del Módulo de Entradas Digitales (DI2)**

DI2	Interruptor Entrada 1 452E-1	Protección Actuado	I1
	Interruptor Entrada 2 452E-2	Abierto	I2
		Cerrado	I3
		Protección Actuado	I4
	Interruptor Entrada 3 452E-3	Abierto	I5
		Cerrado	I6
		Protección Actuado	I7
	Inversor IF1	Conectado	I8
		Defecto	I9
	Inversor IF2	Conectado	I10
		Defecto	I11
	Inversor IF4	Conectado	I12
		Defecto	I13
	Inversor IF5	Conectado	I14
		Defecto	I15
	Inversor IF3	Conectado	I16
		Defecto	I17
	Inversor IF6	Conectado	I18
		Defecto	I19
	Disparo Interruptores	52-13 TRIP	I20
	Disparo Interruptores	52-17 TRIP	I21
	TFGD2	51N	I22
		Temperatura 140°	I23
		Temperatura 150°	I24
	Supervisión de Tensión 120VCA	Inversor IF2	I25
		Inversor IF3	I26
		Inversor IF5	I27
		Inversor IF6	I28
	Posición de las bombas	BF-903/BF-904 AUTOMATICO	I29
	CBD 1 o 2	Alarma Activada	I30
		Nivel pozo Alto	I31
	Extractor central de aire	Presión diferencial activado	I32

Tabla 15. Módulo de entradas digitales 2 (DI2)

- **Tabla de variables del Módulo de Entradas Digitales (DI3)**

DI3	Desarenador nivel agua LS905	Bajo	I1
		Alto	I2
	Captación nivel agua LS904	Bajo	I3
		Normal	I4
	Tanque de bombeo nivel agua	Bajo LS906	I5
		Normal LS901	I6
		Muy bajo LS901	I7
	Protección	Bomba BF 911	I8
	Desarenador LS906	Bajo	I9
	Desarenador LS906	Normal	I10
	Tanque de bombeo nivel agua LS902	Muy bajo	I11
	Falla	LS1	I12
	Tanque de bombeo nivel agua LS903	Normal	I13
		Alto	I14
		Muy Alto	I15
		Bajo	I16
	Interruptor 72-E1 PCCSAE	27-1	I17
		Abierto	I18
		Cerrado	I19
		Protección Actuado	I20
		Interruptor de Salidas	I21
	Protección	Bomba BE-912	I22
	Protección	Bomba BD-921	I23
	Interruptor 452-1 CMTSAE -1	Cierra Cargados	I24
	Interruptor 72-E1 PCCSAE	27-2	I25
		Abierto	I26
		Cerrado	I27
		Protección Activado	I28
		Interruptor de Salidas	I29
	Falla	LS2	I30
	Protección Actuado	Interruptor de Salidas	I31
	Interruptor 452-2 CMTSAE -2	Cierra Cargados	I32

Tabla 16.. Módulo de entradas digitales 3 (DI3)

- **Tabla de variables del Módulo de Entradas Digitales (DI4)**

DI4	Supervisión de Tensión 125Vcc	Interruptor entrada 452E-3	I1
		Interruptor entrada 452E-2	I2
		Interruptor entrada 452E-1	I3
	Supervisión de Tensión 125Vca	Inversores IF1	I4
		Inversores IF4	I5

	Supervisión de Tensión	125 Vcc-PLC	I6
	Interruptor Entrada 3 452E-3	Inserido	I7
		Cierra Cargados	I8
	Bomba sumergible BD-921	Desconectado	I9
		Conectado	I10
	Extractor central de aire E-901	Desconectado	I11
		Conectado	I12
	Bomba sumergible BD-921	Local	I13
		Remoto	I14
	Extractor central de aire E-901	Local	I15
		Remoto	I16
	Selección bomba BF-901	Local	I17
		Remoto	I18
	Selección bomba BF-902	Local	I19
		Remoto	I20
	Selección bomba BF-903	Local	I21
		Remoto	I22
	Selección bomba BF-904	Local	I23
		Remoto	I24
	Selección bomba BE-911	Local	I25
Remoto		I26	
Selección bomba BE-912	Local	I27	
	Remoto	I28	
Válvulas de flujo FV-901 interruptor 52-1	Abierto	I29	
	Cerrado	I30	
	Contactador 42-1 abierto	I31	
	Remoto	I32	

Tabla 17. Módulo de entradas digitales 4 (DI4)

- **Tabla de variables del Módulo de Entradas Digitales (DI5)**

DI5	Válvulas de flujo FV-902 interruptor 52-1	Abierto	I1
		Cerrado	I2
		Contactador 42-1 abierto	I3
		Remoto	I4
	Válvulas de flujo FV-903 interruptor 52-1	Abierto	I5
		Cerrado	I6
		Contactador 42-1 abierto	I7
		Remoto	I8
	Válvulas de flujo FV-904 interruptor 52-1	Abierto	I9
		Cerrado	I10
		Contactador 42-1 abierto	I11

	Remoto	I12
Válvulas de flujo FV-911 interruptor 52-1	Abierto	I13
	Cerrado	I14
	Contactador 42-1 abierto	I15
	Remoto	I16
Válvulas de flujo FV-912 interruptor 52-1	Abierto	I17
	Cerrado	I18
	Contactador 42-1 abierto	I19
	Remoto	I20
Interruptor entrada 1 452E-1	Inserido	I21
	Resorte Cargado	I22
Interruptor entrada 2 452E-2	Inserido	I23
	Cierra Cargados	I24
Transformador TFSAE-1	Protec. Actuada 150°C	I25
	Alarma 140°C	I26
	Falla	I27
RESERVA		I28
Transformador TFSAE-2	Protec. Actuada 150°C	I29
	Alarma 140°C	I30
	Falla	I31
RESERVA		I32

Tabla 18. Módulo de entradas digitales 5 (DI5)

b) Módulo de expansión de salidas digitales IC200MDL750

Este módulo posee las especificaciones técnicas que se muestran en la Tabla 19, y envía los estados de:

- Encender las bombas de enfriamiento y bombas sumergibles.
- Abrir y Cerrar Interruptores y válvulas de flujo.

• **Especificaciones técnicas:**

Características del módulo IC200MDL750	
Voltaje de salida	10.2 a 30 VDC, 12/24VDC nominal
Caída de tensión de salida	0.3 V máximo
Número de salidas	2 grupos de 16
Corriente de carga	0.5 A para 30VDC
Tiempo de respuesta encendido	0.2 mseg
Tiempo de respuesta apagado	0.1 mseg

Tabla 19. Especificaciones Técnicas del módulo de Salidas Digitales IC200MDL750

- **Tabla de variables del Módulo de Salidas Digitales (DO1)**

SALIDAS DIGITALES				
Módulo	Descripción	Origen	Entrada	
DO1	Encender	Bomba BE-911	A1	
	Encender	Bomba BE-912	A2	
	Encender	Bomba BF-901	A3	
	Encender	Bomba BF-902	A4	
	Encender	Bomba BF-903	A5	
	Encender	Bomba BF-904	A6	
	Encender	Bomba BD-921	A7	
	Encender	Extractor E -901	A8	
	Interruptor entrada 1 452E-1 TSAE	Cerrar		A9
		Abrir		A10
	Interruptor entrada 2 452E-2 TSAE	Cerrar		A11
		Abrir		A12
	Interruptor entrada 3 452E-3 TSAE	Cerrar		A13
		Abrir		A14
	Interruptor entrada 1 452E-1 CMTSAE-1	Cerrar		A15
		Abrir		A16
				A17
				A18
	Interruptor entrada 2 452E-2 CMTSAE-2	Cerrar		B1
		Abrir		B2
	Válvula de flujo FV-901	Cerrar		B3
		Abrir		B4
	Válvula de flujo FV-902	Cerrar		B5
		Abrir		B6
	Válvula de flujo FV-903	Cerrar		B7
		Abrir		B8
	Válvula de flujo FV-904	Cerrar		B9
		Abrir		B10
	Válvula de flujo FV-911	Cerrar		B11
		Abrir		B12
	Válvula de flujo FV-912	Cerrar		B13
		Abrir		B14
CMTSAE-1		Rearma 86-1	B15	
CMTSAE-2		Rearma 86-1	B16	
			B17	
			B18	

Tabla 20. Módulo de salidas digitales 1 (DO1)

c) Módulo de expansión de entradas analógicas IC200ALG260

Este módulo tiene las características técnicas que se muestran en la Tabla 21, y provee 8 entradas para voltaje o corriente, para este sistema se designan los siguientes instrumentos:

- Sensor FJ-907 para medir el flujo del caudal de agua del desarenador.
- Medidor de tensión de la barra uno del tablero de distribución de 125 Vcc del PCCSAE.
- Medidor de tensión de la barra dos del tablero de distribución de 125 Vcc del PCCSAE.
- Sensor de nivel uno ubicado en el tanque de bombeo.
- Sensor de temperatura del transformador TSAE-1.
- Sensor de temperatura del transformador TSAE-2.
- Sensor de temperatura del transformador TFGD-2.
- Sensor de nivel dos ubicado en el tanque de bombeo.

• **Especificaciones técnicas:**

Características del módulo IC20ALG260 modo voltaje	
Voltaje de entrada:	
Bipolar	+/-10VDC por defecto
Unipolar	0 a 10 V configurable
Impedancia de entrada	126kΩ
Número de canales	8
Exactitud para 25 C°	+/-0.3%, +/-0.5%
Exactitud de 0 a 60 C°	+/-1%
Resolución:	
Bipolar	2.5mV = 8 dígitos
Unipolar	2.5mV = 8 dígitos
Características del módulo IC20ALG260 modo corriente	
Corriente de entrada	4 a 20mA
Impedancia de entrada	200Ω
Resolución	4uA = 8 dígitos

Tabla 21. Especificaciones Técnicas del módulo de entradas analógicas IC200ALG260

Ya que todas las entradas analógicas se encuentran ocupadas, no se puede añadir más instrumentos a este módulo, por lo que se debe buscar otro tipo de método o adicionar otro módulo con similares características que permita adquirir nuevas señales.

- **Tabla de variables del Módulo de Entradas Analógicas (AI1)**

Módulo	Descripción	Origen	Entrada
AI1	Flujo desarenador	FL-907	A1
			A2
			A3
	Tableros de distribución 125Vcc PCCSAE	Medición tensión barra 1	A4
			A5
			A6
		Medición tensión barra 2	A7
			A8
			A9
	Tablero Controlador de Nivel	Tanque de Bombeo TCN-TB	A10
			A11
			A12
Transformador TFSAE 1		B1	
		B2	
		B3	
Transformador TFSAE 2		B4	
		B5	
		B6	
Transformador TFGD 2		B7	
		B8	
		B9	
Tablero controlador de nivel	Tanque de Bombeo TCN-TB	B10	
		B11	
		B12	

Tabla 22. Módulo de entradas analógicas 1 (AI1)

3.5.1.2 Pantalla Interfaz Hombre-Máquina

En el mejoramiento del sistema utiliza una pantalla de control táctil marca DELTA modelo DOP-W157B (Figura 19), que es una herramienta altamente potente en la gestión de procesos y en las comunicaciones con prácticamente cualquier equipo que trabaje por Modbus o Ethernet. La pantalla tiene incorporado dos puertos RS-232/RS-422/RS485 y 2 puertos ethernet de serie, cuenta con varios puertos USB para conectar impresoras, lectores de código de barras o mouse, además soporta memorias SD.



Figura 59. Pantalla Delta modelo DOPW157B

Elaborado por: el autor.

Las variables de procesos que va a monitorear esta pantalla se las obtiene del PLC marca GE VERSAMAX IC200CPUE005 y de la red Modbus de variadores de frecuencia marca ABB ACS800 y el controlador de temperatura DTB4848. Entre las variables y datos que se obtienen desde el PLC se encuentran:

- Estado de las bombas de enfriamiento.
- Estado de las bombas del desarenador.
- Estado de la bomba del extractor de aire.
- Información de los variadores de frecuencia: voltaje, corriente, velocidad, frecuencia.
- Estado de las válvulas de flujo.
- Estado de los interruptores de baja tensión.
- Estado de los interruptores de media tensión.
- Estado de los señores digitales.
- Lectura de los sensores analógicos.
- Estado de los variadores de frecuencia.
- Lectura del controlador de temperatura del tanque de bombeo.

Especificaciones técnicas

Esta HMI es una pantalla de 15 pulgadas LCD de una resolución de 1024x768 pixeles que gracias a su gran tamaño permite monitorear el sistema completo, aprovechando al máximo su capacidad de visualización. La Tabla 23 muestra sus principales especificaciones técnicas.

Tabla de Especificaciones

Voltaje de entrada	+24 VDC
Potencia de consumo	21.6 W
Temperatura de operación	0°C a 50°C
Sistema operativo	Windows CE 6.0
Memoria RAM	256 Mbytes
Memoria de almacenamiento	8000 números de datos (datos de alarma + históricos)
Número de USB	3 USB v2.0
Número de SD	1
Puerto serial COM1	-
Puerto serial COM2	RS-232, RS-422, RS-485
Puerto serial COM3	RS-232, RS-422, RS-485
Puerto Ethernet	2 puertos IEEE 802.3 (10BASE-T) IEEE 802.3u (10BASE-X) IEEE 802.3x (Full Duplex and flow control)
Protección	IP65

Tabla 23. Especificaciones Técnicas pantalla Delta modelo DopW157B

3.5.1.3 Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5

Los variadores de frecuencia de la marca ABB (Figura 20), son diseñados para aplicaciones industriales, su principal característica es la fácil adaptación de su programación orientándolo a distintas aplicaciones. Estos inversores están diseñados con especificaciones de intensidad que permite llevarlos a entornos industriales que requiere alta capacidad de sobrecarga. Entre las ventajas que tiene este inversor en la aplicación que se le da en el NSAE es que posee un control estático y dinámico preciso del torque y velocidad, elevado par de arranque y largos cables conectados a los motores de 400 HP de las Bombas de Enfriamiento (BF-901, BF-902, BF-903, BF-904) del tanque de bombeo y a los motores de 150 HP de las Bombas sumergibles

(BE-911, BE-912) del Desarenador. Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 24.



Figura 20. Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5

Elaborado por: el autor.

Especificaciones Técnicas

Conexión a la red	
Rango de tensión y potencia	Trifásica $U_{2N} = 208 \text{ a } 240 \text{ V}, \pm 10\%$ Trifásica $U_{3N} = 380 \text{ a } 415 \text{ V}, \pm 10\%$ Trifásica $U_{5N} = 380 \text{ a } 550 \text{ V}, \pm 10\%$ Trifásica $U_{7N} = 525 \text{ a } 690 \text{ V}, \pm 10\%$
Frecuencia	48 a 63 Hz
Factor de potencia	$\cos\phi_1 = 0,98$ (fundamental) $\cos\phi = 0,93 \dots 0,95$ (total)
Rendimiento (a potencia nominal)	98%
Conexión del motor	
Tensión	Tensión de salida $0 \dots U_{2N}/U_{3N}/U_{5N}/U_{7N}$ para unidades $> 500 \text{ V}$
Frecuencia	$0 \dots \pm 300 \text{ Hz}$
Control del motor	Control directo del Par de ABB
Límites ambientales	
Temperatura ambiente en funcionamiento	-15...+50°C
Humedad relativa	5 al 95%, no se permite condensación
Protección	IP20

Tabla 24. Especificaciones Técnicas del VARIADOR DE FRECUENCIA ABB ACS880-04-0610-5

Interfaz de usuario estándar

Los canales digitales y analógicos de entrada y salida se utilizan en funciones de control, medición (temperatura del motor) y monitorización. Existen módulos disponibles para ampliación analógica y digital o módulos generadores de pulsos que se montan sobre las ranuras de la tarjeta de control. Sobre este controlador también se pueden montar módulos de comunicación. La Figura 21 muestra un controlador del variador del sistema.

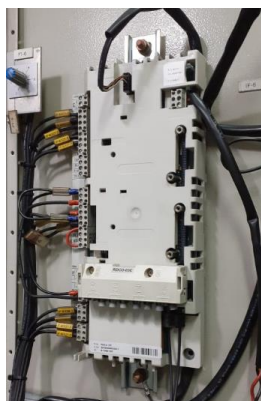


Figura 21. Controlador del Variador de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5

Elaborado por: el autor.

Control de Bus de campo

Este tipo de inversores utiliza el concepto de adaptador dedicado entre los inversores y los sistemas de bus de campo. Existen módulos adaptadores de bus de campo diseñados para colocarse dentro del inversor de frecuencia y sus funciones son control, supervisión, diagnóstico y tratamiento de parámetros del inversor. En este caso necesitamos un módulo de expansión para comunicación Modbus (Tabla 25).

BUS DE CAMPO	PROTOCOLO	PERFIL DEL DISPOSITIVO	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN
PROFIBUS (+K454)	DP, DPV1	PROFIdrive ABB Drivers	9.6kbits/s- 12Mbits/s
Modbus (+K458)	RTU	ABB Drivers	600bits/s- 19.2kbits/s
Ethernet (+K464)	Modbus/TCP	ABB Drivers	10Mbits/s- 100Mbits/s
InterBus-S (+K453)	E/S, PCP	ABB Drivers	500kbits/s
LONWORKS (+K452)	LONTALK	Acc. Con motor de velocidad variable.	78kbits/s

Tabla 25. Adaptadores de Bus de Campo para controladores ABB [26]

Módulo Adaptador Modbus RMBA-01

RMBA (Figura 22), es el módulo adaptador Modbus que se utiliza para adquirir datos del Inversor de Frecuencia ABB ACS880-04-0610-5 mediante interfaz RS-485. Los parámetros de velocidad, frecuencia, voltaje y corriente son asignados con un área de registro 4xxxx. Esta área de registro de retención es la que se va a leer desde la pantalla Delta.

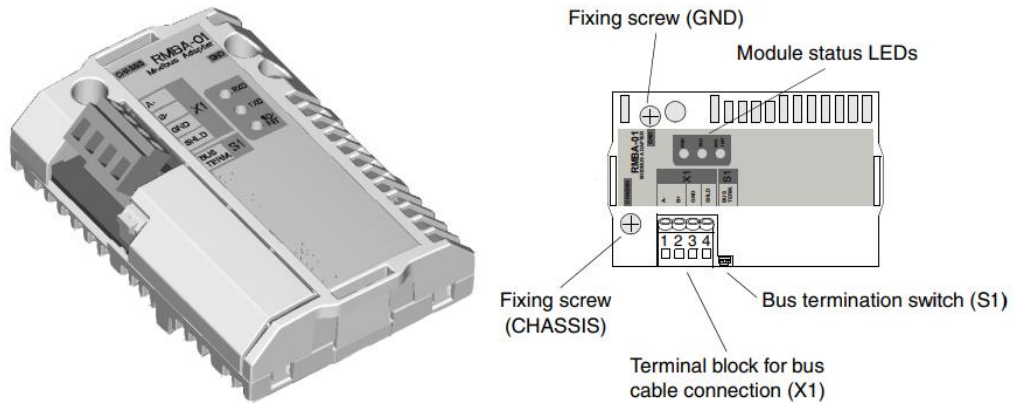


Figura 22. Modulo adaptador Modbus RMBA-01 [31]

Los inversores de frecuencia se pueden conectar a un sistema de control externo como la pantalla HMI mediante este módulo adaptador. El inversor puede configurarse para recibir toda la información de control mediante la pantalla, o puede distribuirse entre esta y otras fuentes disponibles, como entradas análogicas y digitales. El esquema de la Figura 23, muestra la interfaz de control del convertidor de frecuencia.

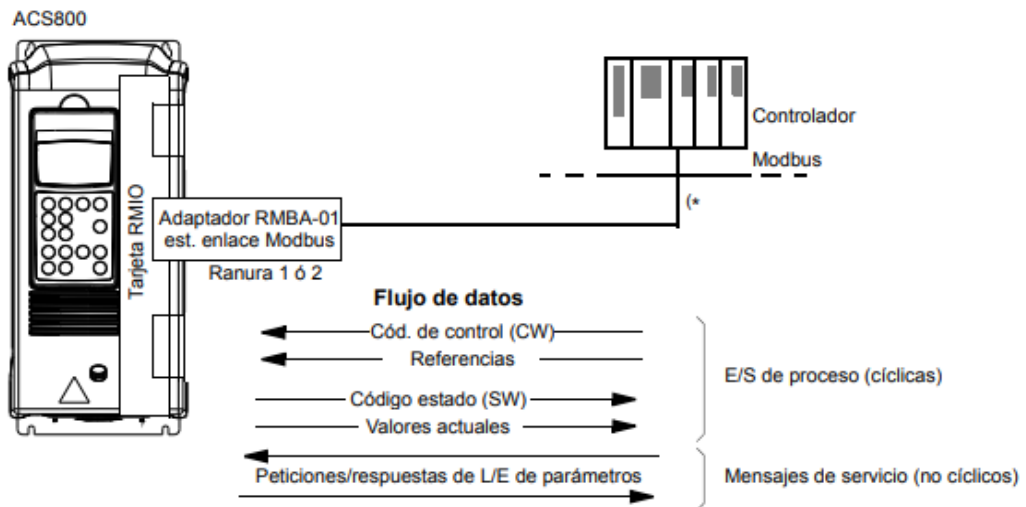


Figura 63. Modo de comunicación módulo RMBA-01 [31]

3.5.1.4 Controlador de Temperatura DELTA DTB4848



Figura 24. Controlador de temperatura DELTA DTB4848 [32]

El controlador que se observa en la Figura 24, permite tener una respuesta rápida de valores medidos por el sensor Pt100 instalado en el tanque de bombeo del NSAE, una de las ventajas de este controlador es que se puede visualizar el valor de temperatura en sitio y en la pantalla HMI gracias a que este equipo puede conectarse a la misma red Modbus de los variadores de frecuencias mediante protocolo Modbus RTU. Los datos técnicos de este controlador se muestran en la Tabla 26.

Datos Técnicos

Tensión de entrada	100-240VAC, 50/60Hz
Consumo de energía	5VA max
Sensores de temperatura	Termopar: K, J, T, E, N, R, S, B, U, T, TXX
	RTD platina: Pt100, JPt100
Métodos de control	PID, ON/OFF, manual
Tipos de salida	Relé: 250VAC, 5 ^a
	Pulso de tensión: 14VDC, Salida de corriente máxima: 40mA
	Corriente: DC 4-20mA
Comunicación	Protocolo Modbus, formato ASCII/RTU
Velocidad de transmisión	2400-38400 bps
Temperatura ambiente	0-50°C
Grado de protección	IP65

Tabla 26. Datos Técnicos Controlador de Temperatura DTB4848

Sensor de Temperatura Pt100

Este sensor será colocado en el tanque de bombeo, de acuerdo al esquema de la Figura 25, para controlar la temperatura del agua, luego de esta pasa por el sistema de enfriamiento de las turbinas de generación. El sensor de temperatura Pt100 está

conformado por un alambre de platino que aumenta su resistencia eléctrica de forma no lineal, pero si creciente al aumentar la temperatura (0°C tiene 100 Ohms).

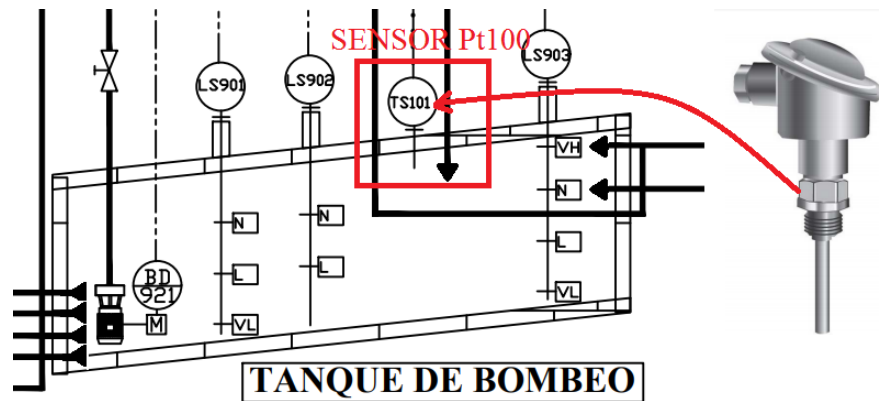


Figura 75. Ubicación del sensor de temperatura Pt100

Elaborado por: el autor.

3.5.2 Cableado de entradas y salidas

a) Conexión de los dispositivos de la red Modbus

Para la conexión de los Variadores de frecuencia y el controlador de temperatura se debe utiliza un Bus Modbus RS-485. De acuerdo a las especificaciones del uso del protocolo Modbus RTU, al conectar varios dispositivos en serie existe intermitencia de la señal que transporta la información, para lo cual es de gran importancia la supresión de esta intermitencia o ruido, mediante el uso de resistencias y capacitores en el bus RS-485 como se muestra en la Figura 26.

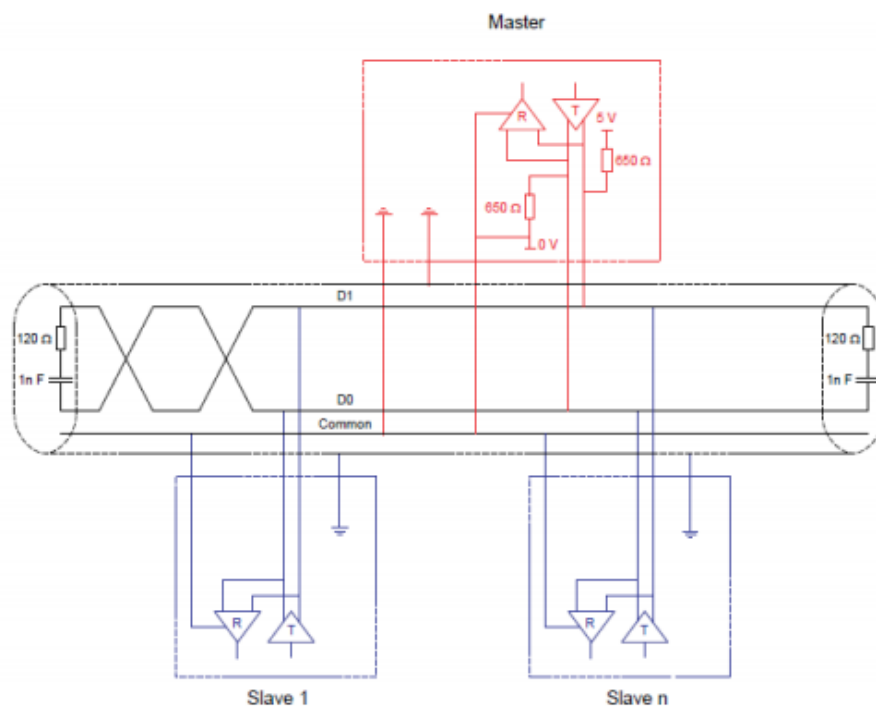


Figura 86. Esquema de un Bus RS-485 [15]

b) Conexión para Inversores de Frecuencia

Para realizar la comunicación Modbus mediante interfaz RS-485 entre los seis inversores y el HMI se utiliza el bloque de terminales del módulo de adaptador Modbus (Figura 27), de acuerdo al siguiente esquema y con la ayuda de la Tabla 27 de distribución de pines que indica como realizar la conexión.

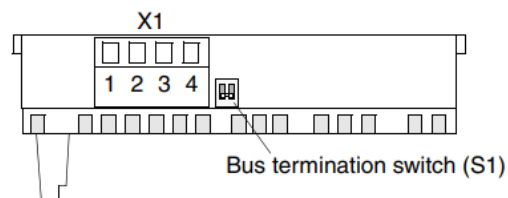


Figura 97. Asignación de terminales del módulo RMBA-01 [31]

Para realizar estas conexiones se deben realizar pruebas de comunicación con cada uno de los equipos conectados, direccionando cada esclavo de acuerdo a las especificaciones de diseño de la red.

	Marca	Descripción
1	A	Línea de datos positiva
2	B	Línea de datos negativa
3	DG	Tierra. Se utiliza en un sistema de tres hilos como potencial de referencia común para todos los dispositivos en el bus de datos. La conexión de tres cables es muy recomendada ya que mejora la inmunidad al ruido.
4	SHLD	Conexión a tierra de CA del blindaje del cable Modbus

Tabla 27. Terminales del Módulo RMBA-01

c) Conexión de sensor Pt100

Para monitorear la temperatura del Tanque de bombeo se utiliza como elemento primario un sensor de temperatura Pt100 conectado al controlador DTB4848. Se usa el método de 3 hilos (Figura 28) para su conexión, ya que este método utiliza uno de sus hilos como balanceador y permite que el sensor sea utilizado a largas distancias del controlador.

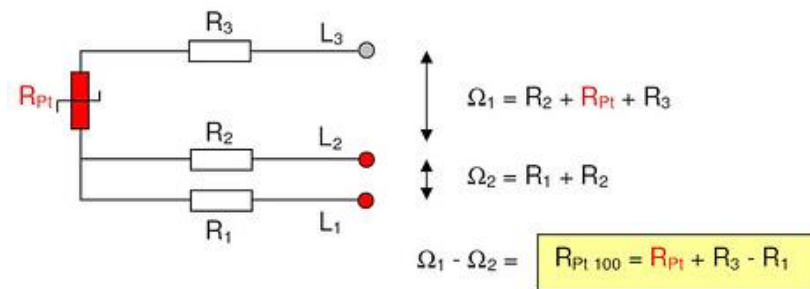


Figura 108. Diagrama de conexión Sensor PT100 [26]

d) Conexión del Controlador de temperatura DTB4848

En la Figura 29, se muestra las conexiones que se deben realizar entre el controlador, el sensor Pt100 y la red Modbus que va a transmitir los datos del sensor a la pantalla. El controlador necesita una fuente alimentación de 100/240Vac. Los terminales L1, L2, y L3 deben conectarse a los bornes 3, 4 y 5 del controlador; los cables de datos de la red deben conectarse a los bornes 9 (D-) y 10 (D+).

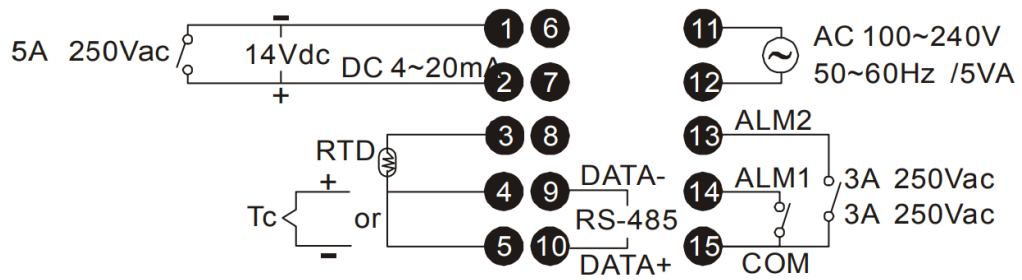


Figura 119. Diagrama de conexión DTB4848 [27]

e) Conexión de pantalla HMI Delta con el PLC y la Red Modbus de Inversores de Frecuencia y controlador de temperatura

En la Figura 30, se observa el esquema de la parte posterior de la pantalla HMI, la asignación de puertos de comunicación es la siguiente: el puerto de comunicación dos (COM2) es para establecer comunicación entre el PLC y la pantalla mediante interfaz RS-232, y el puerto de comunicación tres (COM3) es para establecer comunicación con la red de variadores de frecuencia y el controlador de temperatura mediante interfaz RS-485.

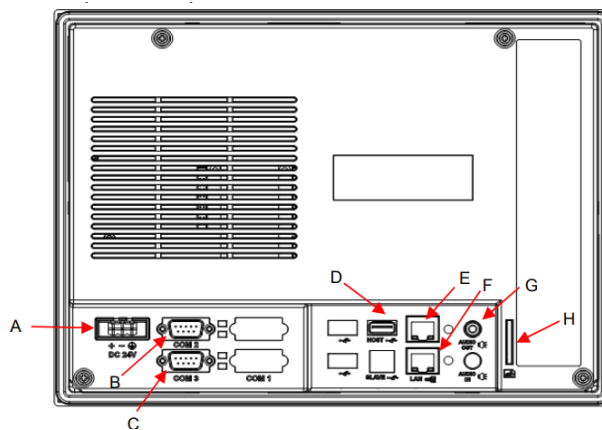


Figura 30. Visualización parte trasera pantalla Delta DOPW-157B [35]

A	Fuente de alimentación 24 VDC	B	Puerto COM 2 (RS-232)
C	Puerto COM 3 (RS-485)	D	Entrada USB
E	Puerto Ethernet 1	F	Puerto Ethernet 2
G	Audio	H	Memoria SD

Para la comunicación entre la pantalla y el PLC se debe hacer la siguiente asignación de pines para cada equipo tomando en cuenta que el cable de comunicaciones que se

debe fabricar es de tipo DB9 macho-macho, siguiendo las siguientes normativas que se muestra en la Figura 31.

HMI Delta 9 pines hembra (RS-232)	PLC GE 9 pines hembra (RS-232)
RXD (2)	RS-232 TxD
TXD (3)	RS-232 RxD
GND (5)	Signal Ground

Figura 31. Pines de conexión entre HMI y PLC

Para la comunicación entre la pantalla y la red Modbus se debe hacer la siguiente asignación de pines para cada equipo tomando en cuenta que el cable de comunicaciones que se debe fabricar es de tipo DB9 macho para la pantalla y las dos líneas del otro extremo a los demás dispositivos de la red (Figura 32).

HMI Delta 9 pines hembra (RS-232)	Red Modbus Conector RS-485
RXD+ (2)	D+
TXD+ (3)	
RXD- (1)	D-
TXD- (4)	

Figura 122. Pines de conexión entre HMI y Red Modbus

3.5.3 Software del Sistema

Uno de los entornos más utilizados para la programación de controladores de la marca GE es PROFICY MACHINE EDITION, el cual permite programar y configurar todos los PLC de GE, aunque para su uso es necesario adquirir la licencia o crackear el instalador.

Para la creación de la HMI en la pantalla marca Delta es necesario el software DOPSoft, no requiere licencia por lo que su uso es gratuito.

3.5.3.1 Software de programación Proficy Machine Edition 9.00

Es un entorno de desarrollo propio de la marca GENERAL ELECTRIC (Figura 33), de interfaz de desarrollo estandarizada, con estructura sencilla y eficaz que facilita el desarrollo de aplicaciones de un proyecto, simplificando la programación y agilizando la elaboración de soluciones que minimicen los errores de los programas, aumentando los beneficios de las aplicaciones de forma más rápida.



Figura 133. Software Proficy Machine Edition 9.00

Elaborado por: el autor

a) Parámetros de configuración de Proficy Machine Edition

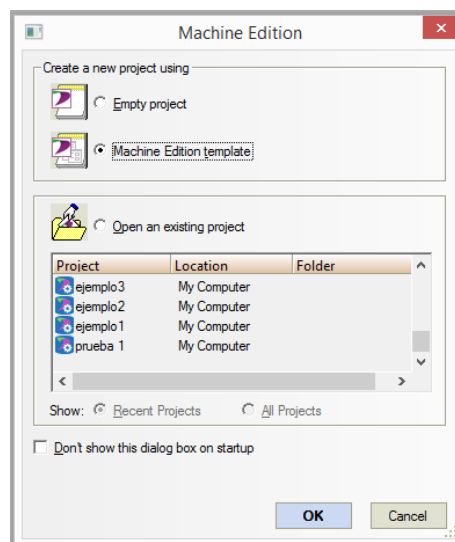


Figura 144. Crear archivo en Proficy Machine Edition

Elaborado por: el autor.

Una vez que inicia Proficy Machine Edition se crea un nuevo proyecto o se escoge una plantilla en donde se va a realizar la configuración del hardware con el cual se va a trabajar (Figura 34), el modo de comunicación por el cual se va a extraer las variables programadas en el PLC y la programación de acuerdo a los requerimientos del Sistema de Agua de Enfriamiento.

b) Configuración de Hardware en Proficy Machine

Los parámetros para la configuración del hardware son todos aquellos que se muestran en la Figura 35, que muestra el esquema real de conexión del PLC GE Fanuc VersaMax, es decir: fuente de alimentación, modelo de CPU, módulos de expansión de entradas digitales, módulos de de expansión de salidas digitales, módulo de expansión de entradas analógicas.

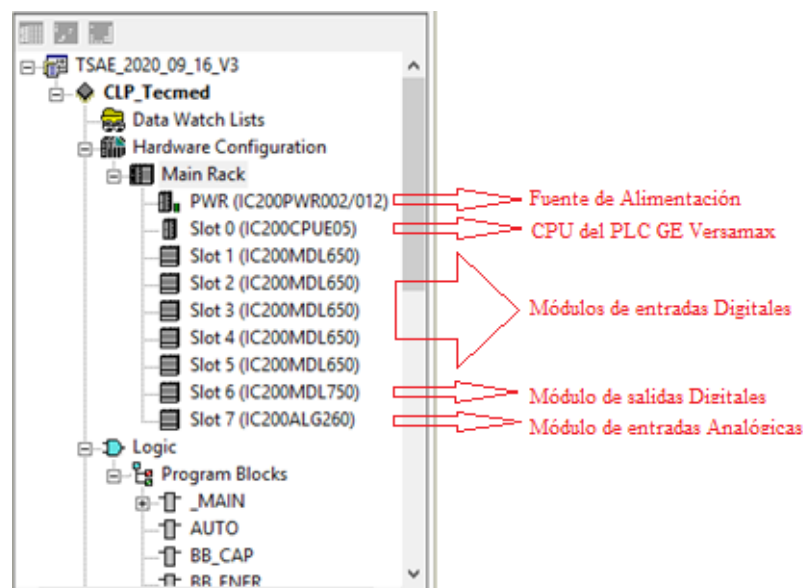


Figura 155. Configuración de Hardware en Proficy Machine Edition

Elaborado por: el autor.

c) Configuración del puerto de Comunicación en Proficy Machine

Para configurar la comunicación que permite tener acceso a las variables de control y monitoreo se modifican los parámetros de los puertos comunicación de la CPU del PLC (Figura 36), tomando en cuenta que dichos parámetros deben ser los mismos que se van a configurar en la pantalla HMI.

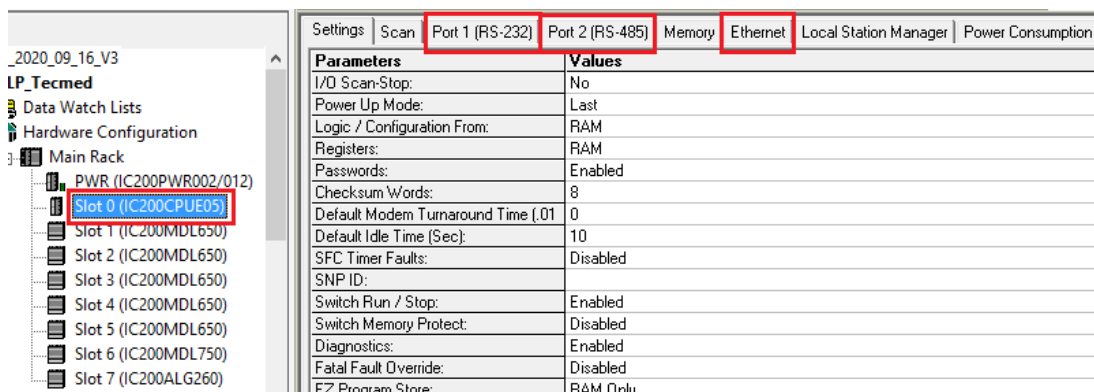


Figura 166. Puertos de comunicación del PLC GE IC200CPU05

Elaborado por: el autor.

3.5.3.2 Software DOPSoft 2.00.07

DOPSoft 2.00.07 (Figura 37), presenta una interfaz de trabajo amigable y sencillo para el programador, el cual será de gran ayuda para la creación de las pantallas en la HMI, una de sus ventajas es que no es necesario adquirir una licencia para su uso, ya que este software es de licencia gratuita.

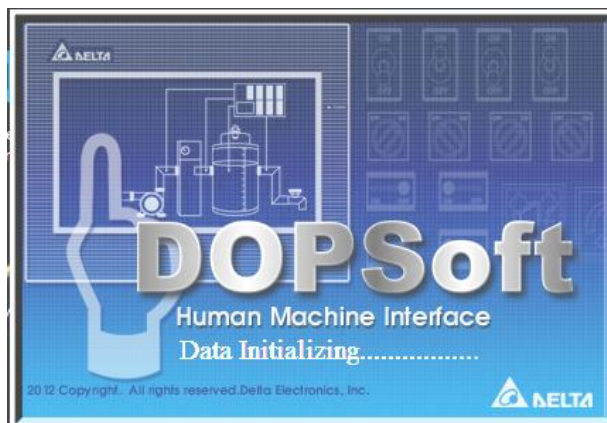


Figura 37. Software DOPSoft

Elaborado por: el autor

a) Parámetros de configuración de DOPSoft

Para empezar la creación de las pantallas HMI, se crea un nuevo proyecto como se muestra en la Figura 38, en la pestaña File se da clic sobre el botón New, para luego continuar con la configuración del resto de parámetros.

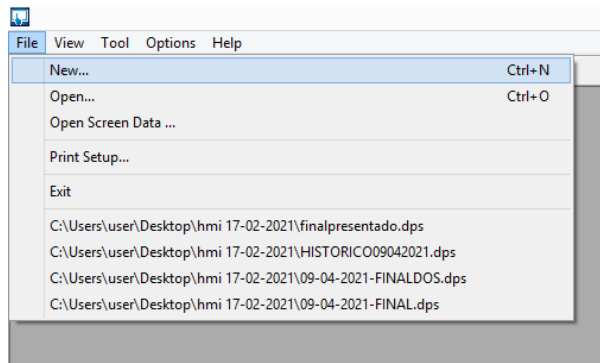


Figura 38. Creación de archivos en DOPSoft

Elaborado por: el autor

Se debe seleccionar el modelo y serie de pantalla en la cual se va a trabajar, en este proyecto se utiliza una pantalla modelo DOPW-157B, como se muestra en la Figura 39.

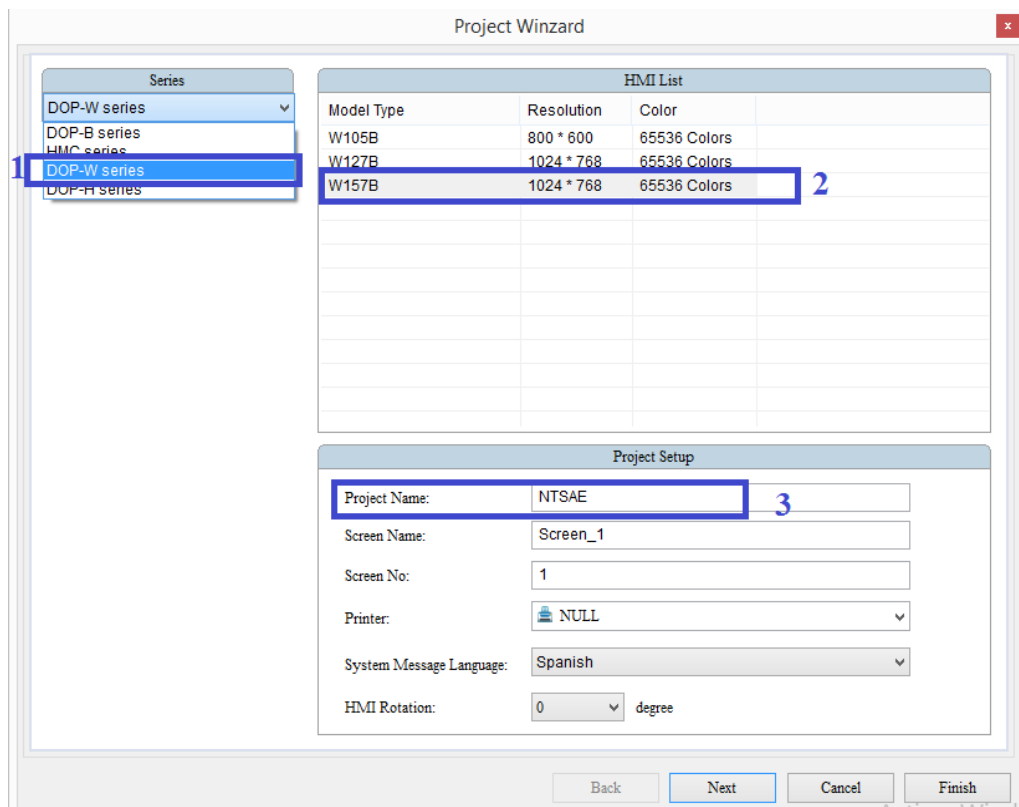


Figura 39. Selección de tipo de pantalla en DOPSoft

Elaborado por: el autor.

1. Serie de la pantalla DELTA (DOP-W)

2. Modelo de la pantalla (W157B)
3. Nombre del proyecto.

3.6 MODOS DE COMUNICACIÓN

3.6.1 Modos de comunicación entre la HMI DELTA y PLC GE

De acuerdo con las hojas de datos de la pantalla marca DELTA y el PLC GE los puertos de comunicación compatibles entre estos dispositivos son: el puerto COM2 y COM3 para interfaz RS-232 y RS-485. Para que exista una comunicación entre los dispositivos la configuración debe ser la misma en ambos equipos.

De acuerdo con las especificaciones, los protocolos en que se pueden comunicar la pantalla y el PLC son dos: mediante protocolo SNP (protocolo de comunicación propio de la marca GE) y otra mediante protocolo Modbus RTU; pero ya que parte de las configuraciones previas del PLC establecen que debe existir una comunicación con el sistema SCADA mediante protocolo Modbus RTU, ese este protocolo el que se utiliza para realizar la comunicación entre la HMI y el PLC, donde los parámetros de configuración se observan en la Tabla 40.

Interfaz de comunicación	RS-232
Bits de parada	1
Velocidad de transmisión	19200
Paridad	Impar (Odd)

Tabla 40. Parámetros de configuración para comunicación RS-232

3.6.1.1 Configuración de los parámetros de comunicación de la HMI hacia el PLC.

La Figura 40, muestra los pasos a seguir para la configuración de los parámetros de comunicación de la HMI, que son los siguientes:

- 1.- Puerto físico por el cual se va a conectar la pantalla con el PLC. (COM2)
- 2.- Marca del equipo con el cual se va a conectar, este parámetro se elige dependiente el tipo de comunicación que se va a realizar. En este proyecto se realizó pruebas con comunicación serial RS-232 con protocolo Modbus RTU entre los equipos.

3.- Tipo de protocolo Modbus por el cual se va a realizar la comunicación.

4. Parámetros de configuración del tipo de comunicación, es muy importante que los parámetros que se configuran en la pantalla sean los mismo que se configuran en el PLC, ya que de lo contrario no va a existir comunicación entre los equipos y la HMI mostrará un error de comunicación.

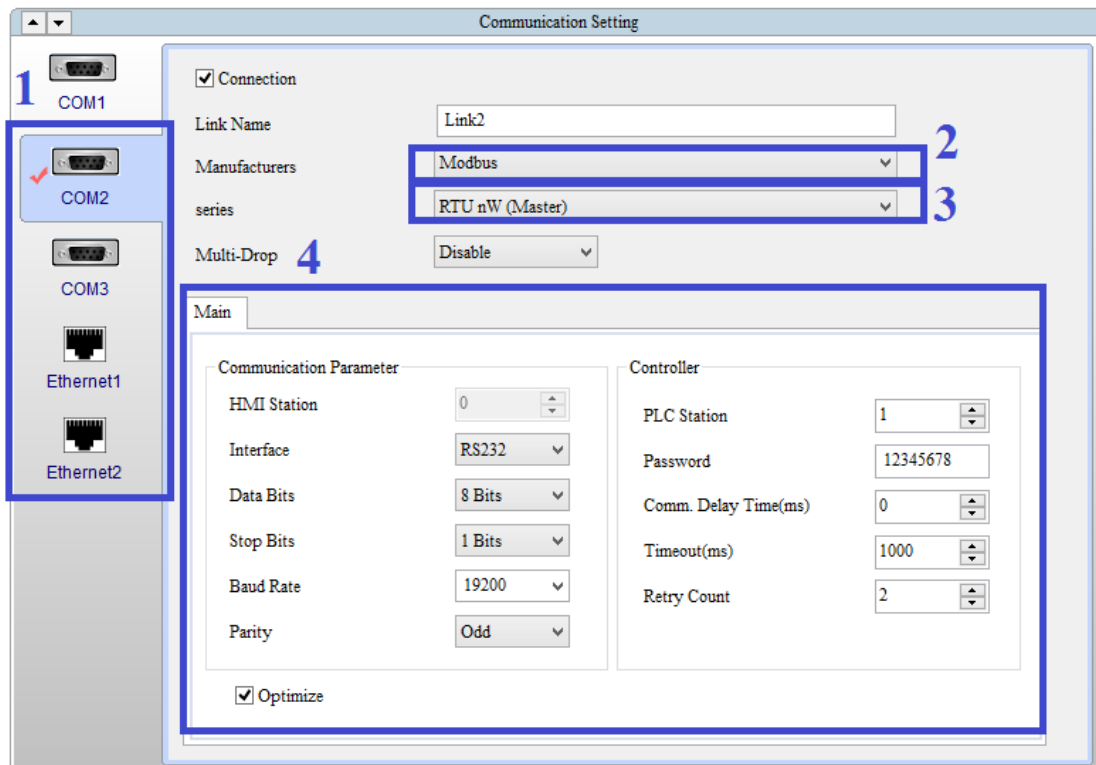


Figura 40. Configuración de parámetros de configuración de la pantalla DELTA

Elaborado por: el autor.

3.6.1.1 Configuración de comunicación de los parámetros del PLC hacia la HMI.

La Figura 41 muestra los parámetros de configuración establecidos en el PLC, los cuales deben ser los mismos que los parámetros de configuración del HMI.

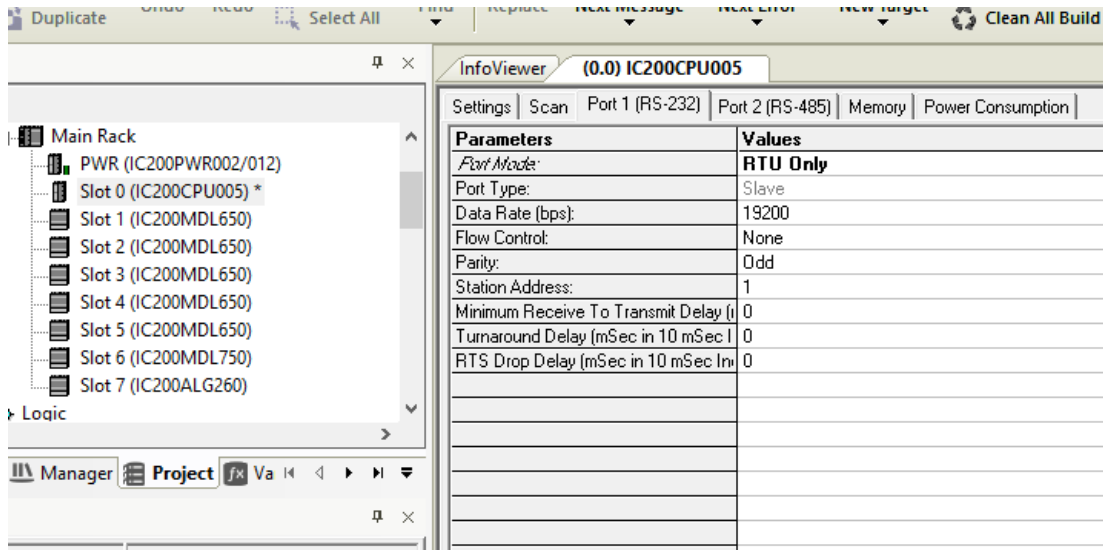


Figura 41. Configuración de los parámetros de comunicación del PLC

Elaborado por: el autor

3.6.1.2 Asignación de direcciones a las variables de lectura del PLC para la HMI

Ya que el sistema cuenta con una programación diseñada para realizar una comunicación desde el PLC hacia el SCADA, las variables de entradas y salidas analógicas y digitales ya se encuentran mapeadas. Aprovechando este mapeo de direcciones, se muestra en las Tablas 31, 32 y 33, todas las direcciones de las variables que van a ser visualizadas en la pantalla.

Además, en trabajo conjunto con un grupo de operadores y personal de mantenimiento, se ha reestructurado los nombres de cada una de las variables para así poder trabajar con una normalización, que permita acualquier persona que acceda a este sistema la comprensión y fácil interpretación de los valores se visualizan en las pantallas de la HMI del NSAE.

- **Registros**

La Tabla 29, muestra el rango de direcciones que se puede utilizar para adquirir registros de entrada y salida de tipo WORD. Los registros de entrada solo solo de lectura.

Tipo de registro	Formato	Rango de lectura/escritura	Longitud del dato
Registro de salida	Wn	n:40001-50000	WORD
Registro de entrada	Wn	n:30001-40000	WORD

Tabla 28. Registros Modbus para datos de tipo Word

- **Bobinas**

La Tabla 30, muestra el rango de direcciones que se puede utilizar para adquirir registros de entrada y salida de tipo Binario. Las entradas discretas son solo de lectura.

Tipo de contacto	Formato	Rango de lectura/escritura
Salidas discretas	Bn	n:1-1000
Entradas discretas	Bn	n:10001-2000

Tabla 29. Registros Modbus para datos de tipo Binario

a) Asignación de direcciones digitales de entrada

Módulo	Nombre	Dirección Interna	Dirección Modbus
DI1	Mando Manual 452 E1, E2 y E3	%I00001	10001
	Mando Automático 452 E1, E2 y E3	%I00002	10002
	Mando Automático BF-901/BF-902	%I00003	10003
	Mando Automático BE-911/BE-912	%I00004	10004
	Selección BE-911	%I00005	10005
	Selección BE-912	%I00006	10006
	Presión baja BE-911	%I00007	10007
	Presión baja BE-912	%I00008	10008
	Selección BF-901	%I00009	10009
	Selección BF-902	%I00010	10010
	Presión baja BF-901	%I00011	10011
	Presión baja BF-902	%I00012	10012
	Selección BF-903	%I00013	10013
	Selección BF-904	%I00014	10014
	Presión baja BF-903	%I00015	10015
	Presión baja BF-904	%I00016	10016
	Protección CMTSAE-1 50/51	%I00017	10017
	Bajo voltaje CMTSAE-1	%I00018	10018
	Abierto 452-1 CMTSAE-1	%I00019	10019
	Cerrado 452-1 CMTSAE-1	%I00020	10020

	Insertado 452-1 CMTSAE-1	%I00021	10021
	Protección CMTSAE-2 50/51	%I00022	10022
	Bajo voltaje CMTSAE-2	%I00023	10023
	Abierto 452-2 CMTSAE-2	%I00024	10024
	Cerrado 452-2 CMTSAE-2	%I00025	10025
	Insertado 452-2 CMTSAE-2	%I00026	10026
	Bajo voltaje 27 B barras	%I00027	10027
	Bajo voltaje alimentación 27-E1	%I00028	10028
	Bajo voltaje alimentación 27-E2	%I00029	10029
	Bajo voltaje generador 27-G	%I00030	10030
	Abierto Entrada 1-452E-1	%I00031	10031
	Cerrado Entrada 1-452E-1	%I00032	10032
DI2	Protección activada Entrada 1-452E-1	%I00033	10033
	Abierto Entrada 1-452E-1	%I00034	10034
	Cerrado Entrada 1-452E-1	%I00035	10035
	Protección activada Entrada 1-452E-1	%I00036	10036
	Abierto Entrada 1-452E-1	%I00037	10037
	Cerrado Entrada 1-452E-1	%I00038	10038
	Protección activada Entrada 1-452E-1	%I00039	10039
	Energizado Inversor BE-901	%I00040	10040
	Defecto Inversor BE-901	%I00041	10041
	Energizado Inversor BE-902	%I00042	10042
	Defecto Inversor BE-902	%I00043	10043
	Energizado Inversor BE-903	%I00044	10044
	Defecto Inversor BE-903	%I00045	10045
	Energizado Inversor BE-904	%I00046	10046
	Defecto Inversor BE-904	%I00047	10047
	Energizado Inversor BE-911	%I00048	10048
	Defecto Inversor BE-911	%I00049	10049
	Energizado Inversor BE-912	%I00050	10050
	Defecto Inversor BE-912	%I00051	10051
	Protección BD-921	%I00052	10052
	Protección E-901	%I00053	10053
	Protección TFGD2 51N	%I00054	10054
	Temperatura 140° TFGD2	%I00055	10055
	Temperatura 150° TFGD2	%I00056	10056
	Supervisión Tensión 120 BF-902	%I00057	10057
	Supervisión Tensión 120 BE-911	%I00058	10058
	Supervisión Tensión 120 BF-903	%I00059	10059
	Supervisión Tensión 120 BF-904	%I00060	10060
	Mando Automático BF-903/BF-904	%I00061	10061
	Alarma Activada CBD1 o 2	%I00062	10062
	Nivel de pozo alto CBD1 o 2	%I00063	10063
	Presión diferencial E-901	%I00064	10064

DI3	Nivel Desarenador LS-905 Bajo	%I00065	10065
	Nivel Desarenador LS-905 Alto	%I00066	10066
	Nivel Chimenea LS-904 Bajo	%I00067	10067
	Nivel Chimenea LS-904 Normal	%I00068	10068
	Nivel Desarenador LS-906 Bajo	%I00069	10069
	Nivel TB LS-901 Normal	%I00070	10070
	Nivel TB LS-901 Muy Bajo	%I00071	10071
	Protección BE-911	%I00072	10072
	Nivel Desarenador LS-906 Alto	%I00073	10073
	Nivel TB LS9-02 Normal	%I00074	10074
	Nivel TB LS9-02 Muy Bajo	%I00075	10075
	Falla TB LS-901	%I00076	10076
	Nivel TB LS903 Normal	%I00077	10077
	Nivel TB LS903 Alto	%I00078	10078
	Nivel TB LS903 Muy Alto	%I00079	10079
	Nivel TB LS903 Bajo	%I00080	10080
	Bajo voltaje 27-1 72-E1 PCCSAE	%I00081	10081
	Abierto 72-E1 PCCSAE	%I00082	10082
	Cerrado 72-E1 PCCSAE	%I00083	10083
	Protección Activada 72-E1 PCCSAE	%I00084	10084
	Interruptor de Salida 72-E1 PCCSAE	%I00085	10085
	Protección BE-912	%I00086	10086
	Protección BD-921	%I00087	10087
	Resorte cargado 452-1 CMTSAE-1	%I00088	10088
	Bajo voltaje 72-E1 PCCSAE 27-2	%I00089	10089
	Abierto 72-E1 PCCSAE	%I00090	10090
	Cerrado 72-E1 PCCSAE	%I00091	10091
	Protección Activado 72-E2 PCCSAE	%I00092	10092
	Interruptor de salida 72-E2	%I00093	10093
	Falla TB LS-902	%I00094	10094
	Algún interruptor abierto TSAE	%I00095	10095
	Resorte cargado 452-2 CMTSAE-2	%I00096	10096
DI4	Supervisión Tensión 125Vcc 452E-3	%I00097	10097
	Supervisión Tensión 125Vcc 452E-2	%I00098	10098
	Supervisión Tensión 125Vcc 452E-1	%I00099	10099
	Supervisión Tensión 120Vca BF-901	%I00100	10100
	Supervisión Tensión 120Vca BE-912	%I00101	10101
	Supervisión Tensión 125Vcc PLC	%I00102	10102
	Inserto Entrada 3 452E-3	%I00103	10103
	Resorte Cargado Entrada 3 452E-3	%I00104	10104
	Desenergizado BD-921	%I00105	10105
	Conectado BD-921	%I00106	10106
	Desenergizado E-901	%I00107	10107
	Conectado E-901	%I00108	10108

	Mando Local BD-921		%I00109	10109
	Mando Remoto BD-921		%I00110	10110
	Mando Local E-901		%I00111	10111
	Mando Remoto E-901		%I00112	10112
	Mando Local BF-901		%I00113	10113
	Mando Remoto BF-901		%I00114	10114
	Mando Local BF-902		%I00115	10115
	Mando Remoto BF-902		%I00116	10116
	Mando Local BF-903		%I00117	10117
	Mando Remoto BF-903		%I00118	10118
	Mando Local BF-904		%I00119	10119
	Mando Remoto BF-904		%I00120	10120
	Mando Local BE-911		%I00121	10121
	Mando Remoto BE-911		%I00122	10122
	Mando Local BE-912		%I00123	10123
	Mando Remoto BE-912		%I00124	10124
	Abierto FV-901		%I00125	10125
	Cerrado FV-901		%I00126	10126
	Interruptor Abierto CLAE FV-901		%I00127	10127
	Mando Remoto FV-901		%I00128	10128
DI5	Abierto FV-902		%I00129	10129
	Cerrado FV-902		%I00130	10130
	Interruptor Abierto CLAE FV-902		%I00131	10131
	Mando Remoto FV-902		%I00132	10132
	Abierto FV-903		%I00133	10133
	Cerrado FV-903		%I00134	10134
	Interruptor Abierto FV-903		%I00135	10135
	Mando Remoto FV-903		%I00136	10136
	Abierto FV-904		%I00137	10137
	Cerrado FV-904		%I00138	10138
	Interruptor Abierto FV-904		%I00139	10139
	Mando Remoto FV-904		%I00140	10140
	Abierto FV-911		%I00141	10141
	Cerrado FV-911		%I00142	10142
	Interruptor Abierto FV-911		%I00143	10143
	Mando Remoto FV-911		%I00144	10144
	Abierto FV-912		%I00145	10145
	Cerrado FV-912		%I00146	10146
	Interruptor Abierto CLAE FV-912		%I00147	10147
	Mando Remoto FV-912		%I00148	10148
	Insertado Entrada 1 452E-1		%I00149	10149
	Resorte Cargado Entrada 1 452E-1		%I00150	10150
	Insertado Entrada 2 452E-2		%I00151	10151
	Resorte Cargado Entrada 2 452E-2		%I00152	10152

Protección 150°C TFSAE-1		%I00153	10153
Alarma 140°C TFSAE-1		%I00154	10154
Falla TFSAE-1		%I00155	10155
Reserva		%I00156	10156
Protección 150°C TFSAE-2		%I00157	10157
Alarma 140°C TFSAE-2		%I00158	10158
Falla TFSAE-2		%I00159	10159
Reserva		%I00160	10160

Tabla 30. Direcciones Modbus de las entradas Digitales del PLC

b) Asignación de direcciones digitales de salida

Módulo	Nombre	Dirección Interna	Dirección Modbus
DO1	Encender BE-911	%Q00001	00001
	Encender BE-912	%Q00002	00002
	Encender BF-901	%Q00003	00003
	Encender BF-902	%Q00004	00004
	Encender BF-903	%Q00005	00005
	Encender BF-904	%Q00006	00006
	Encender BD-921	%Q00007	00007
	Encender E -901	%Q00008	00008
	Cerrar 452E-1 TSAE	%Q00009	00009
	Abrir 452E-1 TSAE	%Q00010	00010
	Cerrar 452E-2 TSAE	%Q00011	00011
	Abrir 452E-2 TSAE	%Q00012	00012
	Cerrar 452E-3 TSAE	%Q00013	00013
	Abrir 452E-3 TSAE	%Q00014	00014
	Cerrar 452E-1 CMTSAE-1	%Q00015	00015
	Abrir 452E-1 CMTSAE-1	%Q00016	00016
	Reserva		
	Reserva		
	Cerrar 452E-2 CMTSAE-2	%Q00017	00017
	Abrir 452E-2 CMTSAE-2	%Q00018	00018
	Cerrar FV-901	%Q00019	00019
	Abrir FV-901	%Q00020	00020
	Cerrar FV-902	%Q00021	00021
	Abrir FV-902	%Q00022	00022
	Cerrar FV-903	%Q00023	00023
	Abrir FV-903	%Q00024	00024
	Cerrar FV-904	%Q00025	00025
Abrir FV-904	%Q00026	00026	
Cerrar FV-911	%Q00027	00027	

Abrir FV-911	%Q00028	00028
Cerrar FV-912	%Q00029	00029
Abrir FV-912	%Q00030	00030
CMTSAE-1	%Q00031	00031
CMTSAE-2	%Q00032	00032
Reserva		
Reserva		

Tabla 31. Direcciones Modbus de las salidas Digitales del PLC

c) Asignación de direcciones analógicas de entrada

Módulo	Descripción	Entrada	Dirección Interna	Dirección Modbus
AI1	Flujo desarenador FL-907	A1	%R00839	40839
		A2		
		A3		
	Tableros de distribución 125Vcc PCCSAE Medición tensión barra 1	A4	%R00840	40840
		A5		
		A6		
	Tableros de distribución 125Vcc PCCSAE Medición tensión barra 2	A7	%R00841	40841
		A8		
		A9		
	Control de Nivel 1 Tanque de Bombeo TCN-TB	A10	%R00846	40846
		A11		
		A12		
Temperatura Transformador TFSAE 1	B1	%R00842	40842	
	B2			
	B3			
Temperatura Transformador TFSAE 2	B4	%R00843	40843	
	B5			
	B6			
Temperatura Transformador TFGD 2	B7	%R00845	40845	
	B8			
	B9			
Control de Nivel 2 Tanque de Bombeo TCN-TB	B10	%R00400	40410	
	B11			
	B12			

Tabla 32. Direcciones Modbus de las entradas Analógicas del PLC

3.6.2 Modo de comunicación entre la HMI DELTA, Variadores de Frecuencia ABB y Controlador de temperatura DTB4848

Para realizar la comunicación entre los Variadores de Frecuencia marca ABB y la pantalla DELTA es necesario diseñar una red Modbus que permita obtener los datos de estos y visualizarlos en la HMI, para lo cual se aplica el mismo mecanismo de configuración entre el PLC y la pantalla, pero a través del protocolo de comunicación Modbus RTU con interfaz RS-485.

3.6.2.1 Configuración de los parámetros de comunicación de la HMI hacia los variadores de frecuencia y el controlador de temperatura.

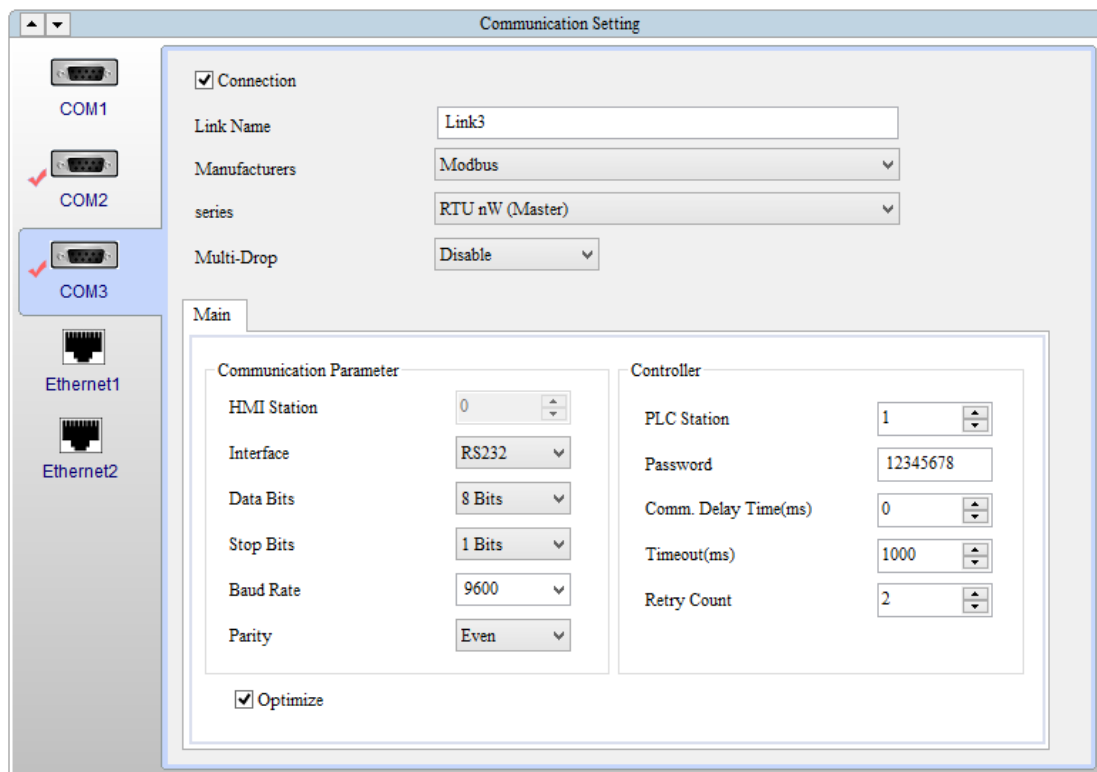


Figura 172. Configuración de los parámetros de comunicación del HMI para la Red Modbus

Elaborado por: el autor

El puerto de comunicación serial que se va a utilizar en la pantalla para la red Modbus de variadores de frecuencia es el puerto COM3 (Figura 42), se selecciona el tipo de

estándar que va a ser Modbus y el protocolo de comunicación que será Modbus RTU y los parámetros de configuración se muestran en la Tabla 34.

Interfaz de comunicación	RS-485
Bits de parada	1
Velocidad de transmisión	9600
Paridad	Par (even)

Tabla 33. Parámetros de configuración para comunicación mediante interfaz RS-485

3.6.2.2 Configuración de los parámetros de comunicación de los variadores de frecuencia hacia la HMI.

Mediante el Adaptador Modbus RMBA-01 que se debe instalar en el convertidor, se crea una interfaz denominada Enlace Modbus Estándar, usada para el control externo del convertidor gracias a un controlador Modbus integrado que permite solamente comunicaciones mediante protocolo Modbus RTU.

a) Programación de los Variadores de Frecuencia

Una vez instalado eléctrica y mecánicamente el módulo adaptador se definen los parámetros de configuración para el convertidor que se muestran en la Tabla 35:

Parámetro	Ajustes alternativos	Ajuste para control Modbus	Función
INICIO DE LA COMUNICACIÓN			
98.02	Modbus Estándar personalizado	Modbus estándar	Activa los parámetros de comunicación. Inicia la comunicación entre el convertidor y el controlador de protocolo Modbus.
98.07	ABB Drives Generic CSA 2.8/3.0	ABB Drives	Selecciona el perfil de comunicación que usa el convertidor.
PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN			
52.01	1 a 247		Especifica el número de estación del convertidor en la red Modbus
52.02	9600		Define la velocidad de comunicación de la red Modbus
52.03	EVEN		Define la paridad en la red Modbus.

Tabla 34. Parámetro de comunicación de los Variadores de Frecuencia [28]

Señales actuales y parámetros

Una señal actual es aquella medida o calculada por el convertidor y que puede ser supervisada por el usuario, mientras que un parámetro es una instrucción de funcionamiento del convertidor.

Dirección	Nombre	Descripción	FbEq
SEÑALES ACTUALES (01).- Señales básicas para monitorear el convertidor			
01.02	Velocidad	Calculada del motor en rpm	-20000=-100% 20000=100% De velocidad máxima
01.03	Frecuencia	Frecuencia calculada de salida del convertidor	-100=-1Hz 100=1Hz
01.04	Intensidad	Intensidad medida del motor	10=1 A
01.05	Par	Par motor calculado	-1000=-100% 1000=100% del par motor nominal
01.06	Potencia	Potencia del motor	-1000=-100% 1000=100% de la potencia nominal del motor
01.08	Tensión de Red	Tensión de alimentación calculada	1=1V
01.09	Tensión de salida	Tensión del motor calculada	1=1 V
01.10	Temperatura del radiador	Temperatura del IGBT calculada	10=1%
01.14	Reloj horas	Contador de tiempo transcurrido cuando la tarjeta de control recibe alimentación	1 =1h
01.15	Kilowatts hora	Contador de kWh de salida del inversor durante el funcionamiento	1=100kWh
SEÑALES ACTUALES (03).- Códigos de datos para monitorear la comunicación del bus de campo			
03.20	Último fallo	Código de bus de campo del último fallo.	
03.25	Última alarma	Código de bus de campo de la última alarma.	

Tabla 35. Direccionamiento de parámetros de los Variadores de Frecuencia [28]

La Tabla 36 de señales actuales y parámetros muestra los valores equivalentes de bus de campo para cada señal o parámetro. Se han tomado solamente señales requeridas por los operadores de la Central San Francisco, y mediante estas direcciones se pueden adquirir los datos que se van a visualizar en la pantalla HMI. El termino FbEq se refiere

al equivalente de bus de campo, es decir el escalado entre el entero utilizado en la comunicación serie y el valor mostrado en el panel.

b) Lectura y escritura de registros

Los registros del variador de frecuencia son mapeados en registros de dirección 4xxxx. Estos registros son los que serán enviados a la HMI, desde donde se podrían modificar sus valores, sin embargo para este proyecto solamente se usarán los registros como lectura de datos mediante la pantalla.

Mapeo de registros

Las direcciones de registro se pueden separar dependiendo el tipo de señal y su función como se muestra en la Tabla 37, donde GG es el grupo de número y PP es el número de parámetro dentro de un grupo.

	4GGPP	GG	PP
Cada grupo de datos contiene 3 palabras.	40001-40096	00 grupo de datos	01 Dato Word 1.1 02 Dato Word 1.2 03 Dato Word 1.3 04 Dato Word 1.1 05 Dato Word 2.2 06 Dato Word 2.3 07 Dato Word 2.1 ... 94 Dato Word 32.1 95 Dato Word 32.2 96 Dato Word 32.3
Parámetros	40101-40199	01 grupo 01	01 Parámetro 01 02 Parámetro 02 ... 99 Parámetro 99
	40201-40299	02 grupo 02	01 Parámetro 01 02 Parámetro 02 ... 99 Parámetro 99

	49901-49999	99 grupo 99	01 Parámetro 01 02 Parámetro 02 ... 99 Parámetro 99

Tabla 36. Mapeo de registros de los variadores de frecuencia [29]

c) Asignación de direcciones para Variadores de Frecuencia

De acuerdo a la Tabla 38 de mapeo, a las variables que van a ser visualizadas en la pantalla HMI se les debe asigna las siguientes direcciones para que los valores puedan ser monitoreados por la HMI:

Dirección	Nombre	Dirección Modbus
01.02	Velocidad	40102
01.03	Frecuencia	40103
01.04	Intensidad	40104
01.05	Par	40105
01.06	Potencia	40106
01.08	Tensión de Red	40108
01.09	Tensión de salida	40109
01.10	Temperatura del radiador	40110
01.14	Reloj horas	40114
01.15	Kilowatts hora	40115
03.20	Último fallo	40329
03.25	Última alarma	40325




Tabla 37. Direcciones de los parámetros de los Variadores de Frecuencia

3.6.2.3 Configuración de los parámetros de comunicación del controlador de temperatura hacia la HMI.

Este controlador permite el uso de su puerto de comunicación serial, con el cual se puede visualizar la temperatura del Tanque de Bombeo a través de la HMI mediante del protocolo Modbus RTU.

a) Programación del controlador de temperatura

Parte de la programación del controlador de temperatura es la configuración de los parámetros de comunicación como parte fundamental para que exista comunicación (Tabla 39), si estos parámetros no son los mismos a los del resto de equipos que conforman la red Modbus, no se podrá adquirir la lectura de temperatura del sensor PT100.

Lectura del Display	Descripción	Opción
	Selección de formato, ASCII o RTU	RTU
	Número de esclavo	20
	Paridad	Even

STOP	Bits de parada	1
bps	Velocidad de transferencia	9600
LEN	Longitud de datos	8

Tabla 38. Configuración de parámetros de comunicación del controlador de temperatura DTB4848

b) Asignación de direcciones para controlador de temperatura

La Tabla , muestra las direcciones Modbus con las cuales se pueden obtener los diferentes datos que genera el controlador de temperatura, sin embargo de estos datos solamente la Temperatura de proceso es el dato que se requiere visualizar como parte del mejoramiento del sistema.

Dato	Dirección Modbus			Unidad
	Hexadecimal	Decimal	Acceso	
Temperatura de proceso	1000	4096	Lectura	°C x 10
Set point	1001	4097	Lectura/Escritura	°C x 10
Límite superior del instrumento	1002	4098	Lectura/Escritura	
Límite inferior del instrumento	1003	4099	Lectura/Escritura	

Tabla 39. Direccionamiento de los parámetros del controlador de temperatura

3.6.3 Asignación de direcciones a las variables de lectura en la HMI

Los parámetros que se deben configurar para una correcta adquisición de los datos de los variadores de frecuencia, controlador de temperatura y PLC mediante la pantalla se visualiza en la Figura 43, y son:

1. Asignar el puerto de comunicación por el cual está conectado la red Modbus o el PLC para leer el dato. COM2 para la comunicación con el PLC, COM3 para la comunicación con la red Modbus.
2. Asignar el tipo de dato de se va a leer. Para la lectura de valores de velocidad, frecuencia, corriente, temperatura, etc., se utiliza datos tipo palabra (W). Para lectura de las señales discreta se utiliza datos tipo bits (B).
3. Se debe asignar la dirección del dato que se va a mostrar en la pantalla, según la Tabla 40, de asignación de direcciones de los variadores, controlador de temperatura y PLC.

4. Es importante colocar el número de esclavo del cual se van a obtener los datos, para evitar errores de lectura y confusiones entre los números de variadores y el controlador de temperatura. Para la comunicación con el PLC se deja este parámetro por defecto.

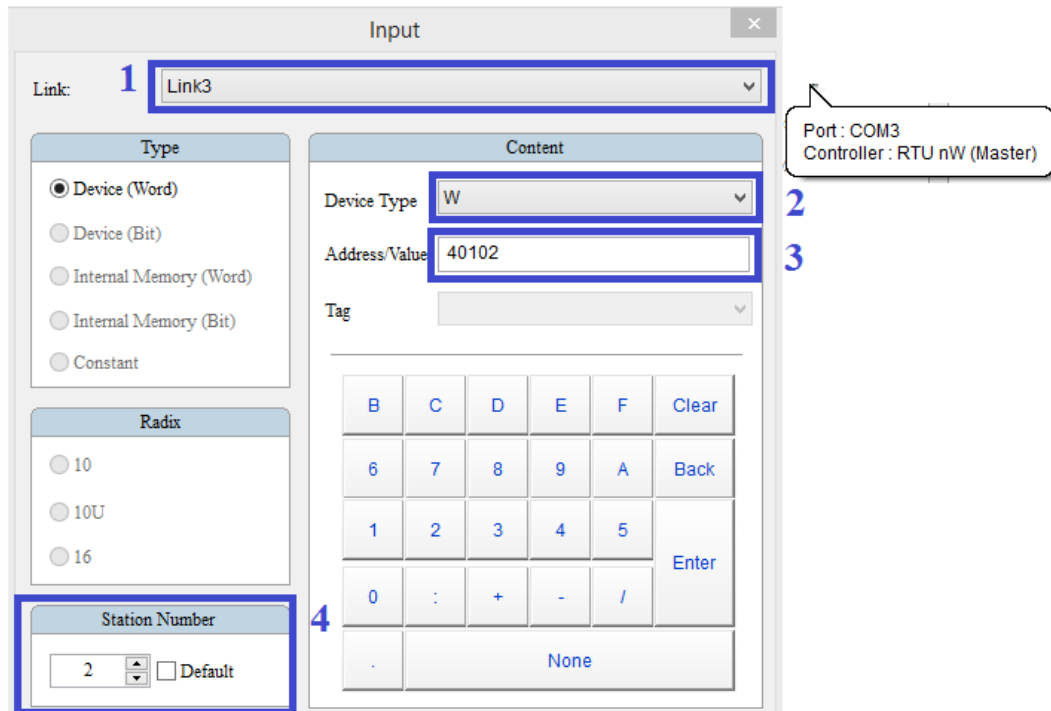


Figura 183. Asignación de variables en el HMI

Elaborado por: el autor.

3.7 DISEÑO DE LAS PANTALLA PARA LA HMI

El diseño y distribución de la interfaz consta de un total de doce pantallas para el monitoreo del sistema, como se muestra en la Figura 44, y contiene:

- Una pantalla Principal.
- Una pantalla de Diagrama Unifilar.
- Una pantalla de Diagrama Trifilar de los Variadores de Frecuencia.
- Tres pantallas de estados de las Variables
- Una pantalla de gráficas de las variables analógicas.
- Una pantalla del Historial de Eventos
- Dos pantallas auxiliares de las gráficas de las variables analógicas
- Dos pantallas auxiliares de la nomenclatura de elementos del sistema

A continuación, se muestra el esquema general de distribución de las interfaces descritas que fueron diseñadas en la HMI:

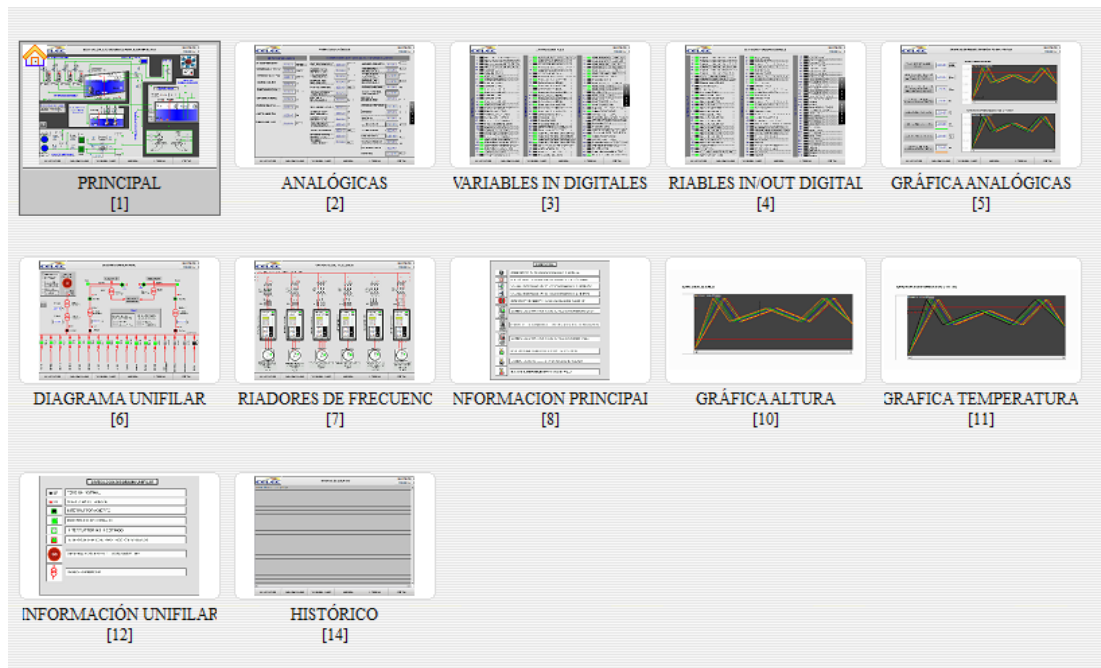


Figura 194. Esquema general de distribución de las interfaces de la HMI

Elaborado por: el autor.

PANTALLA PRINCIPAL

Muestra una visión general del sistema (Figura 45), basado en el diseño de la interfaz desarrollada en el SCADA. Contiene el funcionamiento completo del NSE: la distribución del tanque de bombeo, desarenador, chimenea de equilibrio inferior, funcionamiento de las bombas de enfriamiento, bombas sumergibles, extractor de aire, válvulas de flujo, presostatos, sensores de nivel. De acuerdo con las reglas de la guía ergonómica para el diseño de esta pantalla se han tomado en cuenta las siguientes normativas:

- Diferencia de fondos mediante combinación de contrastes de colores.
- Uso de color de las tuberías de fluido del proceso: (verde para agua de enfriamiento).
- Especificar las unidades de medida en señales analógicas, como sensores de nivel, temperatura y flujo.
- Etiquetas de cada sección y elemento que forma parte del sistema.

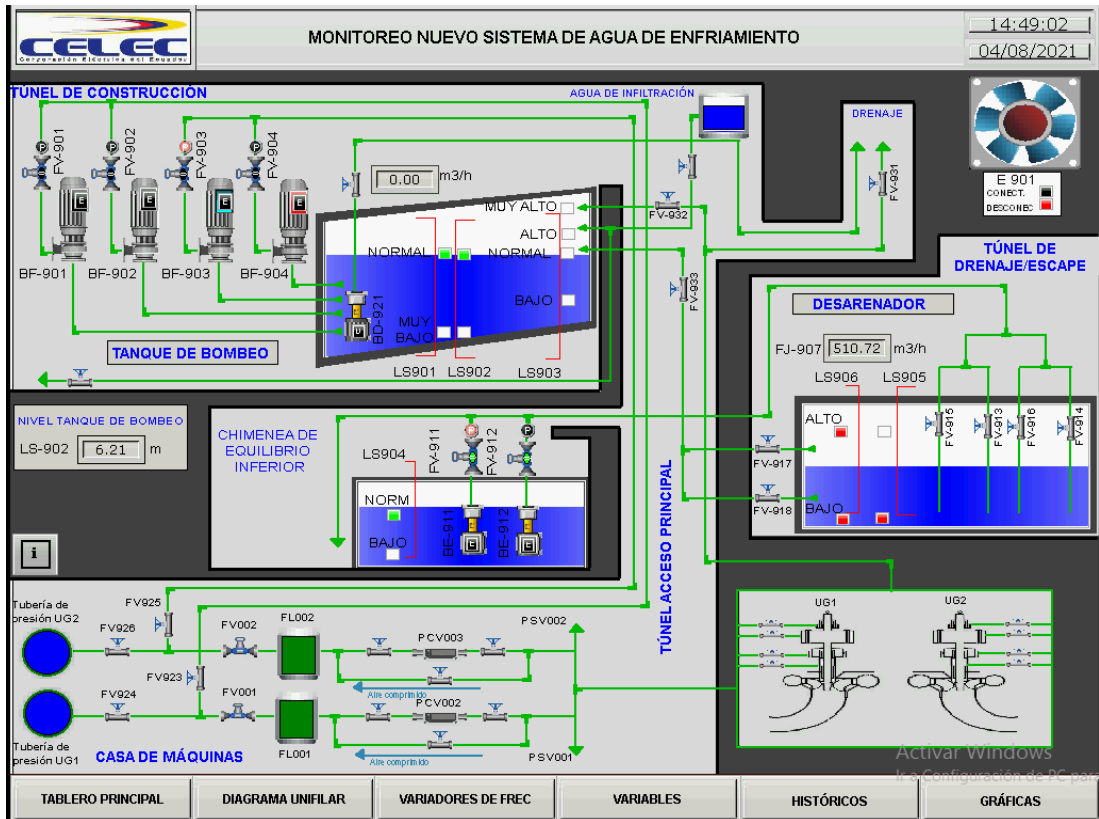


Figura 205. Pantalla principal del NSAE

Elaborado por: el autor

Túnel de Construcción

En esta área se encuentran las bombas de enfriamiento que envían el agua desde el Tanque de bombeo hacia el sistema de enfriamiento (Figura 46). Las variables que se obtienen en esta sección son:

- Estados de las bombas BF-901, BF-902, BF-903, BF-904: energizado, desenergizado y en falla
- Estado de las válvulas de flujo FV-901, FV-902, FV-903, FV-904: abierto, cerrado e interruptor de CLAE abierto.
- Estado de los presóstatos: presión normal y presión baja.

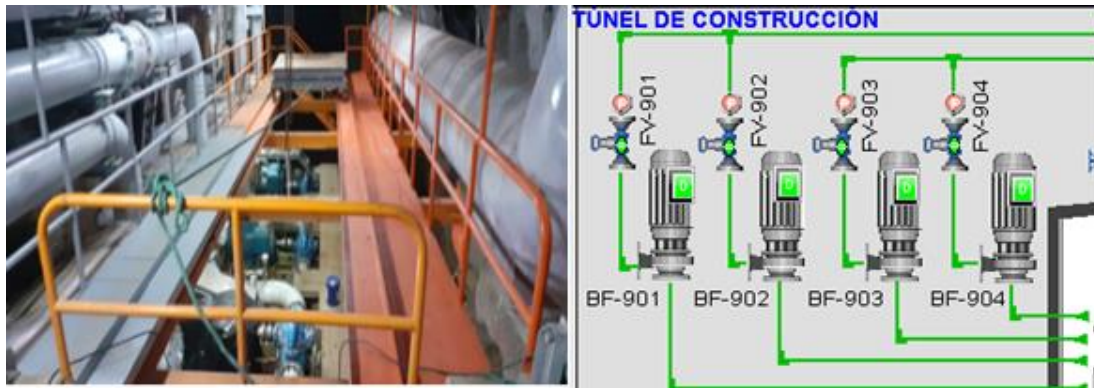


Figura 216. Túnel de Construcción del NSAE

Elaborado por: el autor

Tanque de bombeo

En este tanque se almacena el agua que llega desde el desarenador y alimenta las bombas de enfriamiento para que continúen con su proceso (Figura 47). Dentro de este tanque se encuentra una bomba sumergible BD-921, que sirve para vaciar el tanque en caso de que los niveles de agua este por sobre los límites permitidos mediante tres sensores de nivel ubicados en distintas zonas del tanque. Las variables que se obtienen en esta sección son:

- Estados de la bomba sumergible BD-921, energizado, desenergizado y en falla
- Estado del sensor de nivel LS901 y LS902: normal y muy bajo.
- Estado del sensor de nivel LS903: muy alto, alto, normal y bajo.
- Temperatura del tanque y sensores nivel analógicos.



Figura 227. Tanque de Bombeo del NSAE

Elaborado por: el autor

Desarenador

Almacena el agua que se va a ser enviado al tanque de bombeo, recepta además el agua de la Chimenea de Equilibrio Inferior (Figura 48). Posee dos sensores de nivel que ayudan a mantener los niveles del tanque en su límite. Las variables que se obtienen en esta sección son:

- Estado del sensor de nivel LS906 y LS902: alto y bajo.
- Estado del sensor de nivel LS905: alto y bajo.
- Lectura de flujo del sensor FJ-907.

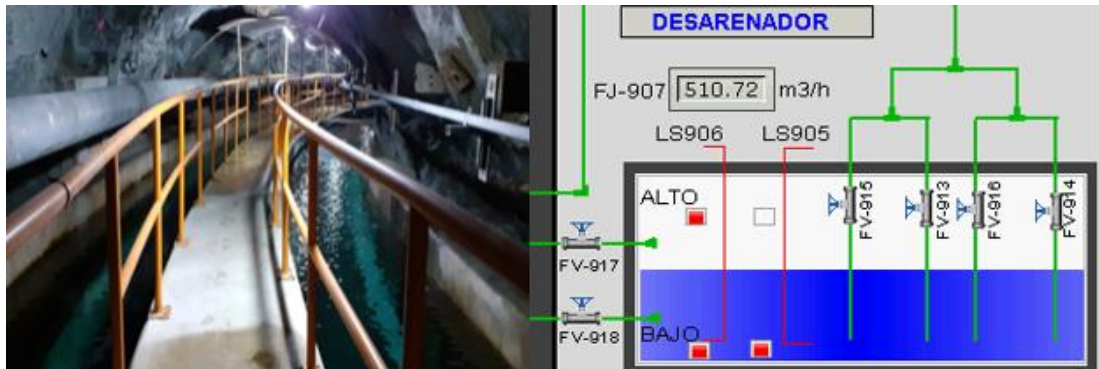


Figura 238. Desarenador del NSAE

Elaborado por: el autor

Chimenea de Equilibrio Inferior

Almacena el agua que se va a ser enviado al tanque de bombeo, recepta además el agua de la Chimenea de Equilibrio Inferior (Figura 49). Posee dos sensores de nivel que ayudan a mantener los niveles del tanque en su límite. Las variables que se obtienen en esta sección son:

- Estados de las bombas BE-911 y BE-912: energizado, desenergizado y en falla
- Estado de las válvulas de flujo FV-911, FV-912: abierto, cerrado e interruptor de CLAE abierto.
- Estado de los presóstatos: presión normal y presión baja.

- Estado del sensor de nivel LS904: normal y bajo.

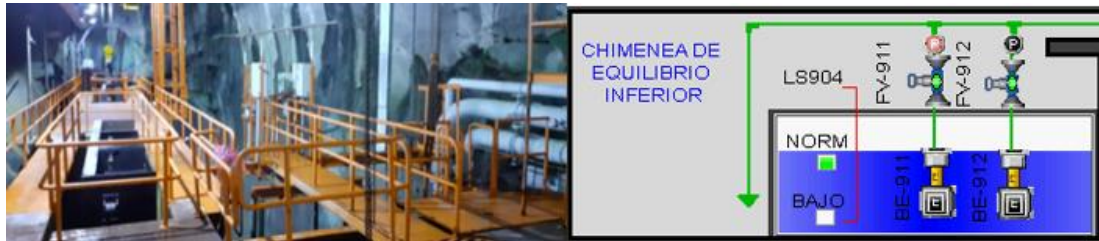


Figura 49. Chimenea de Equilibrio Inferior del NSAE

Elaborado por: el autor

Casa de Máquinas

En el diseño de la pantalla principal se incluyen todas las etapas del Nuevo Sistema de Agua de Enfriamiento. Casa de Máquinas (Figura 50), es la etapa final, donde el agua llega a las Unidades de Generación para enfriar los generadores, pero en la interfaz no se adquiere ninguna variable de esta etapa del sistema, ya que el PLC no recibe información de esta.

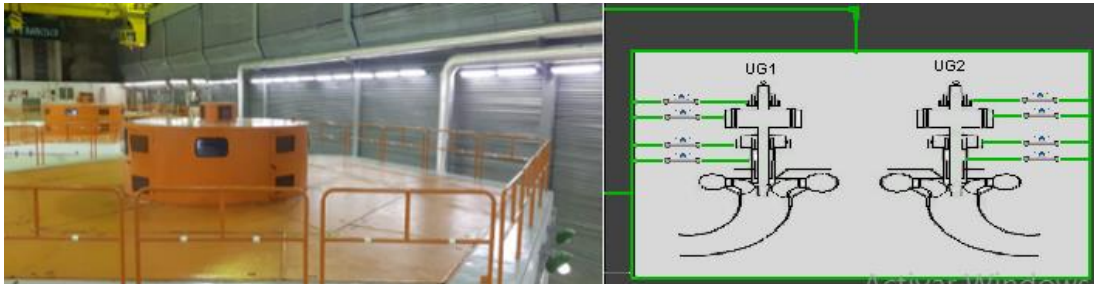


Figura 50. Generadores de la Central San Francisco

Elaborado por: el autor

Extractor central de aire

Uno de los equipos que también se muestran en la interfaz es el estado del motor del extractor central de aire (Figura 51), gracias a la capacidad de desarrollo de interfaces de DOPSoft se puede observar en la pantalla el estado del extractor de forma animada cuando se encuentra encendido, y estático cuando esta apagado, además de la visualización del estado de las variables encendido y apagado.



Figura 51. Extractor central de aire del NSAE

Elaborado por: el autor

Información

Para la representación de las señales discretas que forman parte del sistema, se utilizan las recomendaciones de la GEDIS, en la cual se establece los siguientes parámetros:

- Deben ser un tamaño visible, simples y cerrados.
- No es necesario tantos detalles, ni realismos innecesarios.

En la siguiente tabla que se muestra en la Figura 52, se visualizan los estados establecidos para las bombas, válvulas de flujo y presóstatos.

SIMBOLOGÍA	
	PRESÓSTATO FY 901/902/903/904/911/912 NORMAL
	PRESÓSTATO FY 901/902/903/904/911/912 PRESIÓN BAJA
	VÁLVULAS DE FLUJO FY 901/902/903/904/911/912 CERRADO
	VÁLVULAS DE FLUJO FY 901/902/903/904/911/912 ABIERTO
	INTERRUPTOR ABIERTO CLAE VÁLVULAS DE FLUJO VF
	BOMBAS DE ENFRIAMIENTO BE 901/902/903/904 ENERGIZADA
	BOMBAS DE ENFRIAMIENTO BE 901/902/903/904 DESENERGIZADA
	BOMBAS DE ENFRIAMIENTO BE 901/902/903/904 EN FALLA
	BOMBAS SUMERGIBLES BF 911/912 ENERGIZADA
	BOMBAS SUMERGIBLES BF 911/912 DESENERGIZADA
	BOMBAS SUMERGIBLES BF 911/912 EN FALLA

Figura 52. Tabla de información de la Pantalla Principal

Elaborado por: el autor

PANTALLA “DIAGRAMA UNIFILAR”

Contiene una simplificación visual del circuito de potencia del sistema representado en una sola línea (Figura 53). Indica las conexiones entre elementos de protección y control, considerando los elementos eléctricos presentes: interruptores, protecciones, disyuntores, transformadores y temperatura de los transformadores. Los objetivos de esta pantalla son:

- Mostrar una representación del sistema eléctrico del Sistema de Enfriamiento de forma simple.
- Mostrar los datos más importantes y característicos del sistema.

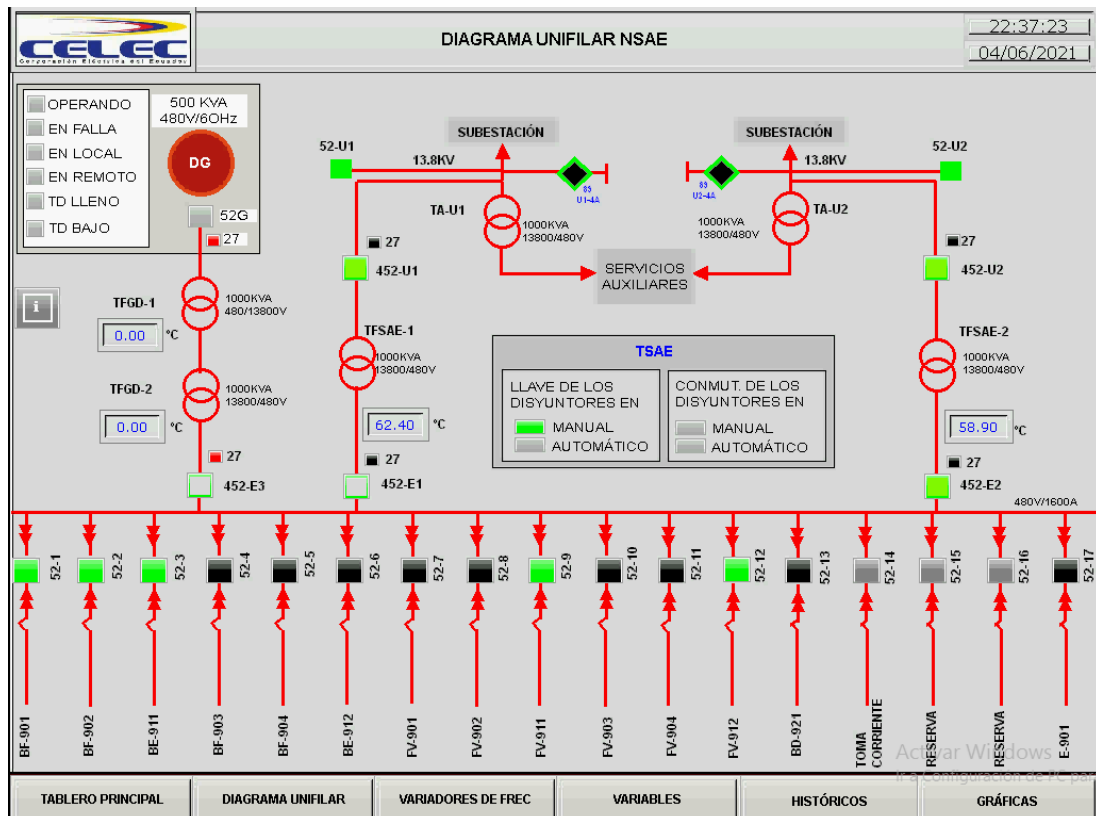


Figura 243. Diagrama Unifilar del NSAE

Elaborado por: el autor

Al igual que en la pantalla principal, se puede visualizar al detalle el estado de los elementos de los cuales se obtiene información mediante la interfaz HMI (Figura 54).









SIMBOLOGÍA DIAGRAMA UNIFILAR	
	TENSIÓN NORMAL
	ALERTA BAJA TENSIÓN
	INTERRUPTOR ABIERTO
	INTERRUPTOR CERRADO
	INTERRUPTOR NO INSERTADO
	INTERRUPTOR CON PROTECCIÓN ACTIVADA
	GENERADOR DIESEL 500KVA-480V/60Hz
	TRANSFORMADOR

Figura 254. Tabla de información de la pantalla del Diagrama Unifilar

Elaborado por: el autor

PANTALLA “VARIADORES DE FRECUENCIA” - DIAGRAMA TRIFILAR

Mediante la metodología de la GEDIS denominada “Información y Valores de Proceso”, se establece que los valores analógicos de procesos permiten a los operadores informarse sobre el estado del sistema. Para los Variadores de Frecuencia que se visualizan en la Figura 55, los datos más importantes que se van a obtener mediante la HMI son:

V.- Voltaje de salida del Variador de Frecuencia (Volts).

A.- Es la corriente de salida del Variador de Frecuencia (Amperes).

rpm. - Velocidad real a la cual trabaja el motor (revoluciones por minuto).

Hz. - Frecuencia de salida del Variador de Frecuencia (Hertz).

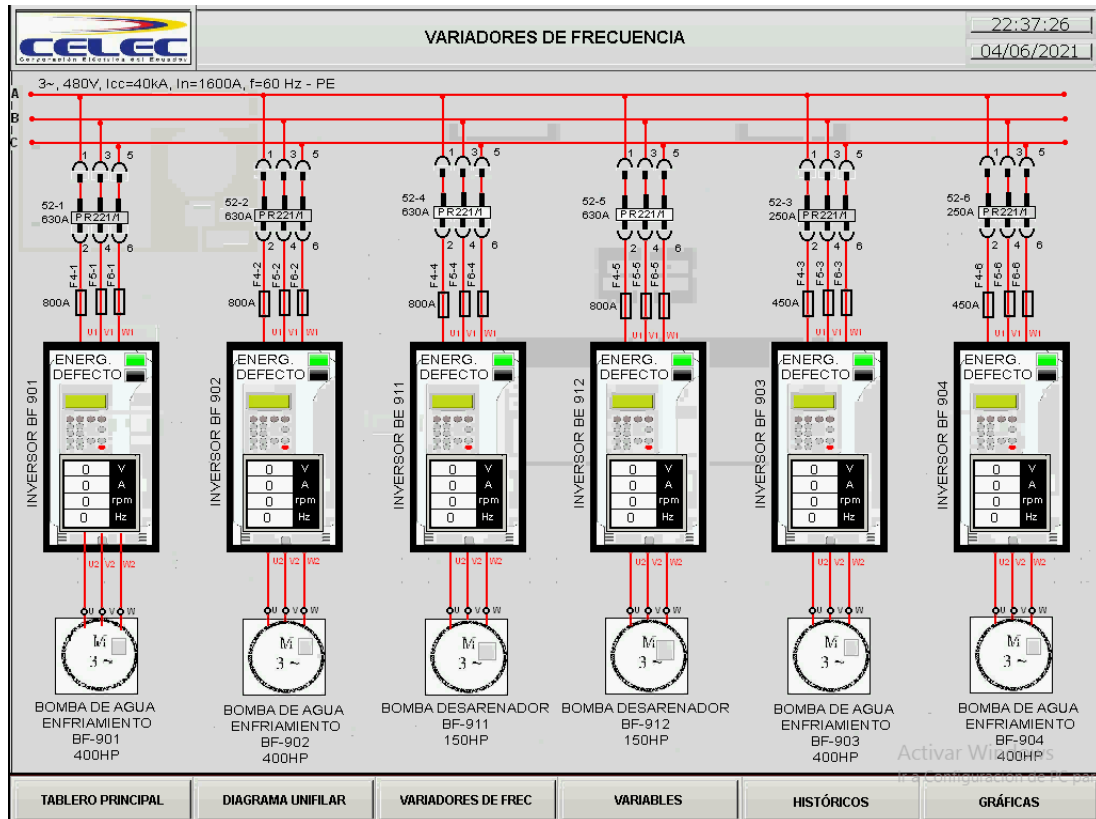


Figura 265. Estado de los variadores de frecuencia del NSAE

Elaborado por: el autor

VARIABLES

Uno de los principales requerimientos de los operadores es el desarrollo de una pantalla que contenga todas las variables de proceso del sistema, ya que no existe una interfaz en la que se pueda visualizar el estados de las mismas (Figuras 56, 57 y 58). Se divide en tres pantallas:

- **Pantalla “Entradas Digitales”**

Contiene el estado de las entradas digitales de los módulos de entradas digitales uno, dos y tres del PLC. Estas variables no hacen referencia al estado real de los indicadores visuales del PLC, sino a su lógica de programación. Por tal razón, para evitar confusión en la contrastación de lectura hay que tomar en cuenta que en el estado de ciertos indicadores se encuentra la letra “N”, lo que indica que esa variables está negada.

CELEC CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR		ENTRADAS DIGITALES		20:11:27
				04/06/2021
ENTRADA DIGITAL 1	I1		Mando Manual 452 E1,E2 Y E3	S I G U I E N T E
	I2		Mando Automático 452 E1,E2 Y E3	
	I3		Mando Automático BF-901/BF-902	
	I4		Mando Automático BE-911/BE-912	
	I5		Selección BE-911	
	I6		Selección BE-912	
	I7		Presión baja BE-911	
	I8		Presión baja BE-912	
	I9		Selección BF-901	
	I10		Selección BF-902	
	I11		Presión baja BF-901	
	I12		Presión baja BF-902	
	I13		Selección BF-903	
	I14		Selección BF-904	
	I15		Presión baja BF-903	
	I16		Presión baja BF-904	
ENTRADA DIGITAL 2	I17		Protecc. CMTSAE1 50/51	
	I18		Bajo Voltaje CMTSAE-1	
	I19		Abierto 452-1 CMTSAE-1	
	I20		Cerrado 452-1 CMTSAE-1	
	I21		Insertado 452-1 CMTSAE-1	
	I22		Protección CMTSAE 2 50/51	
	I23		Bajo Voltaje CMTSAE-2	
	I24		Abierto 452-2 CMTSAE-2	
	I25		Cerrado 452-2 CMTSAE-2	
	I26		Insertado 452-2 CMTSAE-2	
	I27		Bajo Voltaje 27B Barras	
	I28		Bajo voltaje Alimentación 27-E1	
	I29		Bajo voltaje Alimentación 27-E2	
	I30		Bajo voltaje Generador 27G	
	I31		Abierto Entrada 452E-1	
	I32		Cerrado Entrada 452E-1	
ENTRADA DIGITAL 3	I11		Protección activada Entrada 452E-1	
	I12		Abierto Entrada 452E-2	
	I13		Cerrado Entrada 452E-2	
	I14		Protección activada Entrada 452E-2	
	I15		Abierto Entrada 452E-3	
	I16		Cerrado Entrada 452E-3	
	I17		Protección activada Entrada 452E-3	
	I18		Energizado Inversor BE-901	
	I19		Defecto Inversor BE-901	
	I10		Energizado Inversor BE-902	
	I11		Defecto Inversor BE-902	
	I12		Energizado Inversor BE-903	
	I13		Defecto Inversor BE-903	
	I14		Energizado Inversor BE-904	
	I15		Defecto Inversor BE-904	
	I16		Energizado Inversor BF-911	
I17		Defecto Inversor BF-911		
I18		Energizado Inversor BF-912		
I19		Defecto Inversor BF-912		
I20		Protección BD-921		
I21		Protección E-901		
I22		Protección TFGD2 51N		
I23		Tempertatura 140°C TFGD2		
I24		Tempertatura 150°C TFGD2		
I25		Supervisión Tensión 120Vca BF-902		
I26		Supervisión Tensión 120Vca BE-911		
I27		Supervisión Tensión 120Vca BF-903		
I28		Supervisión Tensión 120Vca BF-904		
I29		Mando Automático BF-903/BF-904		
I30		Alarma Activada CBD 1 o 2		
I31		Nivel de pozo Alto CBD 1 o 2		
I32		Presión Diferencial E-901		
I11		Nivel Desarenador LS905 Bajo		
I12		Nivel Desarenador LS905 Alto		
I13		Nivel Chimenea LS904 Bajo		
I14		Nivel Chimenea LS904 Normal		
I15		Nivel Desarenador LS906 Bajo		
I16		Reserva		
I7		Reserva		
I8		Protección BE-911		
I9		Nivel Desarenador LS-906 Alto		
I10		Desarenador LS-906 Normal		
I11		Nivel TB LS902 Muy Bajo		
I12		Presión TB LS1		
I13		Nivel TB LS903 Normal		
I14		Nivel TB LS903 Alto		
I15		Nivel TB LS903 Muy Alto		
I16		Nivel TB LS903 Bajo		
I17		Bajo Voltaje 27-1 72-E1 PCCSAE		
I18		Abierto 72 E1 PCCSAE		
I19		Cerrado 72 E1 PCCSAE		
I20		Protección activada 72-E1 PCCSAE		
I21		Interrup. de salida 72-E1 PCCSAE		
I22		Protección BE-912		
I23		Protección BD-921		
I24		Resorte Cargado 452-1 CMTSAE-1		
I25		Bajo Voltaje 72-E1 PCCSAE 27-2		
I26		Abierto 72 E2 PCCSAE		
I27		Cerrado 72 E2 PCCSAE		
I28		Protección Activado 72 E2-PCCSAE		
I29		Interruptor de salida 72-E2		
I30		Presión TB LS2		
I31		Algún interruptor abierto TSAE		
I32		Resorte Cargado 452-2 CMTSAE-2		

Figura 276. Entradas digitales del NSAE

Elaborado por: el autor

- **Pantalla “Entradas y Salidas Digitales”**

Contiene el estado de las entradas digitales de los módulos de entradas digitales cuatro y cinco, y el módulo de salida uno del PLC.



Figura 287. Entradas y Salidas digitales del NSAE

Elaborado por: el autor

- **Pantalla “Entradas Analógicas”**

El módulo de entradas analógicas del PLC contiene ocho sensores, que se utilizan para adquirir magnitudes de temperatura, altura, presión y voltaje. También gracias a la red Modbus conectada a uno de sus puertos de comunicación serial del PLC con interfaz serial RS-485, se puede obtener la lectura de magnitudes de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y frecuencia de tres disyuntores y un generador diesel.

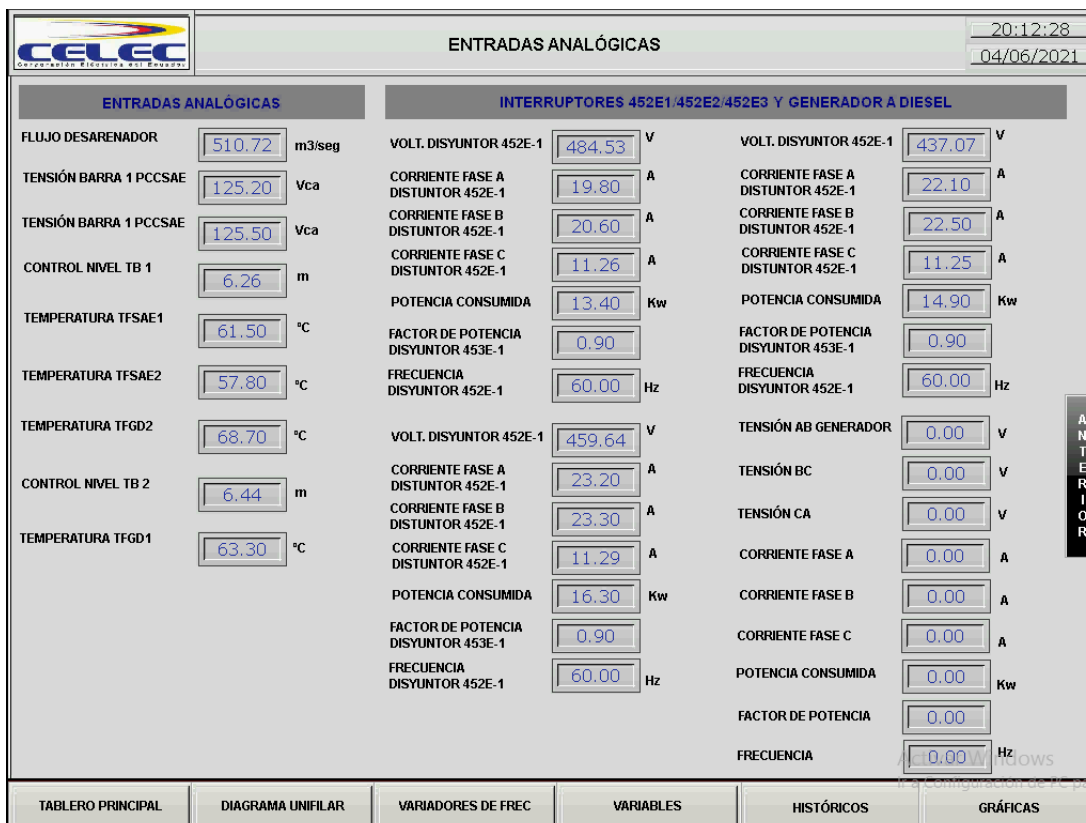


Figura 298. Entradas analógicas del NSAE

Elaborado por: el autor

PANTALLA “HISTORIAL DE EVENTOS”

El alcance que tiene esta pantalla es muy relevante como aporte al mejoramiento del sistema, ya que el NSAE ha presentado inconvenientes y fallos en su operación desde su inauguración en el año 2012. Con la ayuda de esta interfaz se puede determinar la fecha y hora de los eventos ocurridos durante el funcionamiento del sistema, como alerta de presión baja en las bombas, estado de los interruptores de entrada, estado de los variadores de frecuencia, etc. Por requerimiento de los operadores se han incluido todos los eventos que pueden ocurrir durante el proceso de enfriamiento (Figura 59).

Cumpliendo con las recomendaciones de la GEDIS los eventos especifican el equipo y área donde se activa una anomalía en el funcionamiento del sistema, mediante el uso de colores que especifican la importancia del evento, además de la hora y fecha de su ocurrencia.

CELEC		HISTORIAL DE EVENTOS		20:12:35
				04/06/2021
0001	20:08:58	04/06/2021	PRESIÓN BAJA BE-911	
0005	20:08:58	04/06/2021	PRESIÓN BAJA BF-903	
0008	20:08:58	04/06/2021	INTERRUPTOR 452-1 CMTSAE- 1 CERRADO	
0010	20:08:58	04/06/2021	INTERRUPTOR 452-1 CMTSAE- 1 PROTECCIÓN DESACTIVADA	
0012	20:08:58	04/06/2021	INTERRUPTOR 452-2 CMTSAE- 2 CERRADO	
0014	20:08:59	04/06/2021	INTERRUPTOR 452-2 CMTSAE- 2 PROTECCIÓN DESACTIVADA	
0015	20:08:59	04/06/2021	PROTECCIÓN ACTIVADA TSAE 27B	
0018	20:08:59	04/06/2021	PROTECCIÓN ACTIVADA TSAE 27G	
0022	20:08:59	04/06/2021	INTERRUPTOR ENTRADA 2 452E-2 ABIERTO	
0023	20:08:59	04/06/2021	INTERRUPTOR ENTRADA 2 452E-2 CERRADO	
0024	20:08:59	04/06/2021	INTERRUPTOR ENTRADA 2 452E-2 PROTECCIÓN ACTIVADA	
0027	20:08:59	04/06/2021	INTERRUPTOR ENTRADA 3 452E-3 PROTECCIÓN ACTIVADA	
0030	20:08:59	04/06/2021	DEFECTO INVERSOR IF1 BF-901	
0031	20:08:59	04/06/2021	DEFECTO INVERSOR IF1 BF-901	
0036	20:08:59	04/06/2021	INVERSOR IF2 SIN TENSIÓN 120 Vca	
0037	20:08:59	04/06/2021	INVERSOR IF3 SIN TENSIÓN 120 Vca	
0040	20:08:59	04/06/2021	PRESIÓN DIFERENCIAL ACTIVADA- EXTRACTOR CENTRAL DE AIRE	
0045	20:08:59	04/06/2021	NIVEL DE AGUA TANQUE DE BOMBEO MUY BAJO LS-901	
0048	20:08:59	04/06/2021	NIVEL DE AGUA TANQUE DE BOMBEO MUY BAJO LS-902	
0051	20:08:59	04/06/2021	NIVEL DE AGUA TANQUE DE BOMBEO BAJO LS-903	
0054	20:08:59	04/06/2021	72-E1 PCCSAE CERRADO	
0057	20:08:59	04/06/2021	PROTECCIÓN BD-921 ACTIVADA	
0060	20:08:59	04/06/2021	72-E2 PCCSAE CERRADO	
0067	20:08:59	04/06/2021	BD-921 DESERENERGIZADO	
0068	20:08:59	04/06/2021	E-901 DESERENERGIZADO	
0076	20:08:59	04/06/2021	ENTRADA 2 452E-2 NO INSERTADO	

PRESIÓN BAJA BE-911

Activar Windows
Configuración de PC

TABLERO PRINCIPAL DIAGRAMA UNIFILAR VARIADORES DE FREC VARIABLES HISTÓRICOS GRÁFICAS

Figura 59. Historial de Eventos del NSAE

Elaborado por: el autor

PANTALLA “GRÁFICA”

Siguiendo los requerimientos de los operadores, se toma en cuenta las magnitudes más importantes que se necesita observar sus variaciones. De acuerdo a GEDIS y sus recomendaciones, se toman en cuenta los siguientes parámetros para el diseño de la pantalla “GRÁFICAS” que se observa en la Figura 60:

- Determinar el límite mínimo y máximo de las variables.
- Colocar indicadores numéricos de la variación de las magnitudes.
- Las líneas que representan las variables deben tener colores diferentes.
- No colocar más de nueve variables por cada gráfica.

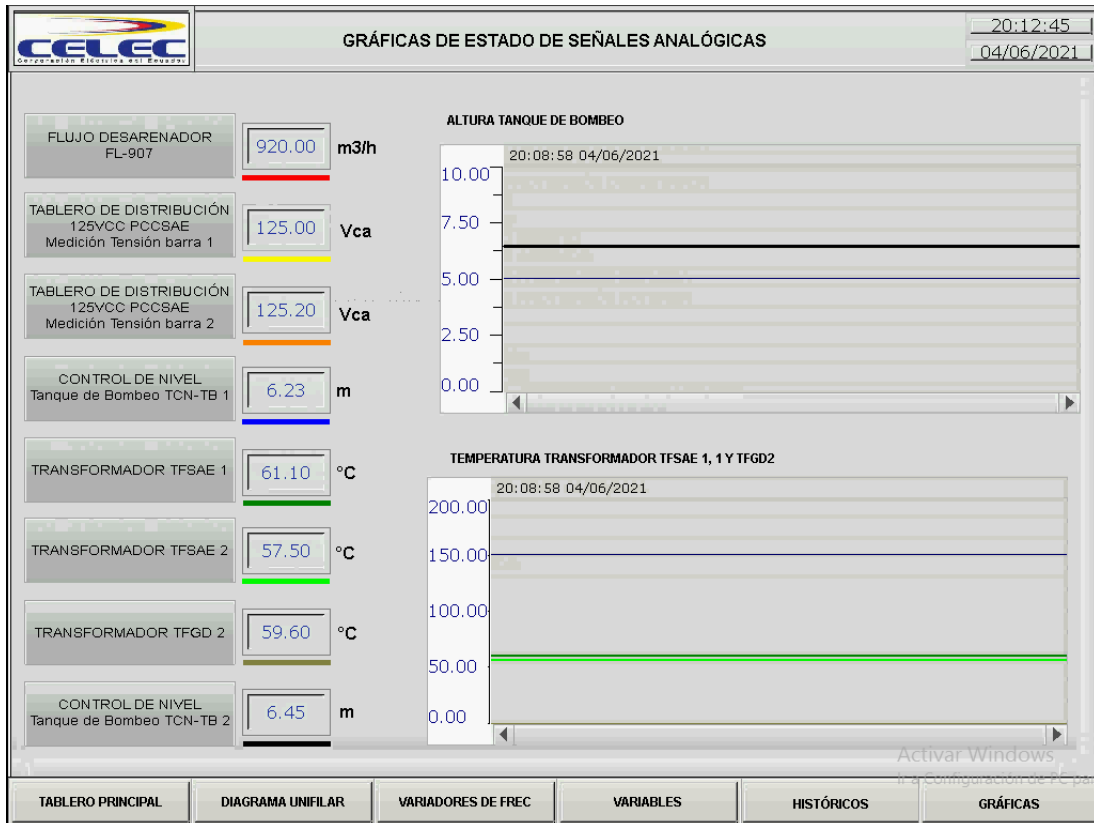


Figura 60. Gráfica de estado de señales analógicas del NSAE

Elaborado por: el autor

3.8 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.8.1 Montaje de la HMI en el tablero de control del NSAE

Mediante la hoja de datos que contiene las medidas de la pantalla DELTA y con la ayuda de los técnicos de Central se realiza los cortes de la pared del tablero de control del NSAE, teniendo acceso así a la fuente de alimentación de 24Vdc para la pantalla y colocándolo a una distancia corta que permite conectar el cable de comunicación RS-232 entre el PLC y el HMI. En la Figura 61, se muestra la parte frontal y trasera de la pantalla instalada.



Figura 61. Montaje de la HMI en el tablero de control del NSAE

Elaborado por: el autor

3.8.2 Prueba de comunicación entre el PLC y el HMI

Se realiza la puesta en marcha del sistema cargando las interfaces diseñadas en el software DOPSoft mediante un cable RJ45 conectado desde la PC al puerto LAN1 del HMI como se muestra en las Figura 62, y posteriormente se conecta el PLC y el HMI mediante un cable DB9 hembra-hembra para probar la comunicación.

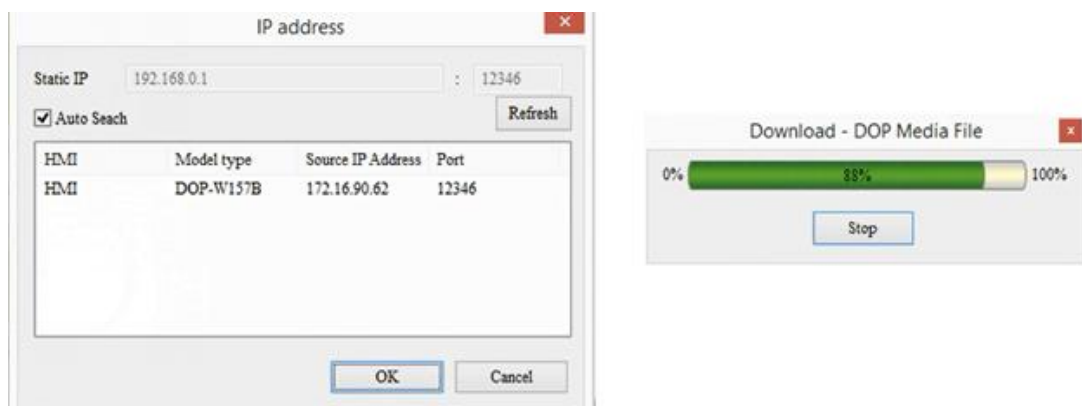


Figura 302. Carga del programa de DOPSoft al HMI

Elaborado por: el autor

El cable RJ-45 solo es utilizado para cargar el programa que contiene las interfaces de la HMI.

Entre las facilidades que brinda la pantalla Delta se encuentran los mensajes de error de comunicación cuando no existe intercambio de información entre el PLC y la HMI. Gracias a estos mensajes podemos determinar el tipo de error que impide realizar una comunicación y se puede buscar una solución guiada a estos problemas. La Figura 63, muestra un mensaje de error de comunicación en una de las pruebas que se realizó en el desarrollo de este proyecto. Si en la pantalla no se visualiza este tipo de alarma, la comunicación se realiza correctamente.

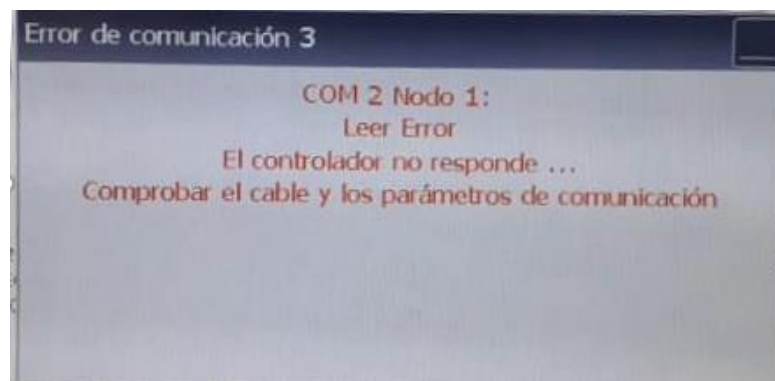


Figura 313. Mensaje de Error de comunicación entre el PLC y el HMI

Elaborado por: el autor

3.8.3 Calibración del sistema

Gracias a la ayuda de los operadores y el Jefe de Mantenimiento Electrónico de la Central se hicieron las pruebas de funcionamiento de todos los equipos que componen el NSAE (Figura 64). Se pudo contrastar entre la HMI, PLC, SCADA e instrumentos en sitio, los estados de estos equipos y lectura de datos analógicos y digitales de los mismos.



Figura 324. Calibración de los equipos e instrumentos del NSAE

Elaborado por: el autor

3.8.4 Contratación de información entre la HMI y SCADA Pantalla principal del NSAE de la Centran San Francisco (SCADA)

Después de realizar la revisión del funcionamiento de todos los equipos e instrumentos que conforman el sistema, se realiza una contrastación de entre la nueva pantalla instalada y el SCADA, confirmando así la correcta supervisión y monitorización de los datos por parte de la HMI.

A continuación, en la Figura 65, se observa la pantalla principal del SCADA:

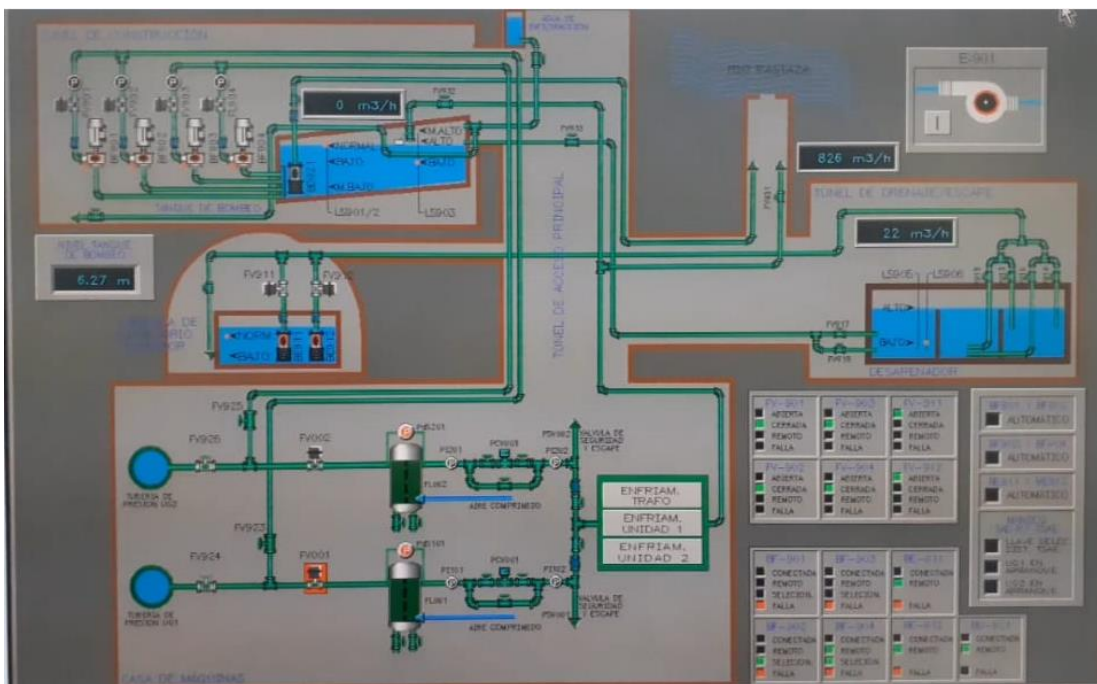


Figura 335. Pantalla principal del SCADA del NSAE

Elaborado por: el autor

En la Figura 66, se muestra la contrastación de los estados de las bombas, presóstatos, válvulas de flujo y sensores de nivel. Se toma en sensor número dos como referencia para indicar el Nivel del Tanque de Bombeo, y el valor del medidor de caudal que se encuentra en cero en el SCADA es un valor que no adquiere el PLC que esta comunicado al HMI, en su lugar se coloca el sensor de temperatura colocado en el Tanque de Bombeo.

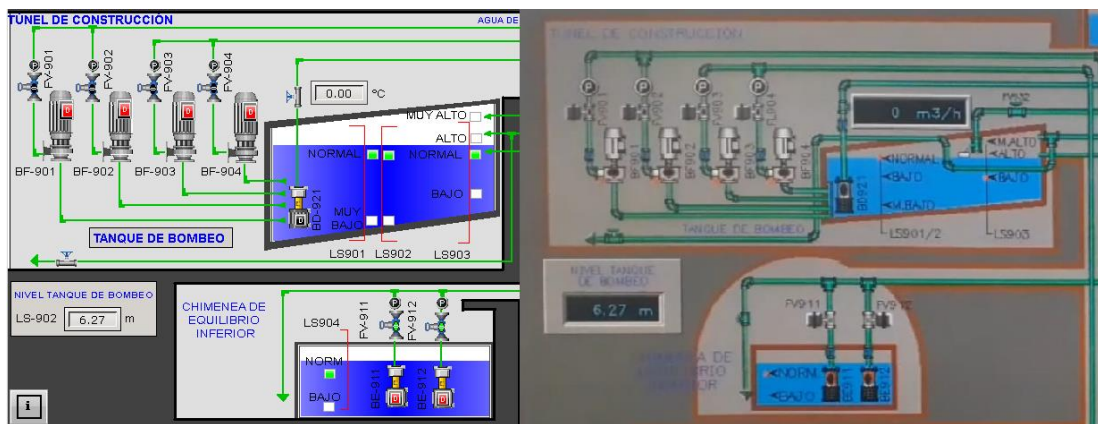


Figura 346. Contrastación de lectura de variables del Túnel de Construcción entre la HMI y el SCADA

Elaborado por: el autor

El medidor de flujo FJ-907 es una magnitud que se adquiere mediante el módulo de entradas analógicas del PLC, la otra magnitud de caudal que muestra la pantalla del SCADA no puede ser adquirido mediante este HMI.

En la Figura 67, se muestra el estado del nivel del tanque del Desarenador y el estado del la Bomba Centrífuga.

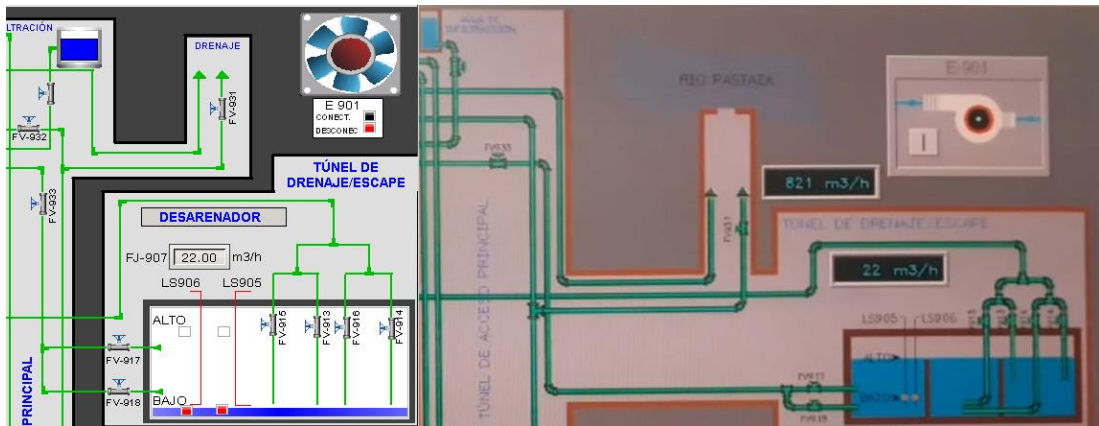


Figura 357. Contratación de lectura de variables del Desarenador entre la HMI y el SCADA

Elaborado por: el autor

Otra de las pantallas del SCADA con la que se puede contrastar la información del nuevo HMI es el Diagrama Unifilar que se muestra en la Figura 68.

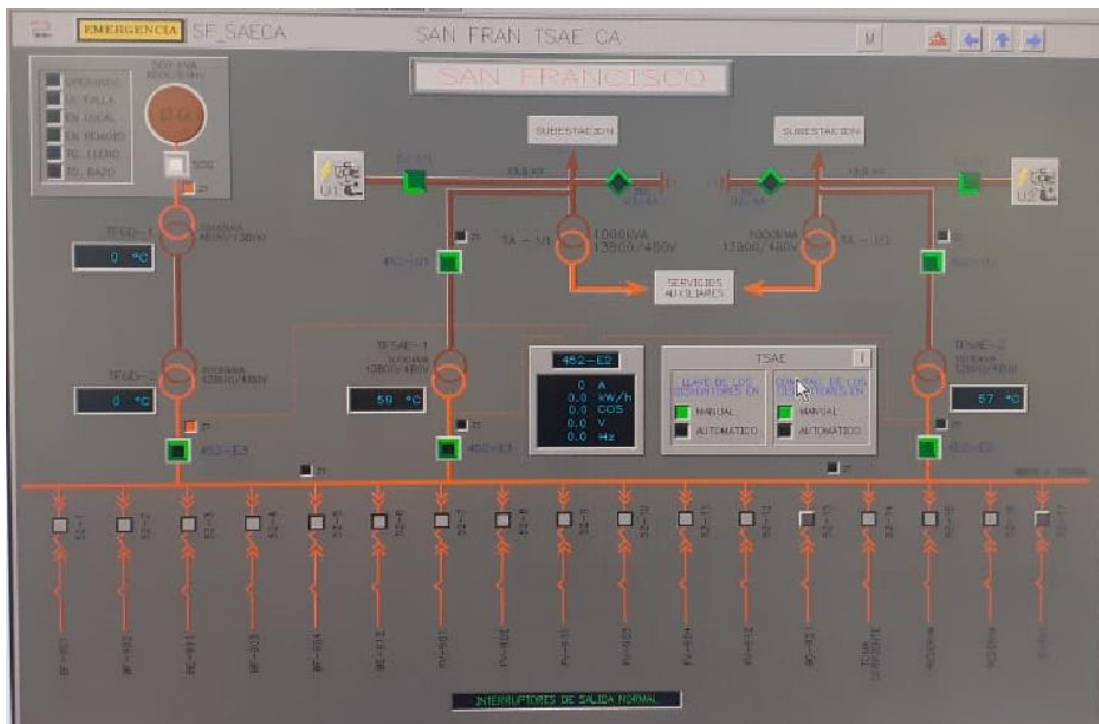


Figura 368. Diagrama Unifilar del NSE desde el SCADA

Elaborado por: el autor

Las variables adquiridas desde el SCADA y el HMI son los estados de los interruptores de alta y baja tensión, el estado del generador diésel auxiliar y la temperatura de los transformadores del SAE (Figura 69).

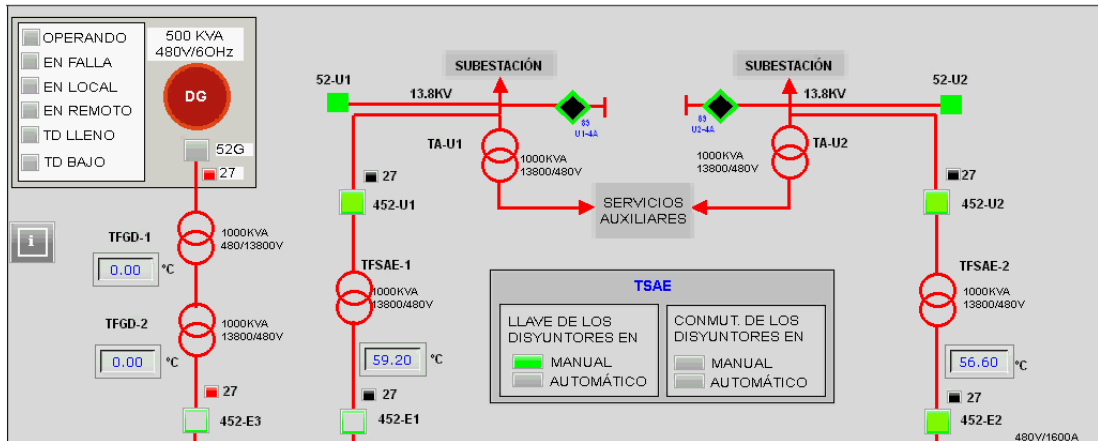


Figura 69. Contrastación de lectura de variables del Diagrama Unifilar entre la HMI y el SCADA

Elaborado por: el autor

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado con éxito el mejoramiento del NSAE y cumpliendo con todos los objetivos planteado se llega a las siguientes conclusiones:

- ✓ Con el mejoramiento del sistema de control y monitorización del Sistema de Agua de Enfriamiento (NSAE) de la central Hidroeléctrica San Francisco que se realiza en este proyecto, se crea una interacción humano-máquina amigable con los operadores, haciendo un gran aporte que permite dar solución en tiempos eficientes a los problemas eléctricos y electrónicos que se presentan durante el proceso de enfriamiento.
- ✓ Para realizar el mejoramiento del sistema, se desarrolla una HMI que permite la monitorización de todas las variables de proceso de forma local en el tablero de control del NSAE.
- ✓ Se instaló con la ayuda del personal técnico de la empresa la HMI en el tablero de control del NSAE, desde donde ahora se puede realizar el control y monitorización del sistema por parte de los operadores.
- ✓ Se interconectó la HMI con el PLC mediante protocolo de comunicación Modbus RTU, ya que de acuerdo al manual de operación del PLC GE modelo IC200CPUe05 se descarta el uso del protocolo Modbus TCP/IP para conectar este controlador con equipos de otros fabricantes.
- ✓ Se diseñó una Red Modbus mediante protocolo Modbus RTU, que permite adicionar señales de información de los Variadores de Frecuencia de las Bombas de Enfriamiento y Bombas sumergibles y un nuevo sensor de temperatura para el Tanque de Bombeo, con la posibilidad de expandir la red con equipos compatibles con el mismo protocolo de comunicación.

- ✓ Ya que el módulo de entradas analógicas del PLC no dispone de puertos libres, la adquisición de la magnitud de temperatura del Tanque de Bombeo se lo realiza mediante el controlador DTB4848, con el cual se podrá visualizar los datos del sensor de temperatura Pt100 de forma local y mediante la HMI a través de la Red Modbus.
- ✓ La única forma de adquirir datos de los variadores de frecuencia marca ABB modelo ACS880-04-0610-5 hacia una red externa es con el uso de módulos de comunicación, que permiten enviar registros de información a la Red Modbus diseñada, por lo tanto es imprescindible el uso de los mismos.
- ✓ Se desarrolló el diseño de las interfaces de la HMI siguiendo las recomendaciones de la GEDIS, las normativas de la ANSI/ISA 101 y las recomendaciones por parte operadores de la central, para que ellos puedan interpretar e identificar me manera fácil y sencilla los estados del proceso de enfriamiento.
- ✓ Se realizaron las pruebas de validación del sistema implementado en sitio, contrastando la lectura de los datos obtenidos, tanto con el SCADA como con los equipos que conforman el sistema, verificando así que los parámetros de comunicación y señalización de variables estén acorde a los planos electrónicos del sistema y a la programación e indicadores visuales del PLC.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar mantenimientos periódicos de la nueva interfaz instalada, verificando el correcto funcionamiento de la pantalla, tanto en la adquisición de datos como en los tiempos de respuestas de las comunicaciones.
- ✓ Se recomienda realizar mantenimiento y calibración de todos los elementos de instrumentación que forman parte del sistema, ya que se encontró sulfatación en uno de los sensores del Tanque de Bombeo, lo que ocasionó errores de

lectura al momento de realizar las pruebas de validación del mejoramiento desarrollado en este proyecto.

- ✓ Se recomienda realizar una contrastación periódica de los valores que se visualizan en la HMI con el SCADA y con cada uno de los equipos que conforman el sistema, para comprobar el correcto control y monitoreo del NSAE.
- ✓ Para poder obtener una correcta lectura o detectar errores en los datos de la Red Modbus es recomendable contrastar la información del HMI con el panel de control de los Variadores de Frecuencia y el Controlador de Temperatura.
- ✓ Para añadir nuevas señales a la Red Modbus se recomienda tener en cuenta el ID del esclavo al direccionar la comunicación con el Maestro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W. García, «Sistema de control y monitoreo para bombas de drenaje y vaciado de la Central Hidroeléctrica San Francisco,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25696>. [Último acceso: 2020].
- [2] M. Gavilánez, «Sistema de Control y Supervisión de las Compuertas del Vertedero 1 de la Represa Agoyán por medio de un Panel HMI Local,» 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1539>. [Último acceso: 2020].
- [3] J. Montalvo y W. Morocho, «Diseño e implementación de un Sistema SCADA para control del proceso de un módulo didáctico de montaje FESTO utilizando PLC y una pantalla HMI, caso práctico: en el laboratorio de automatización de la FIE,» 2011. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1329>. [Último acceso: 2020].
- [4] J. Quezda, E. Flores, B. Jorge y A. Víctor, «Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable. Ingeniería, investigación y tecnología,» 2014. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432014000100005&lng=es&tlng=es. [Último acceso: 2020].
- [5] F. Hurtado, «MANUAL DE OPERACIONES DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA AGOYAN,» 2006. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/346>. [Último acceso: 2020].
- [6] P. CONELEC, «ESTADISTICA DEL SECTOR ELECTRICO ECUATORIANO,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Folleto-Resumen-Estadísticas-2011.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [7] «Celec,» [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/quienes-somos/la-unidad-de-negocio>. [Último acceso: 2020].
- [8] R. Rodríguez, «MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE LA UNIDAD NO.2 DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN,» 2015. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11961>. [Último acceso: 2020].

- [9] CELEC, «Unidad de Negocios Hidroagoyán,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/centrales/san-francisco>. [Último acceso: 2020].
- [10] J. Paredes, «AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD PARA LAS TURBINAS EN LA CENTRAL "HIDROELÉCTRICA" SAN FRANCISCO,» 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5820>. [Último acceso: 2020].
- [11] D. Burbano, «ANÁLISIS DEL PROCESO DE NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL ENTRE ECUADOR Y LA EMPRESA BRASILEÑA ODEBRECHT: CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO EN EL PERÍODO 1994 - 2012,» 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/7466>. [Último acceso: 2020].
- [12] A. Mora, «Sistema de control y supervisión del pozo de drenaje en la casa de máquinas de la “Central Hidroeléctrica Agoyán”,» 2015. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/15103>. [Último acceso: 2020].
- [13] Opertek, «OPERTEK,» [En línea]. Available: <https://www.opertek.com/hardware/versamax/>.
- [14] J. Balseca, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE INTERFASE PERSONA MAQUINA (HMI) DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA UNIDAD GENERADORA N° 1 DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA PUCARÁ,» 2007. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3391>. [Último acceso: 20 02 2021].
- [15] M. E. López Roberto, «Diseño e implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto Modbus RTU - TCP /IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivariables físicas, en el Laboratorio de Hidrónica y Neu,» 23 08 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13436>. [Último acceso: 2021].
- [16] ABB, «Convertidores de frecuencia industriales ABB,» 2015. [En línea]. Available: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE68574986&LanguageCode=es&DocumentPartId=1&Action=Launch>. [Último acceso: 23 04 2021].
- [17] elvatron, «Variadores de Frecuencia,» [En línea]. Available: https://www1.elvatron.com/variadores_frecuencia/reduzca-al-

m%C3%ADnimo-el-tiempo-de-paro-en-variadores-de-frecuencia. [Último acceso: 28 12 2020].

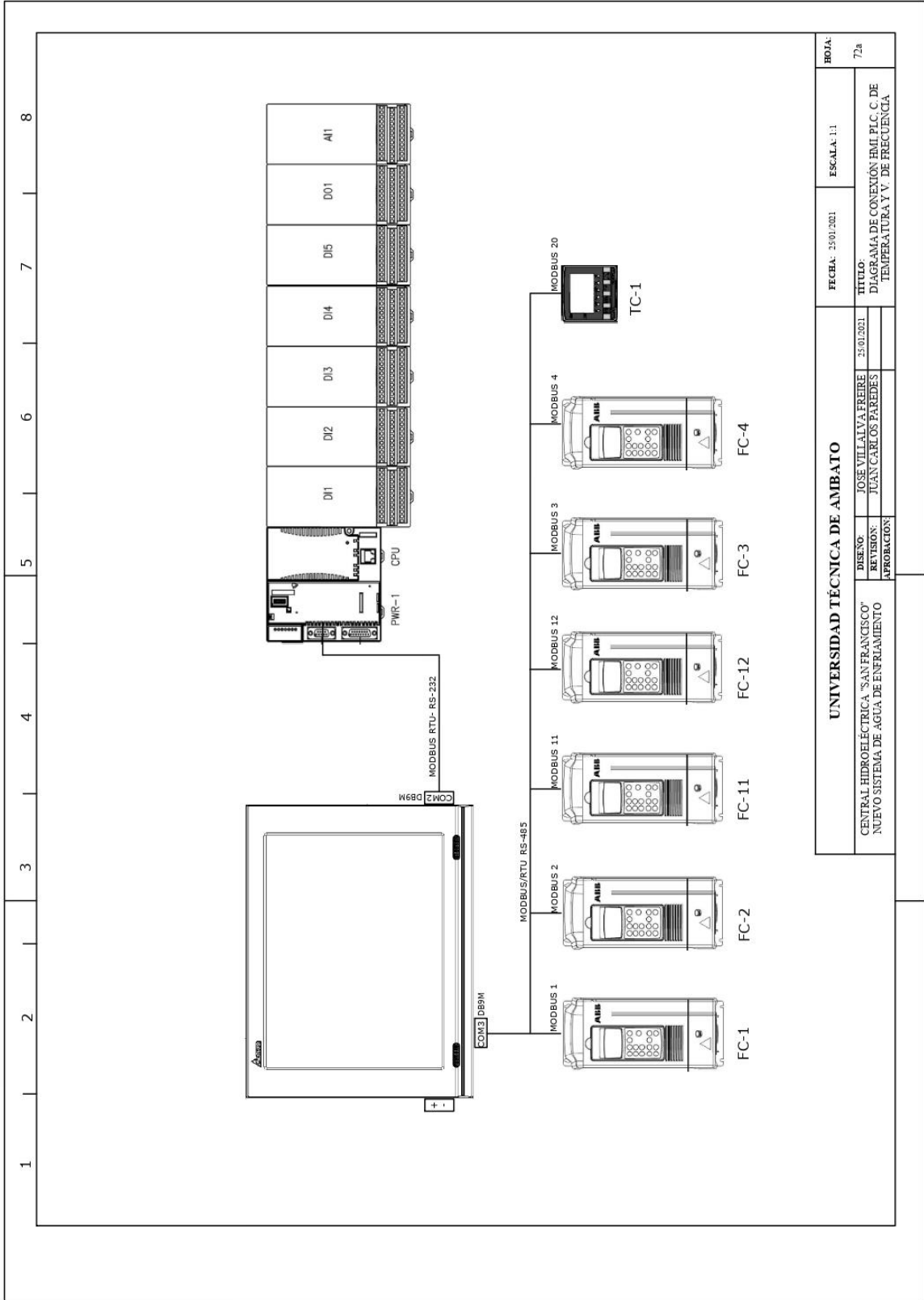
- [18] A. Copyright, «Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas,» 2021. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>. [Último acceso: 2021 03 26].
- [19] OMEGA, «Sensor de Temperatura,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>. [Último acceso: 2021 03 30].
- [20] S. Moya, «Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-01-2015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>. [Último acceso: 2021 03 30].
- [21] S. Filali, «Aplicación de la guía GEDIS a los Sistemas SCADA del,» 2014. [En línea]. Available: [https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/657/Evaluacion+de+estandares+HMI+Aplicacion+de+la+guia+GEDIS+a+los+Sistemas+SCADA+del+NA P+\(Network+Access+Point\)+de+Canarias..pdf?sequence=1](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/657/Evaluacion+de+estandares+HMI+Aplicacion+de+la+guia+GEDIS+a+los+Sistemas+SCADA+del+NA P+(Network+Access+Point)+de+Canarias..pdf?sequence=1). [Último acceso: 10 03 2021].
- [22] V. Guerrero, Comunicaciones Industriales, Buenos Aires: Alfaomega, 2010.
- [23] SMC, «SMC INTERNATIONAL TRAINING,» [En línea]. Available: <https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>. [Último acceso: 15 01 2021].
- [24] R. Aquilino, Sistema SCADA, México: Alfaomega, 2013.
- [25] C. L. Salazar César, «BUSES DE CAMPO Y PROTOCOLOS EN REDES INDUSTRIALES,» 10 12 2011. [En línea]. Available: <https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/articulo/download/126/184>. [Último acceso: 2021].
- [26] NationalInstruments, «Información Detallada sobre el Protocolo Modbus,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>. [Último acceso: 2020].
- [27] J. Bartolomé, «TOLAEMON,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>. [Último acceso: 15 03 2021].
- [28] S. Electric, «Schneider Electric,» 2020. [En línea]. Available: https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES_Power/PP-

HJL_Modbus_Guide/EDMS/0611IB1303/0611IB13xx/NSX_MB_Modbus_Protocol/NSX_MB_Modbus_Protocol-5.htm. [Último acceso: 03 17 2020].

- [29] Logicbus, «Modbus,» [En línea]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>. [Último acceso: 03 02 2021].
- [30] G. F. A. N. A. Inc, «VersaMax CPUE05,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.emerson.com/en-us/catalog/emerson-ic200cpue05>. [Último acceso: 20 11 2020].
- [31] A. Drives, «Modbus Adapter Module RMBA-01,» 2002. [En línea]. Available: <https://search.abb.com/Library/Download.aspx?DocumentID=3AFE64498851&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>. [Último acceso: 12 05 2021].
- [32] DELTA, «Controladores de Temperatura serie A,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/osito2012/delta-dta-controlador-de-temperatura-instrucciones>. [Último acceso: 21 02 2021].
- [33] SCI, «Conexión de termorresistencias a 2, 3 y 4 hilos,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.sciempresa.com/informacion-tecnica/News/show/conexion-de-termorr-1110>. [Último acceso: 03 05 2021].
- [34] ADAJUSA, «CONTROLADOR DE TEMPERATURA DIGITAL 48X48 - DELTA,» 2018. [En línea]. Available: <https://adajusa.es/relés-de-control-y-proteccion-termostatos-sondas-de-temperatura/controlador-de-temperatura-digital-48x48.html>. [Último acceso: 2021].
- [35] E. DELTA, «DOP W157-B,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.delta-americas.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=2180&hl=en-US&Name=DOP-W157B>. [Último acceso: 30 01 2021].
- [36] ABB, «Manual de firmware-Programa de control estándar 7.x del ACS800,» 2011. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/e8a8a4c1448cc4a3c12579900048098d/ES_ACS800_standard_ctr_prg_FW_L.pdf. [Último acceso: 10 05 2021].
- [37] Novus, «TxMiniBlock Transmisor de Temperatura,» 2016. [En línea]. Available: https://www.novus.com.br/downloads/arquivos/v10x_manual_txminiblock_spanish.pdf. [Último acceso: 01 05 2021].

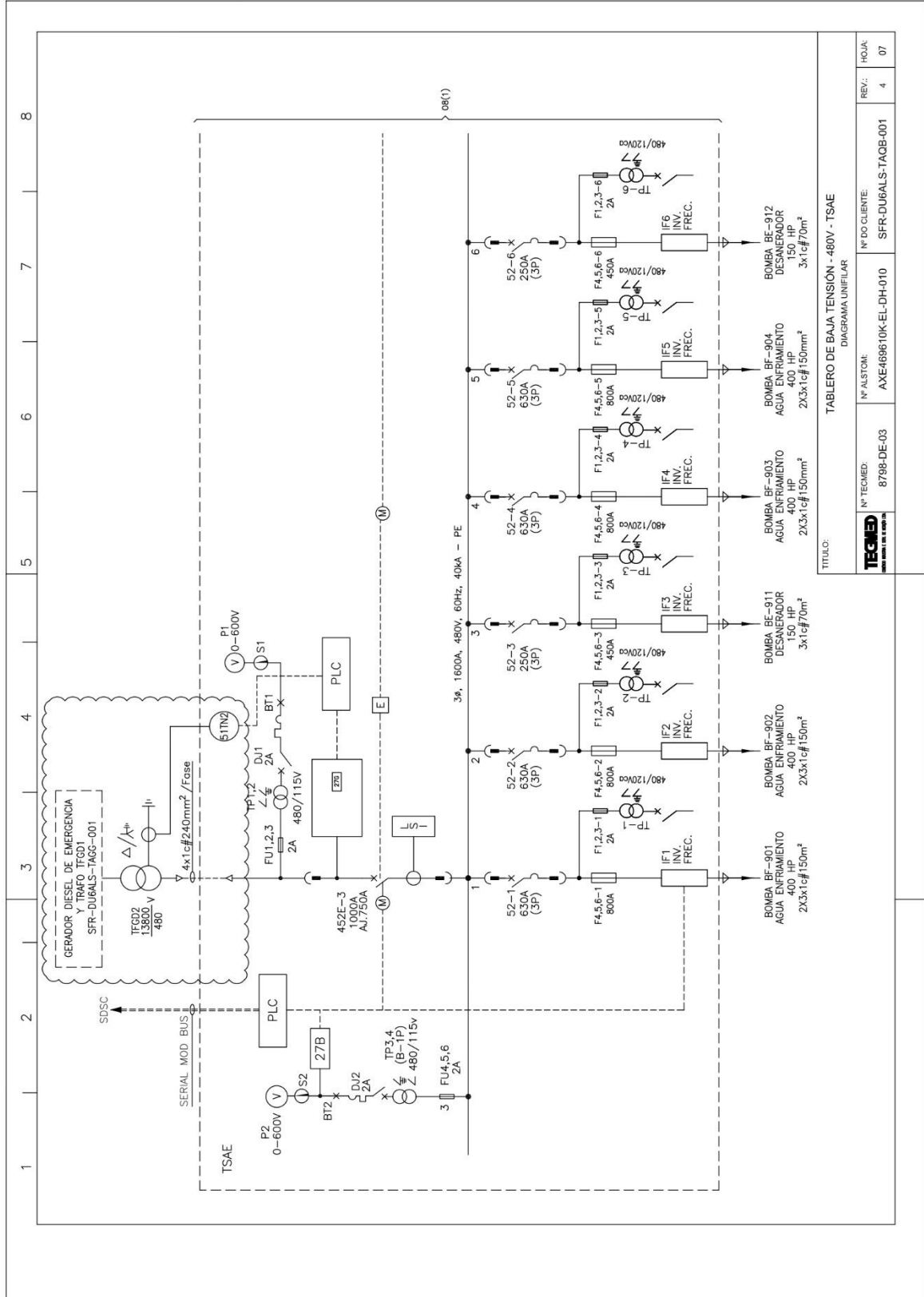
ANEXOS

ANEXO A -DIAGRAMA DE RED DEL MEJORAMIENTO DEL NSAE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FECHA: 25/01/2021	ESCALA: 1:1	HOJA:
CENTRAL HIDROELECTRICA "SAN FRANCISCO" NUEVO SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	DISEÑO: JOSÉ VILLALVA FREIRE REVISIÓN: JUAN CARLOS PAREDES	25/01/2021	TÍTULO: DIAGRAMA DE CONEXIÓN HMI, PLC, C. DE TEMPERATURA Y V. DE FRECUENCIA	
APROBACION:	7a			

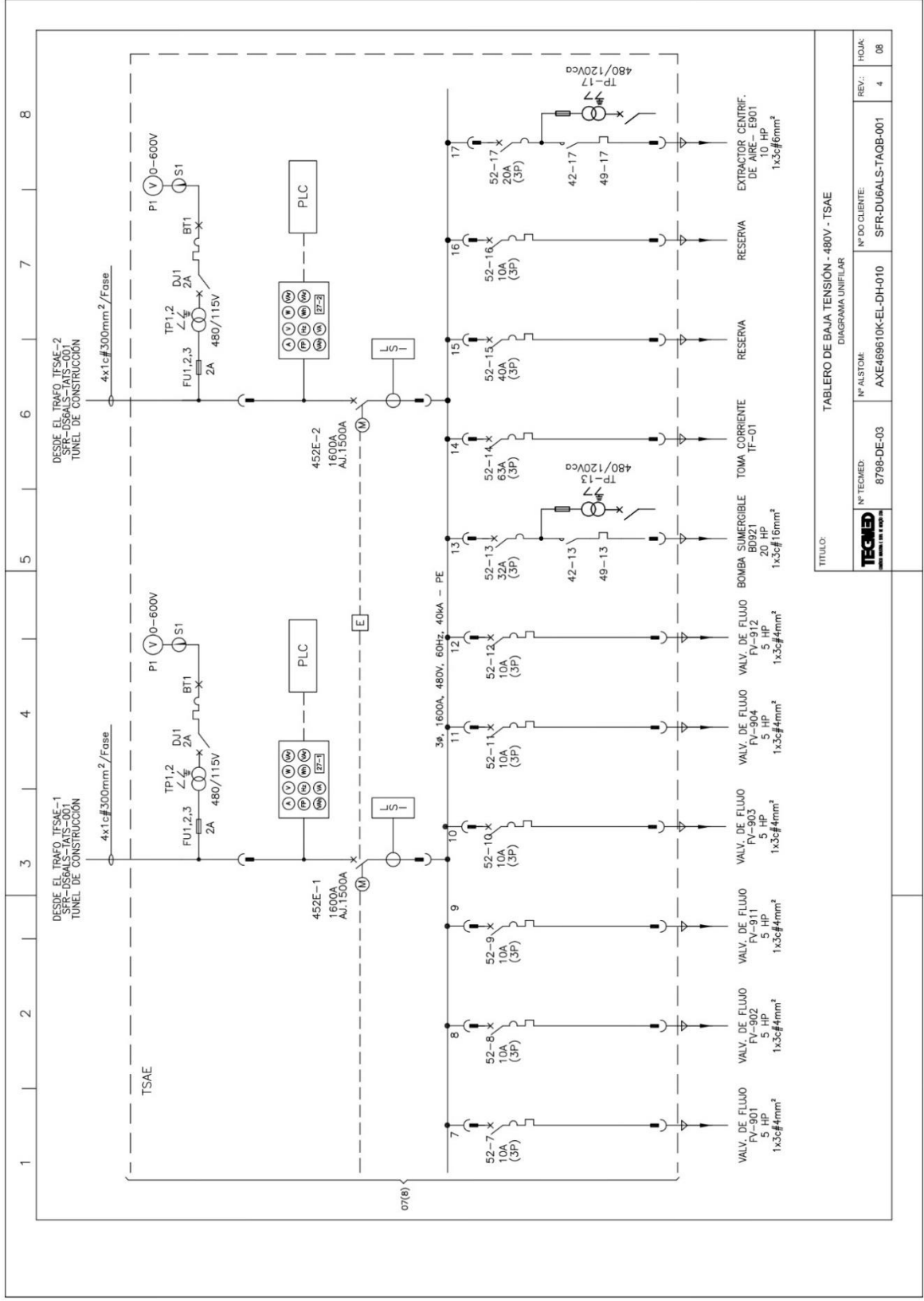
ANEXO B- DIAGRAMA UNIFILAR NSAE



TÍTULO: TABLERO DE BAJA TENSION - 480V - TSAE

DIAGRAMA UNIFILAR

N° TECMED:	N° ALSTON:	N° DO CLIENTE:	REV:	HOJA:
8798-DE-03	AXE469610K-EL-DH-010	SFR-DUBALS-TAOB-001	4	07



TITULO: TABLERO DE BAJA TENSION - 480V - TS/AE

DIAGRAMA UNIFILAR

N° TECMED:	8798-DE-03	N° ALSTOM:	AXE469610K-EL-DH-010	N° DO CLIENTE:	SFR-DU6ALS-TAOB-001	HOJA:	08
						REV.:	4

ANEXO C-DIAGRAMA ELÉCTRICO RED MODBUS

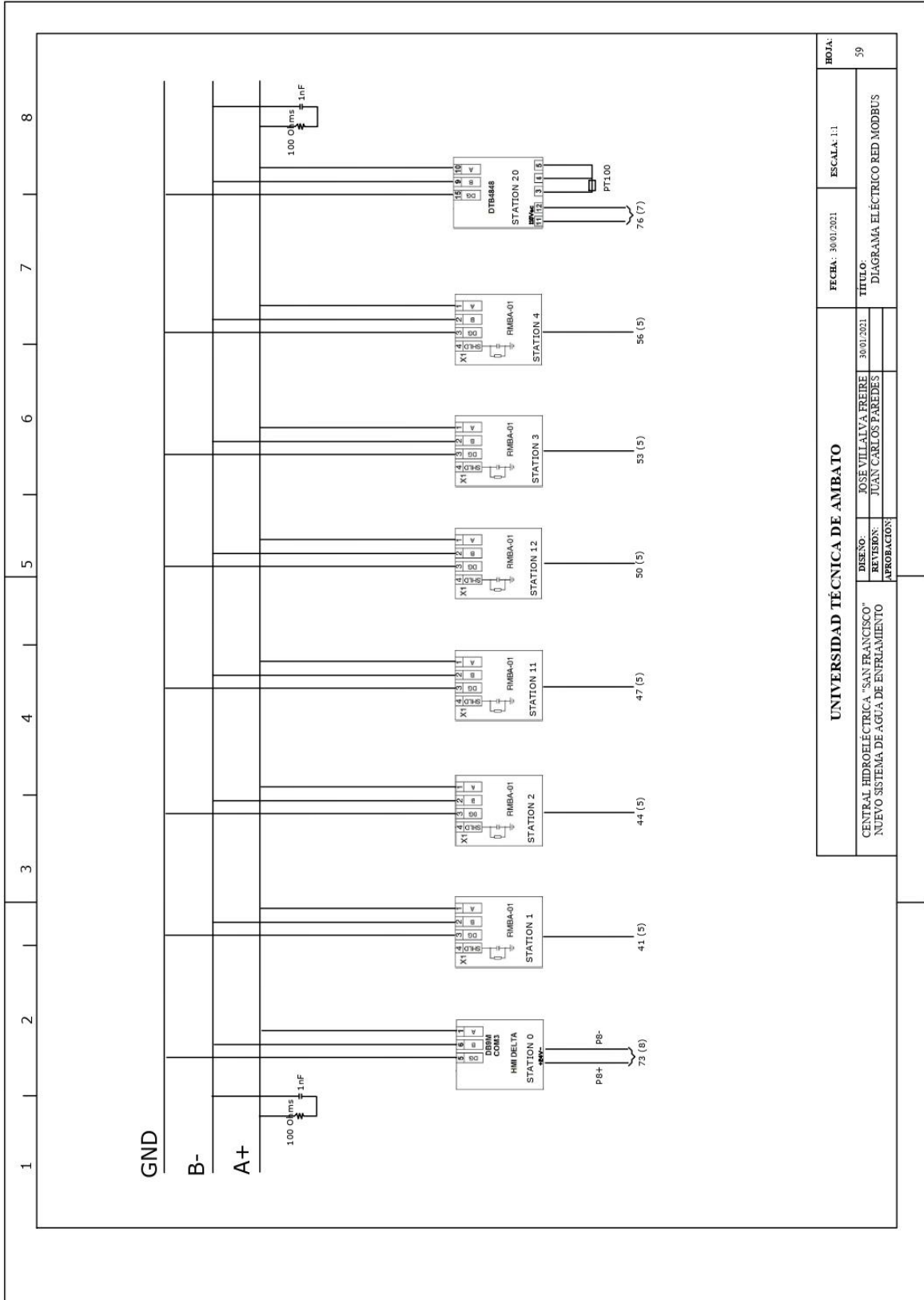


DIAGRAMA TRIFILAR Y ELÉCTRICO DEL VARIDADOR DE FRECUENCIA SEIS

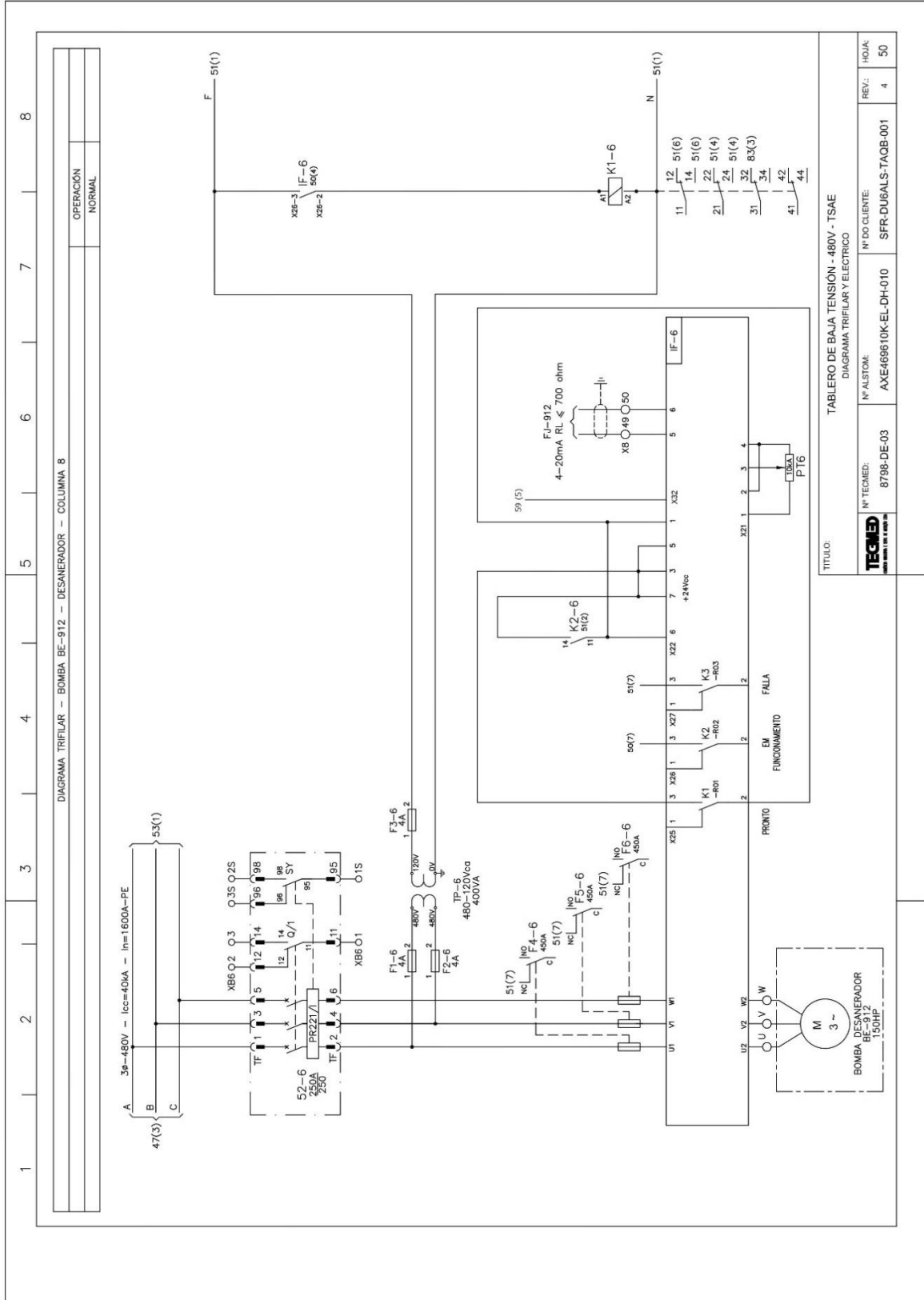
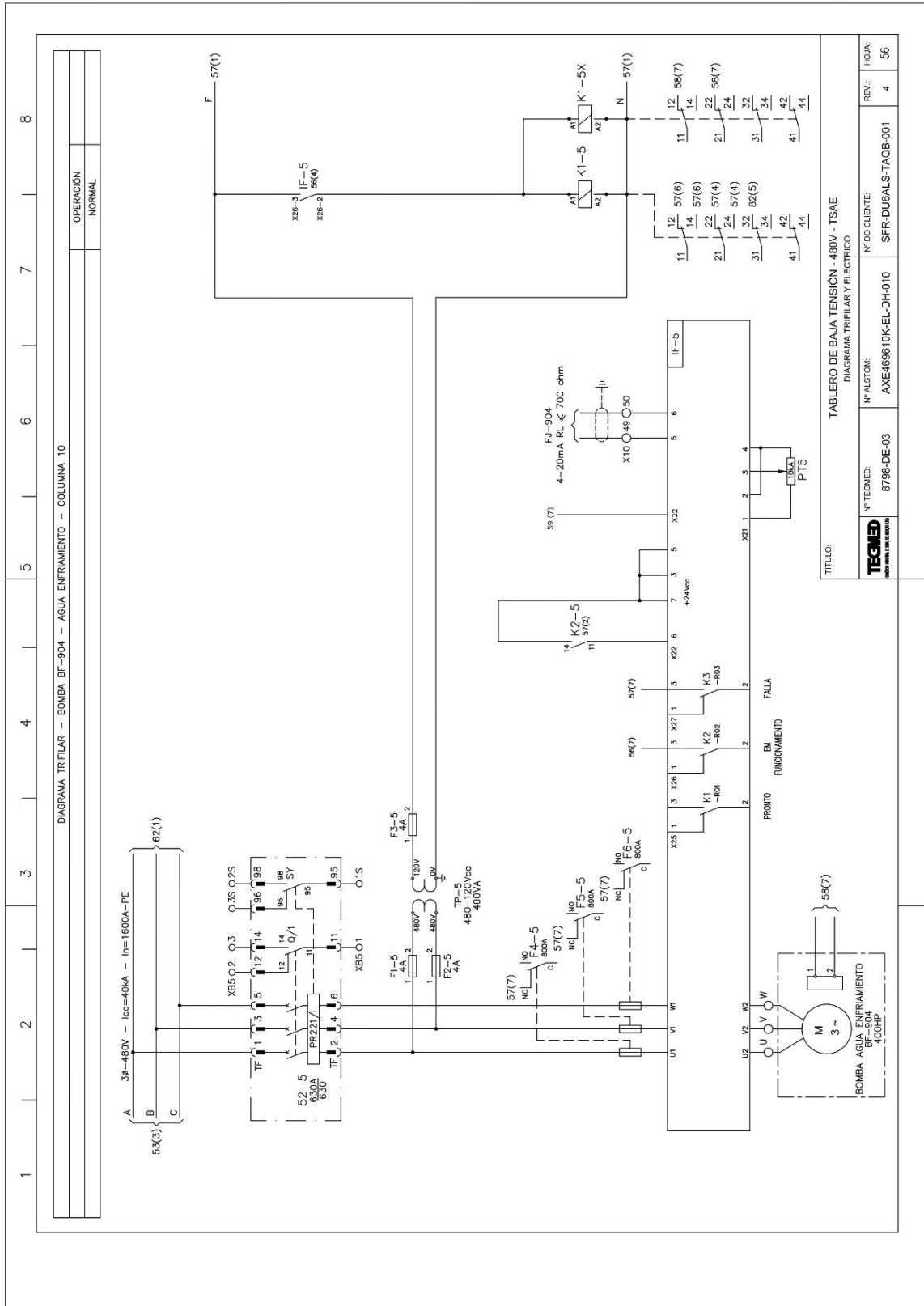
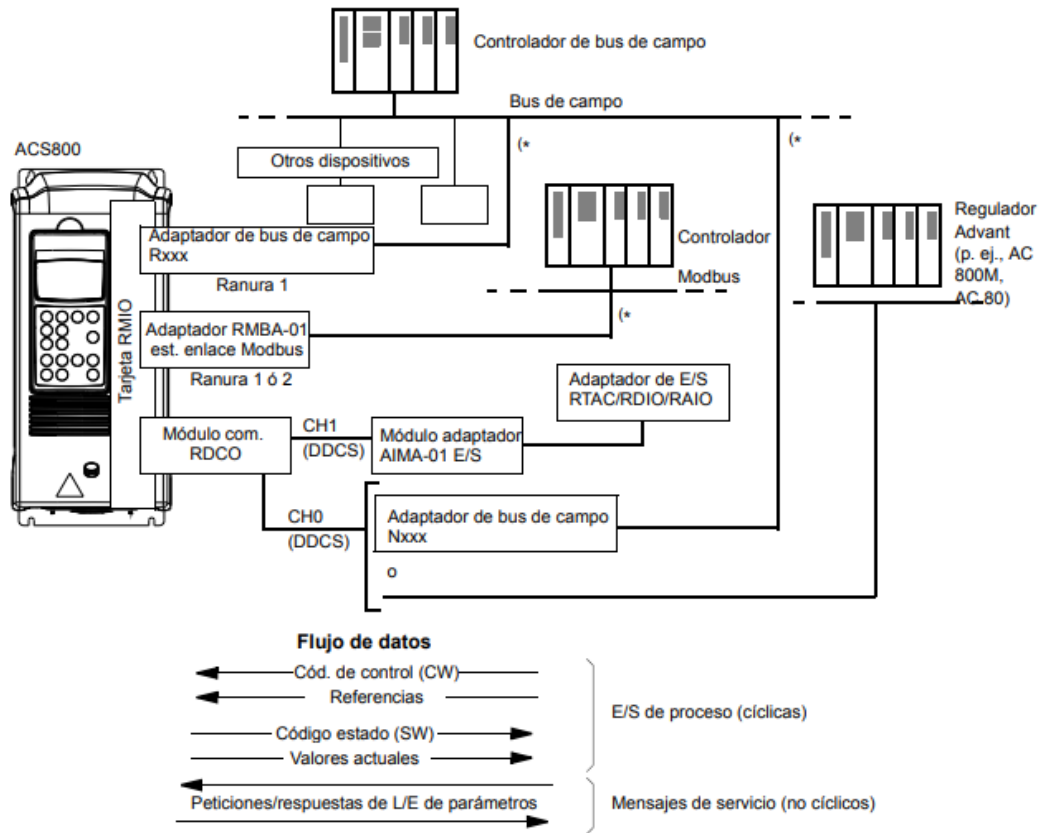


DIAGRAMA TRIFILAR Y ELÉCTRICO DEL VARIDADOR DE FRECUENCIA CINCO



ANEXO E- CONTROL POR BUS DE CAMPO DE VARIADORES DE FRECUENCIA ACS800



(* Es posible conectar al convertidor un adaptador Rxxx o Nxxx, y un adaptador RMBA-01

ANEXO F-DIAGRAMAS DE CONEXIÓN MÓDULO RMBA-01

Wiring Diagrams

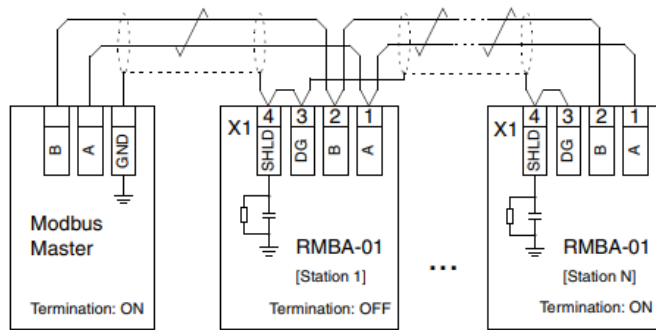


Figure 3-2 Two-wire connection

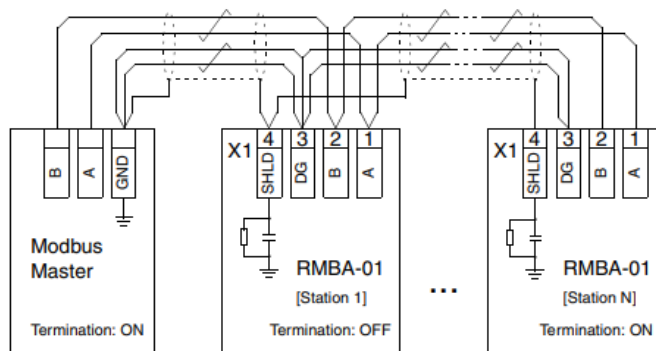


Figure 3-3 Three-wire connection (preferred practice)

ANEXO G - MODOS DE OPERACIÓN CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Regulation Mode	Operation Mode	Initial Setting Mode
RL Auto-tuning (In PID control and RUN mode) Press	1234 Use to set temperature of target Press	LNPE Set input type Press
P Set PID PB (In PID control) Press	r-S Control setting RUN or STOP Press	LPUN Set temperature unit Press
L Set PID TI (In PID control) Press	RL iH Upper-limit alarm 1 (This parameter is available only when ALA1 function enables) Press	LP-H Set upper-limit of temperature range Press
d Set PID Td (In PID control) Press	RL iL Lower-limit alarm 1 (The parameter is available only when ALA1 function enables) Press	LP-L Set lower-limit of temperature range Press

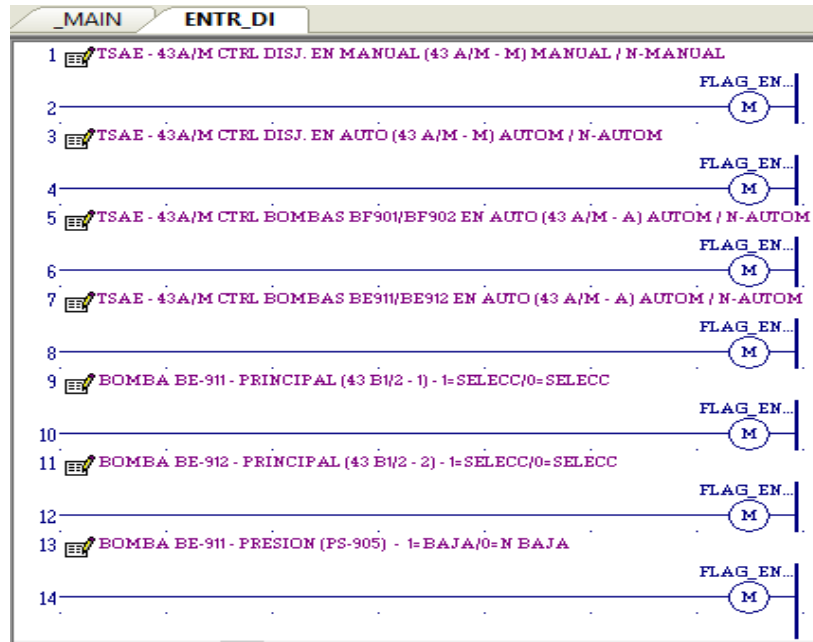
Regulation Mode	Operation Mode	Initial Setting Mode
Pdof or lof P/PD control offset setting (When PID control is ON and Ki=0, set the value of Pdof; if Ki≠0, AT will automatically set the value of lof) Press ▾	RL2H Upper-limit alarm 2 (This parameter is available only when ALA2 function enables) Press ▾	Ctrl Select control mode Press ▾
HtS or CtS Heating/Cooling hysteresis (In ON-OFF control) Press ▾	RL2L Lower-limit alarm 2 (This parameter is available only when ALA2 function enables) Press ▾	S-Rt Select Heating/Cooling functions Press ▾
HtPd or CtPd Set Heating/Cooling control cycle (In PID control) Press ▾	LoL Setting lock mode Press ▾	ALA1 Alarm 1 setting Press ▾
EPdF Regulate temperature deviation value Press ▾	oUt Output value display and adjust Press ▾	ALA2 Alarm 2 setting Press ▾
CrHd Regulate 20mA output deviation value (Display when in current output) Press ▾	CT CT function is selected In case of using an external CT, the controller displays the current value being measured by CT, if the control output is ON. Press return to temperature display	C-SL ASCII, RTU communication formats selection Press ▾
CrLo Regulate 4mA output deviation value (Displayed when in current output) Press return to auto-tuning setting		CoSH Write-in function disable/enable (Displayed when using serial communication) Press ▾
		C-no Address setting (Displayed when using serial communication) Press ▾
		bPS Baud rate setting (Displayed when using serial communication) Press ▾

ANEXO H- PROGRAMACIÓN DEL PLC GE VERSAMAX EN PROFICY MACHINE

La programación se realiza la realiza por bloques de acuerdo a las variables de proceso y estos se encuentran en la interfaz principal de desarrollo (main).

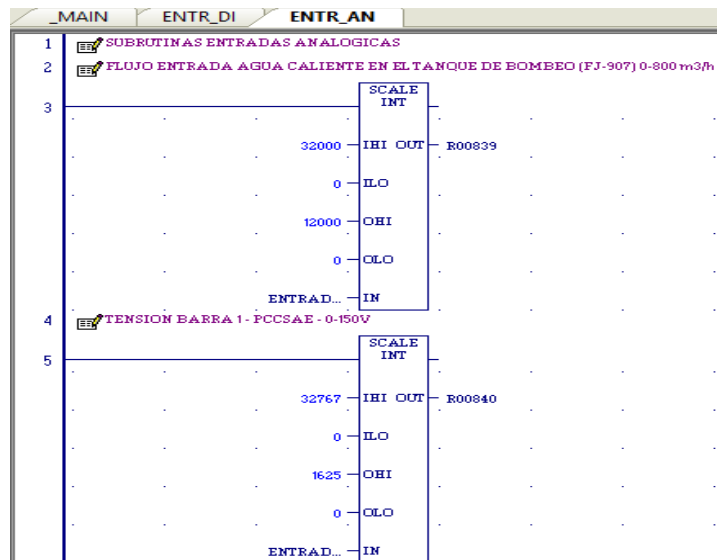
Bloque de Entradas Digitales

En total el sistema cuenta con 160 entradas digitales, incluidas 2 entradas disponibles separadas como reserva.



Bloque de subrutinas de Entradas Analógicas

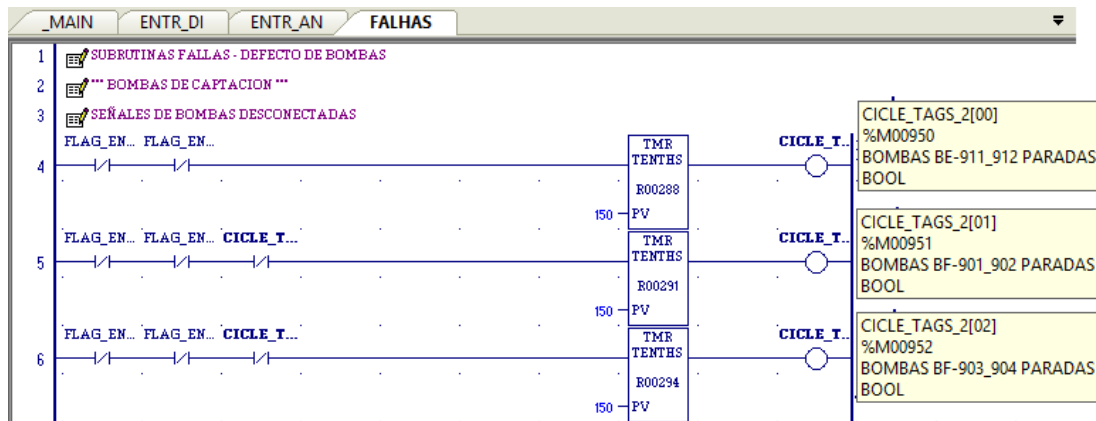
En total el sistema cuenta con 8 entradas analógicas, incluida 1 entradas disponibles separada como reserva, en la que se presentan las variables que identifican estas entradas.



Bloque de subrutinas de fallas en las bombas de enfriamiento y desarenador

Este bloque de programación está diseñado para mostrar fallas o decetos en las bombas de enfriamiento y en las bombas del desarenador. Esta estructura de programación

determina falla o defecto en las bombas del desarenador BE-911 y BE-912, y para las bombas de enfriamiento BF-901, BF-902, BF-903, BF-904



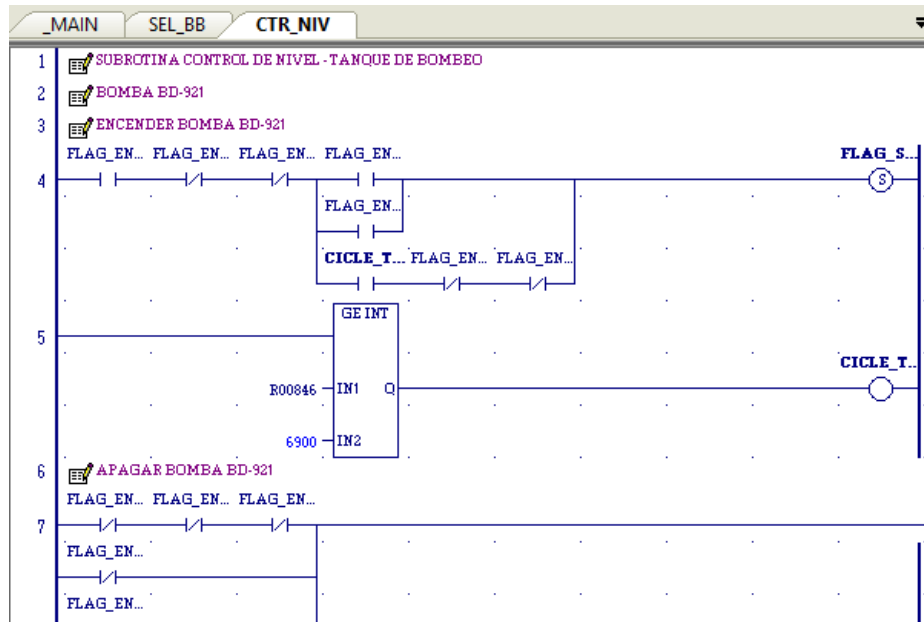
Bloque de subrutinas para selección de Bombas de enfriamiento y el desarenador.

Este bloque de programación esta diseñado para seleccionar cual de las bombas tanto de enfriamiento como del desarenador serán activadas de acuerdo a condiciones previas establecidas en el resto de la programación.



Bloque de subrutinas para control de nivel del Tanque de Bombeo

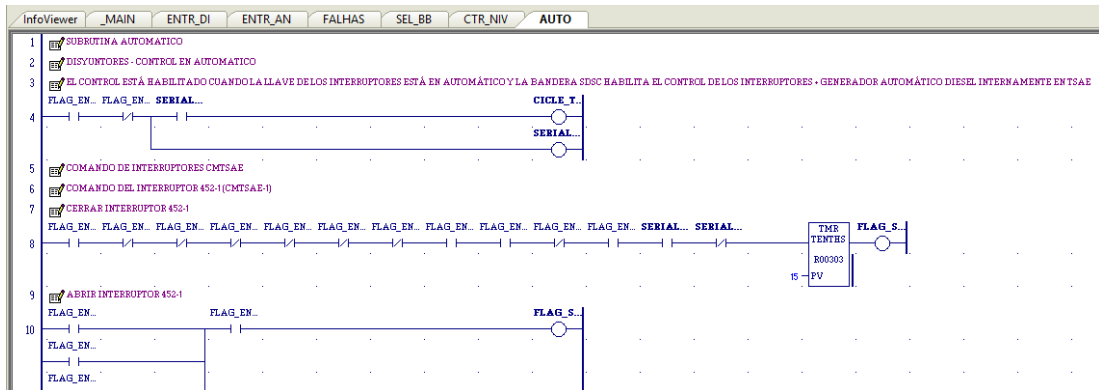
Este bloque de programación esta diseñado para encender o apagar la bomba sumergible BD-921 de acuerdo al nivel en el que se encuentre el Tanque de Bombeo.



Bloque de Subrutina Automático

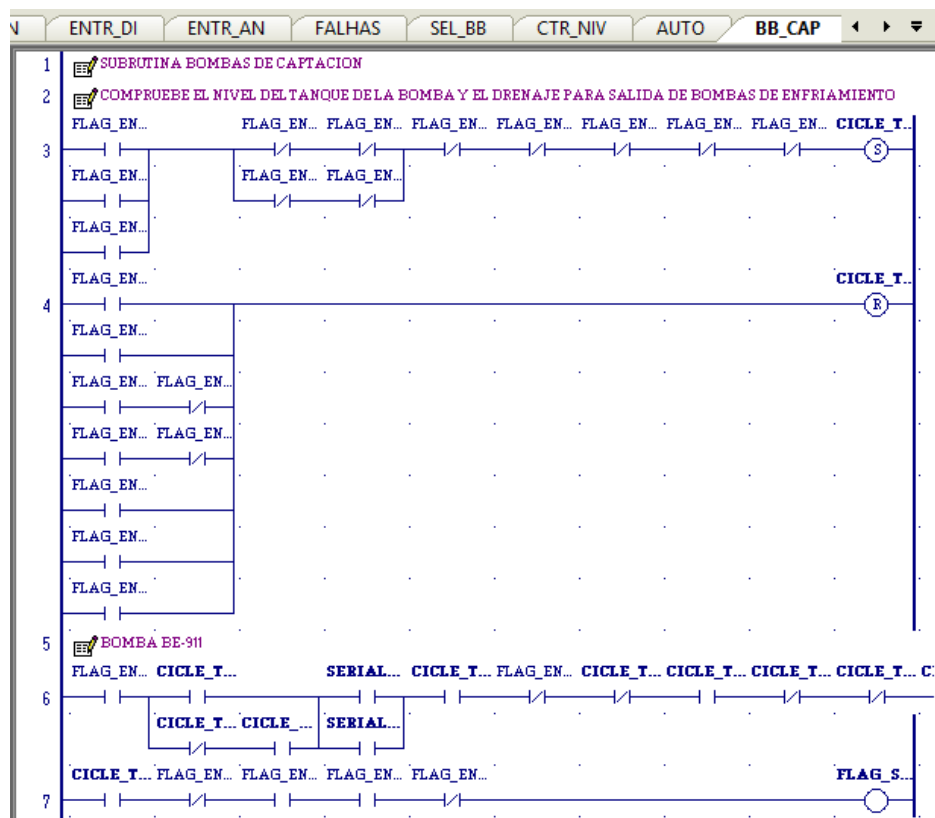
Este bloque de programación realiza el control automático de los disyuntores, el control está habilitado cuando la llave de los interruptores está en automático y la bandera SDSC habilita el control de los interruptores, realiza las siguientes funciones:

- Abre y cierra de manera automática los interruptores 452-1(CMTSAE-1), 452-2
- Comprueba si alguno de los interruptores del circuito esta cerrado y no tiene voltaje en la barra durante un tiempo determinado
- Restablece la falla de subtensión en la barra cuando el interruptor de los interruptores se pasa a modo manual
- Abre y cierra automáticamente los interruptores 452-E1, 452-E2, 452-E3, abre y cierra las válvulas de flujo FV-901, FV-902, FV-903, FV-902, FV-911, FV-912 y el extrator de aire
- Realiza el control automático del generador a diesel, comprueba si las máquinas U1 y U2 están apagadas para liberar la salida de diesel en automático.
- Abre y cierra el interruptor 52G
- Parada diesel de emergencia, sincroniza generador diesel



Bloque de Subrutina Bomba de Captación

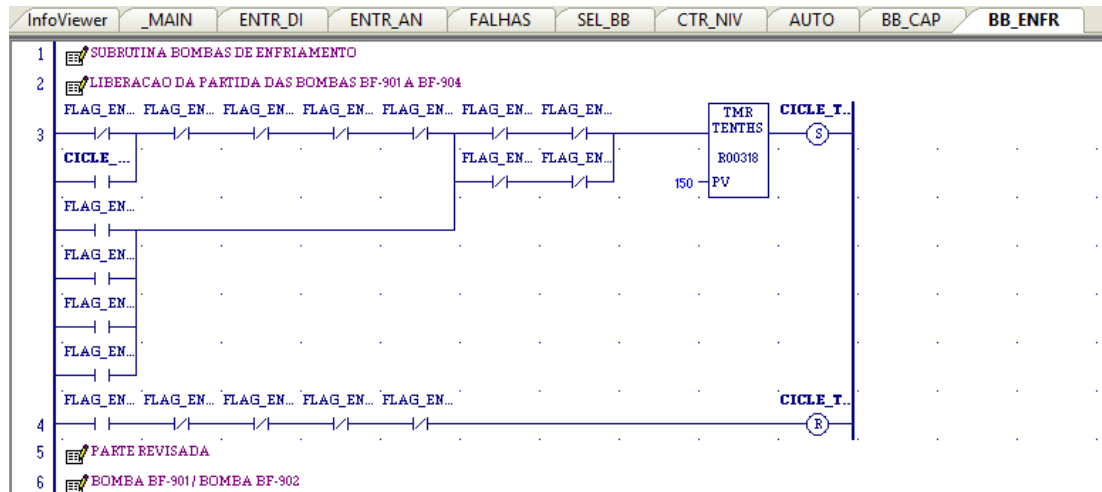
Este bloque de programación realiza el control de nivel del tanque de la bomba y el drenaje para en encendido de las bombas de enfriamiento BE-911 y BE-912, bloquea el generador diesel.



Bloque de Subrutina Bombas de Enfriamiento

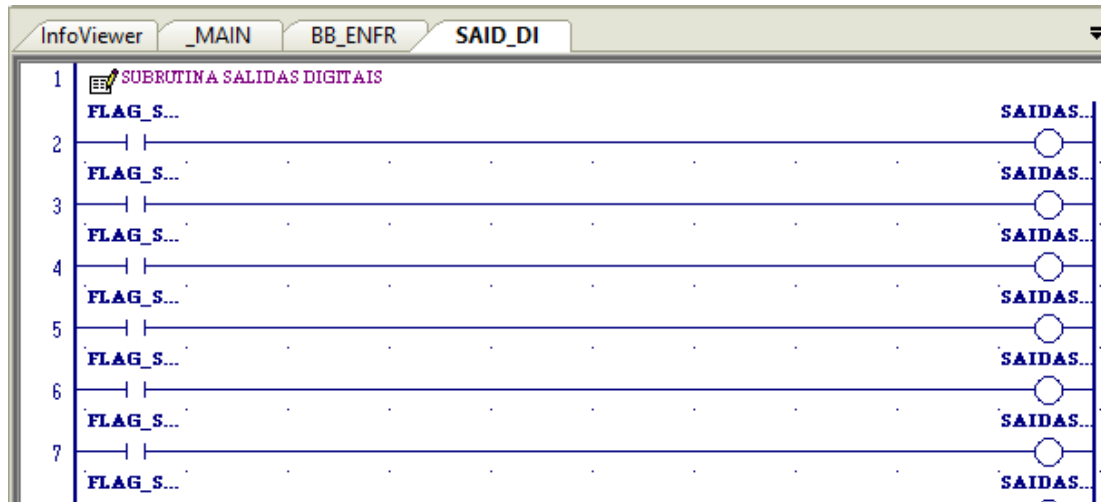
Este bloque de programación realiza el control para el arranque de las bombas BF-901, BF-902, BF-903, BF-904, realiza las siguientes funciones:

- Realiza un control que libera el temporizador de bandera de la U2 con FV002 cerrada, también se activa lo mismo si se produce un defecto en las bombas bf-903 y bf-904 al mismo tiempo para no sobre calentar el sistema
- Realiza un control que libera el temporizador de bandera de la U1 con FV001 cerrada también se activa lo mismo si ocurre un defecto en las bombas BF-901 y BF-902 al mismo tiempo para no sobrecalentar el sistema



Bloque de Subrutina Salidas Digitales

En total el sistema cuenta con 32 entradas digitales, incluidas 2 salidas disponibles separadas como reserva.

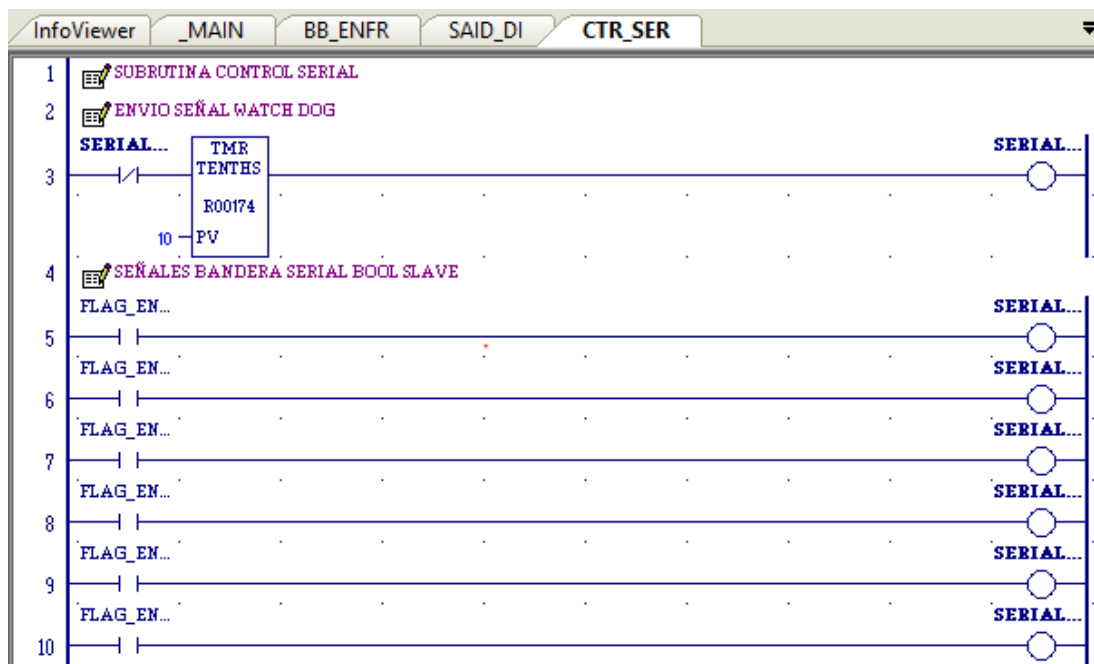


Bloque de Subrutina de Control Serial

Controla las señales de configuración del puerto serial y el SCADA.

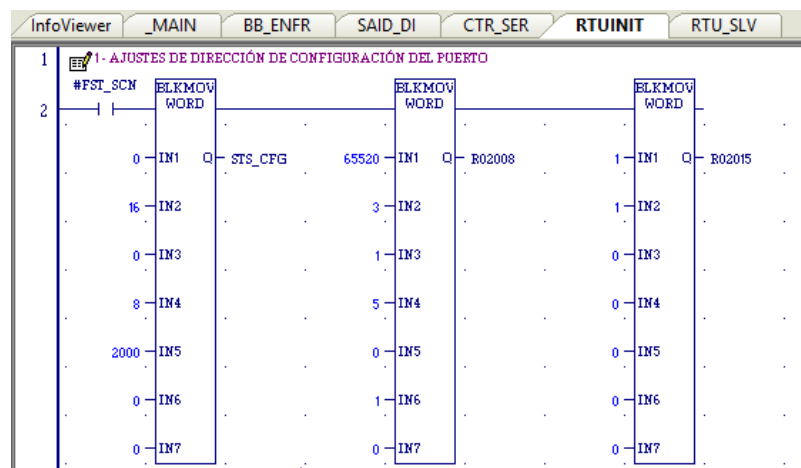
Alarmas de bajo nivel del tanque de bombeo

Posición válvulas FV-001, FV-002, interruptor 52G, arranque paro generador diesel, interruptor 452-1E1, interruptor 452-1E2, interruptor 452-1E3. interruptor 452-1, interruptor 452-2, extractor de aire E-901, control interno de disyuntores del generador a diesel, envío de señales analógicas del transformador TFGD, lecturas de voltaje, corriente, potencia y frecuencia de los disyuntores 452-E1/452-E2/452-E3, lecturas de voltaje, corriente, potencia y frecuencia del Generador a Diesel.



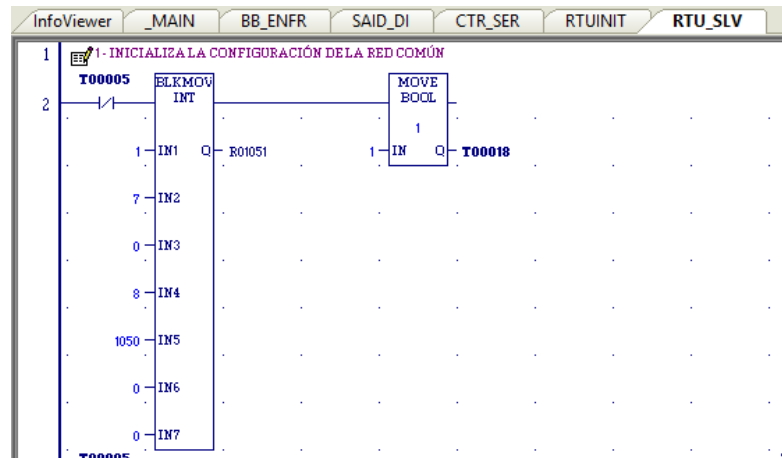
Bloque de Configuración de Comunicación RTU

Este bloque de programación permite inicializar la comunicación mediante el protocolo Modbus RTU.



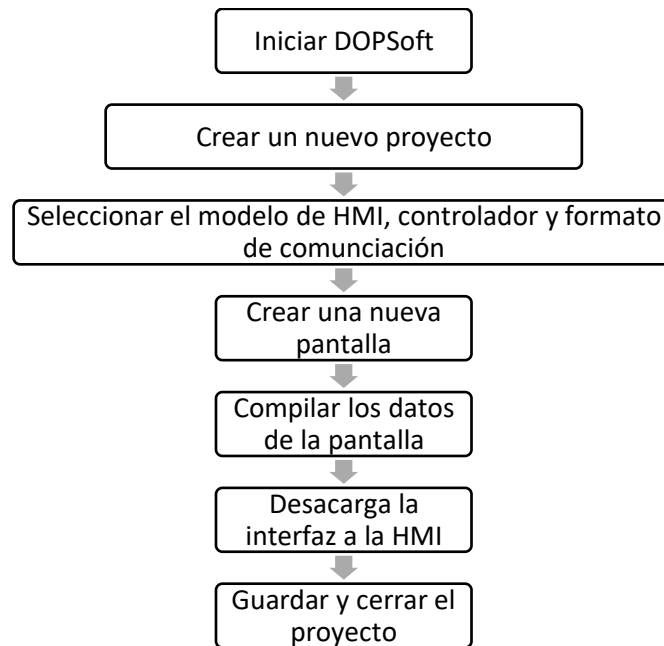
Bloque de Configuración de Comunicación RTU-Esclavo

Este bloque de programación permite obtener los datos mediante Modbus RTU de voltaje, corriente, potencia consumida y frecuencia de los disyuntores 452-E1/452-E2/452-E3

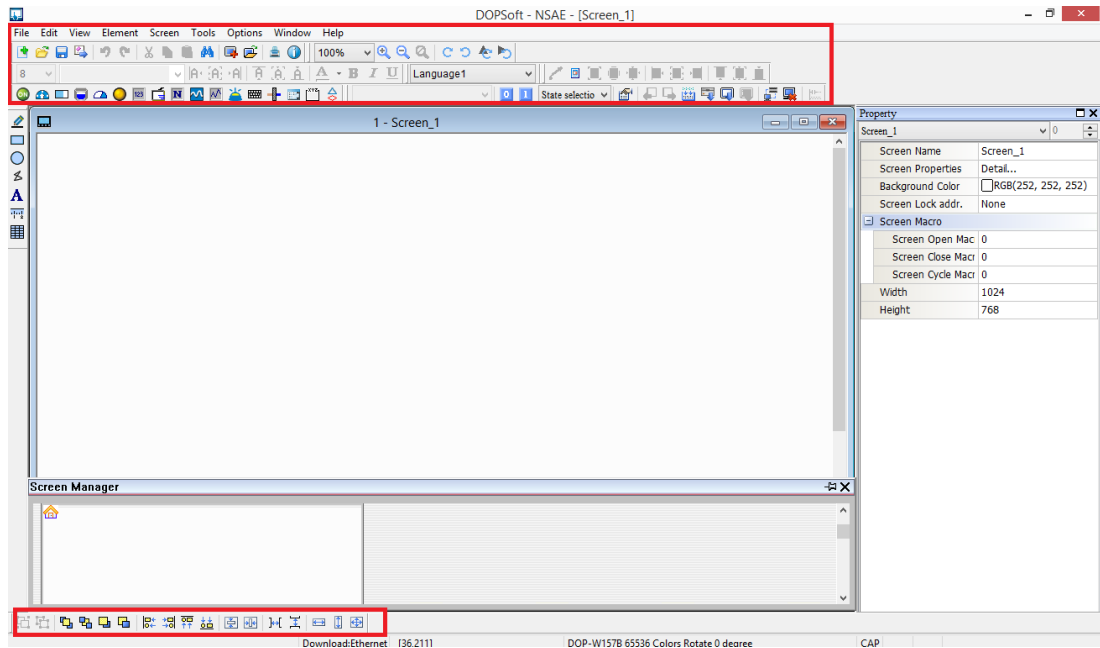


ANEXO I- CREACIÓN DE ENTORNOS MEDIANTE EL SOFTWARE DOPSOFT

Para realizar el diseño de las pantallas del HMI se utiliza el software DOPSoft, que cuenta con un entorno de trabajo amigable y sencillo para el usuario. Se recomienda seguir el orden indicado en el siguiente diagrama de flujo.



La ventana de edición de DOPSoft tiene ocho secciones, que incluyen una lista de funciones, barras de herramientas, ventanas de elementos (Lista de elementos y Banco de elementos), una ventana de propiedades, una ventana de salida, una ventana de administración de pantalla, una ventana de edición de pantalla y una barra de estado como se muestra en la figura.

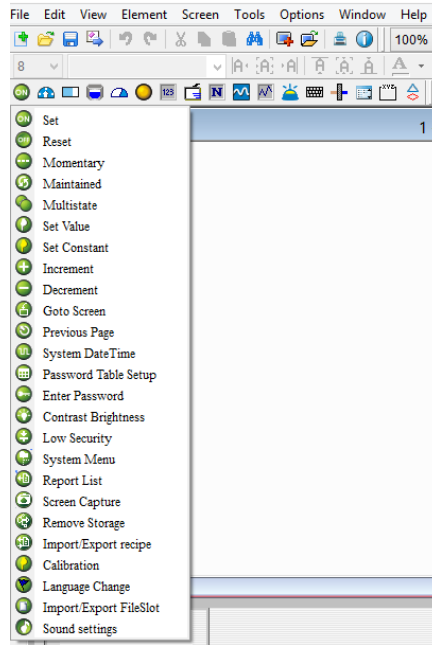


Creación de Botones

El software proporciona diferentes tipos de botones que se pueden usar, entre los cuales están, Set, Reset, Momentary, Maintaned, Goto Screen y se usan de acuerdo a la función que se desea ejecutar con ellos. Para el diseño de las pantallas de este proyecto los botones son usados para cambiar la pantalla que se desea visualizar y los botones que permiten visualizar la información de la pantalla Principal y la pantalla del Diagrama Unifilar.

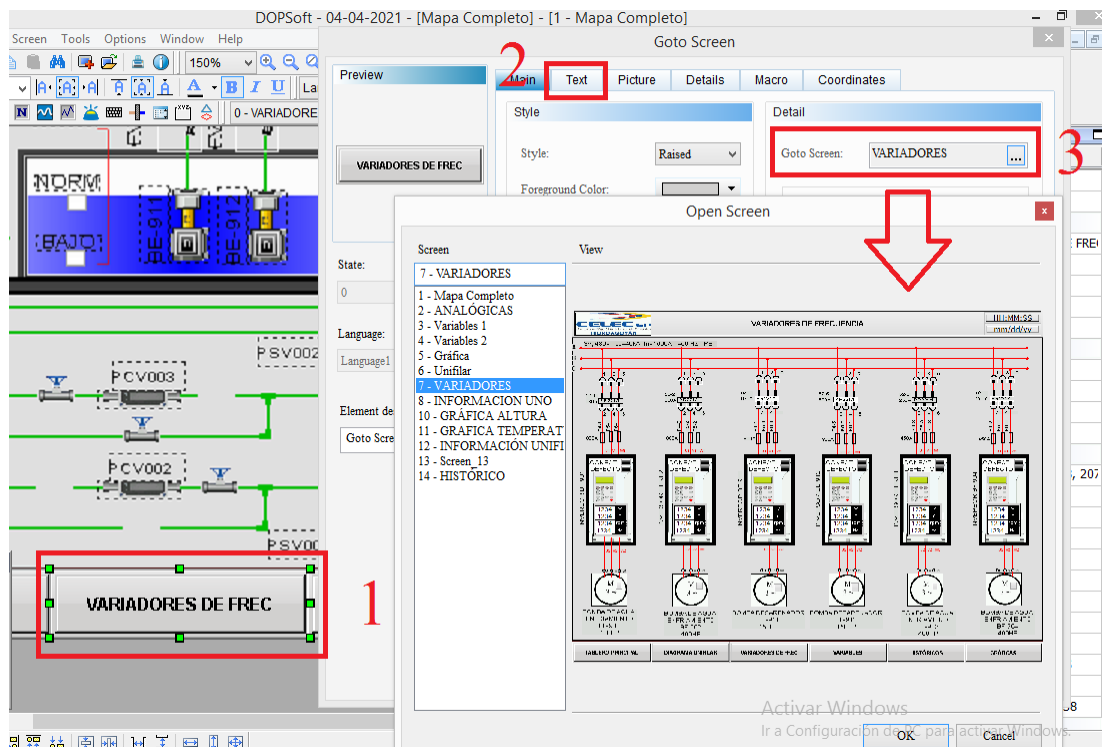


A continuación, se muestra como elegir el tipo del botón con el cual se desea trabajar.



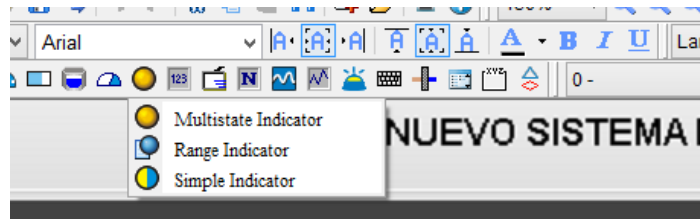
El tipo de botón que se usa para cambiar las pantallas de la interfaz es Goto Screen, y para crearlo se sigue los siguientes pasos:

1. Crear el botón Goto Screen.
2. Colocar el nombre del botón.
3. Seleccionar la pantalla a la cual se desea navegar después de presionar el botón.



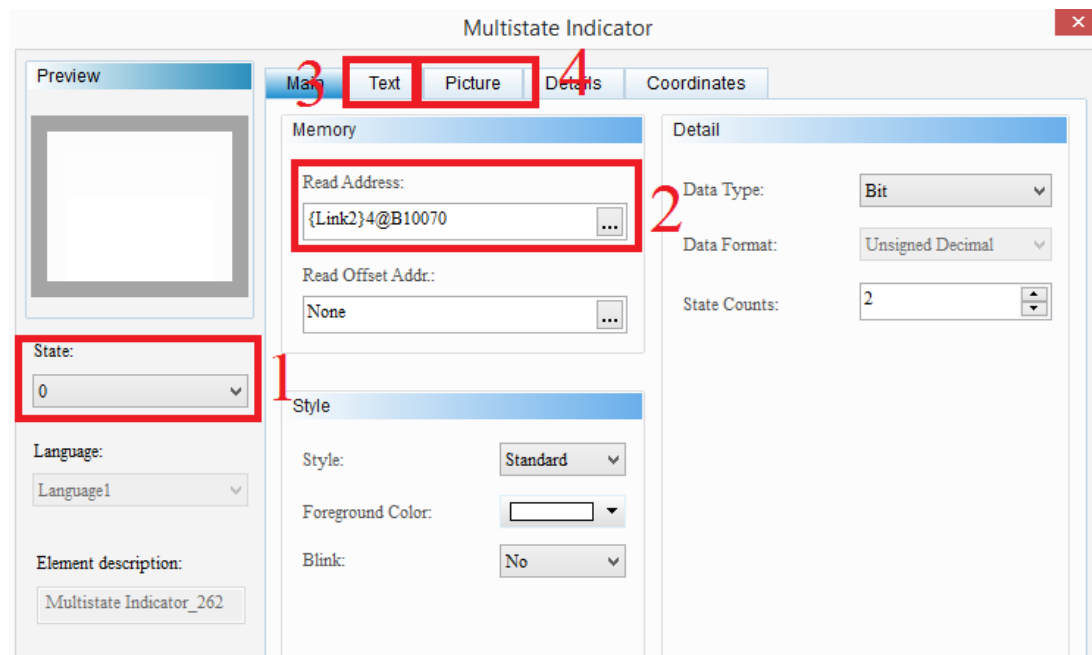
Indicadores de Estado

Para visualizar el estado de las variables del sistema se usan Indicadores de Estado, los cuales muestran si los instrumentos se encuentran activados, desactivados o en falla.



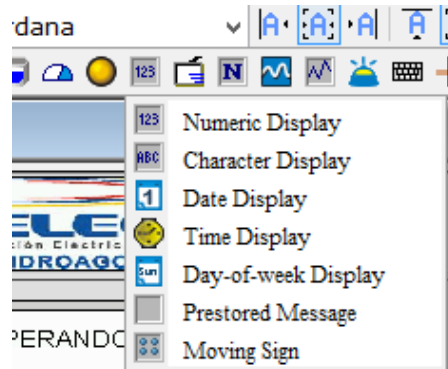
Para esta interfaz se usa Multistate Indicator, con los siguientes pasos para su configuración:

1. Estado: Permite colocar los estados que van a tener el indicador de acuerdo a la señal que reciba.
2. Dirección de lectura: Es la dirección Modbus por la cual se adquiere el estado de la variable que se va a leer.
3. Text: Se puede colocar una etiqueta para diferenciar el indicador.
4. Picture: Puede incluirse imágenes dependiendo el estado de la variable.



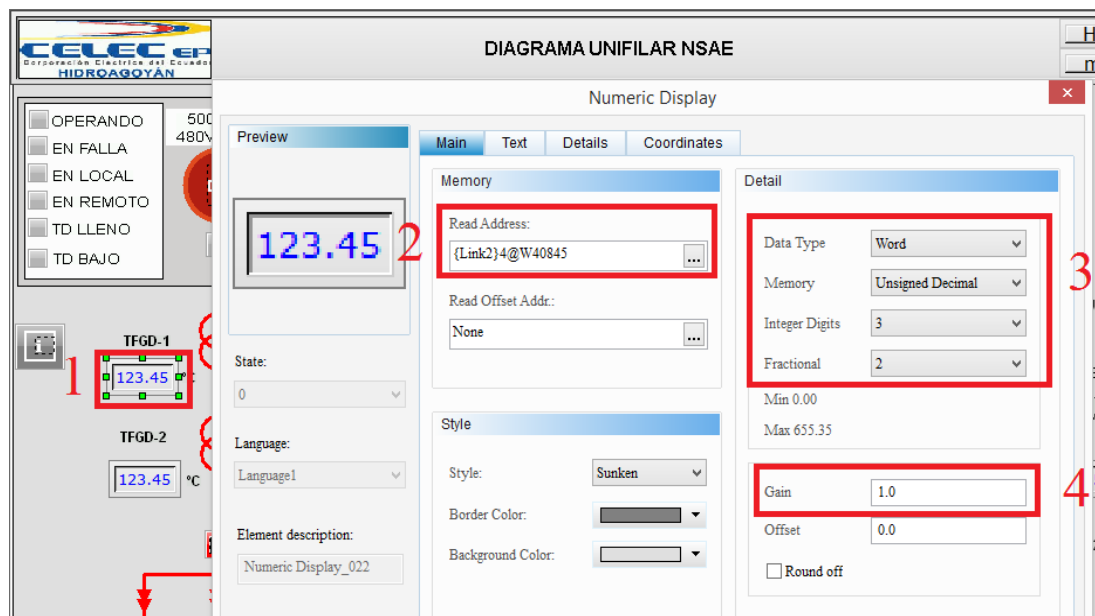
Display numérico

Permite visualizar dato de tipo WORD en las interfaces de las pantallas, en este proyecto es usado para visualizar parámetros analógicos como temperatura, flujo, altura, voltaje, corriente.



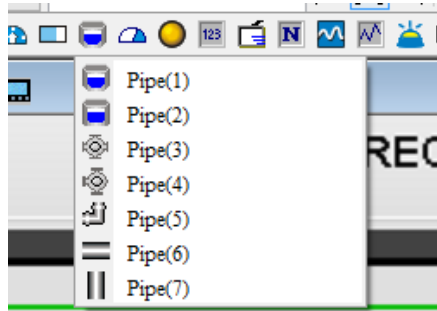
Para su configuración se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Escoger Numeric Display.
2. Colocar la dirección Modbus desde donde se va a extraer el dato.
3. Configurar la cantidad de dígitos enteros y decimales que se desee visualizar.
4. Tomar en cuenta la ganancia que se necesita para que el dato obtenido sea igual al medido.



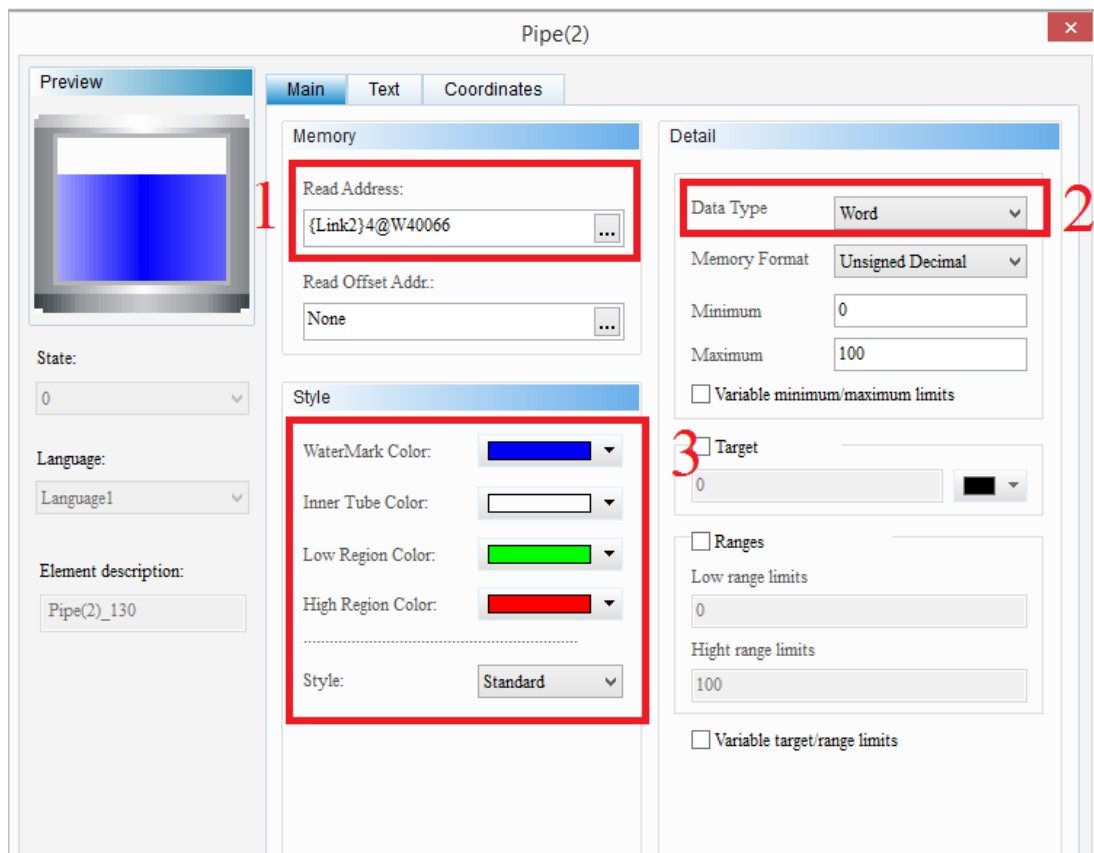
Tanques

Para las gráficas de los tanques del sistema se usa la herramienta Pipe, la cual simula el estado del nivel de agua de cada tanque. Se extrae señales analógicas las cuales permiten simular estos niveles.



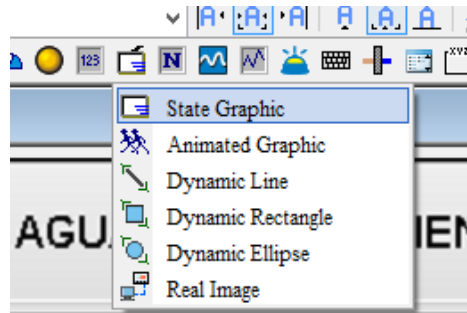
Para configurar esta herramienta se realizan los siguientes pasos:

1. Colocar la dirección Modbus que se extrae del PLC.
2. Definir el tipo de variable, en este caso WORD.
3. Definir los colores que van a ser visualizados en la interfaz de acuerdo a rangos y tipos de líquido que se desee indicar en las pantallas.



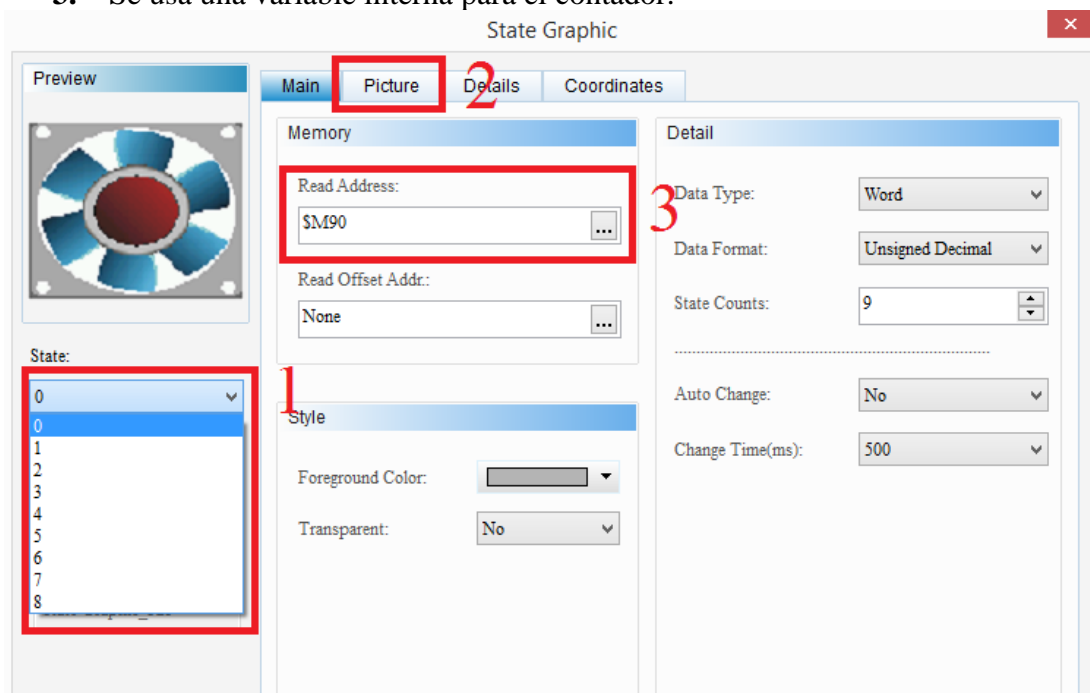
Gráficos de estado

Para este proyecto los gráficos de estados se usaron para animar la imagen de un ventilador, esta herramienta sirve para dar animación a la interfaz y visualizar de manera gráfica el estado de un dispositivo que tenga movimiento. La herramienta se denomina State Graphic.

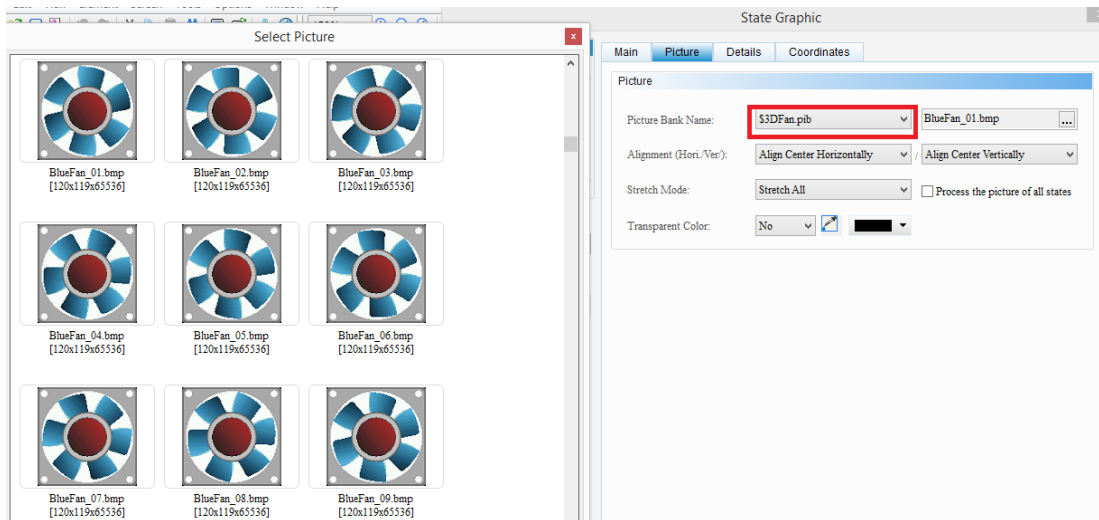


Para configurarlo el software DOPSoft facilita librerías que contienen imágenes prediseñadas listas para añadirlas a nuestra interfaz. Su configuración se la realiza de la siguiente manera:

1. State: Los estados van cambiando conforme un contador programado internamente incrementa su estado inicial, cada estado es una imagen diferente que permite crear el efecto de movimiento.
2. Picture: Se selecciona las imágenes que van a ser usadas en la interfaz.
3. Se usa una variable interna para el contador.

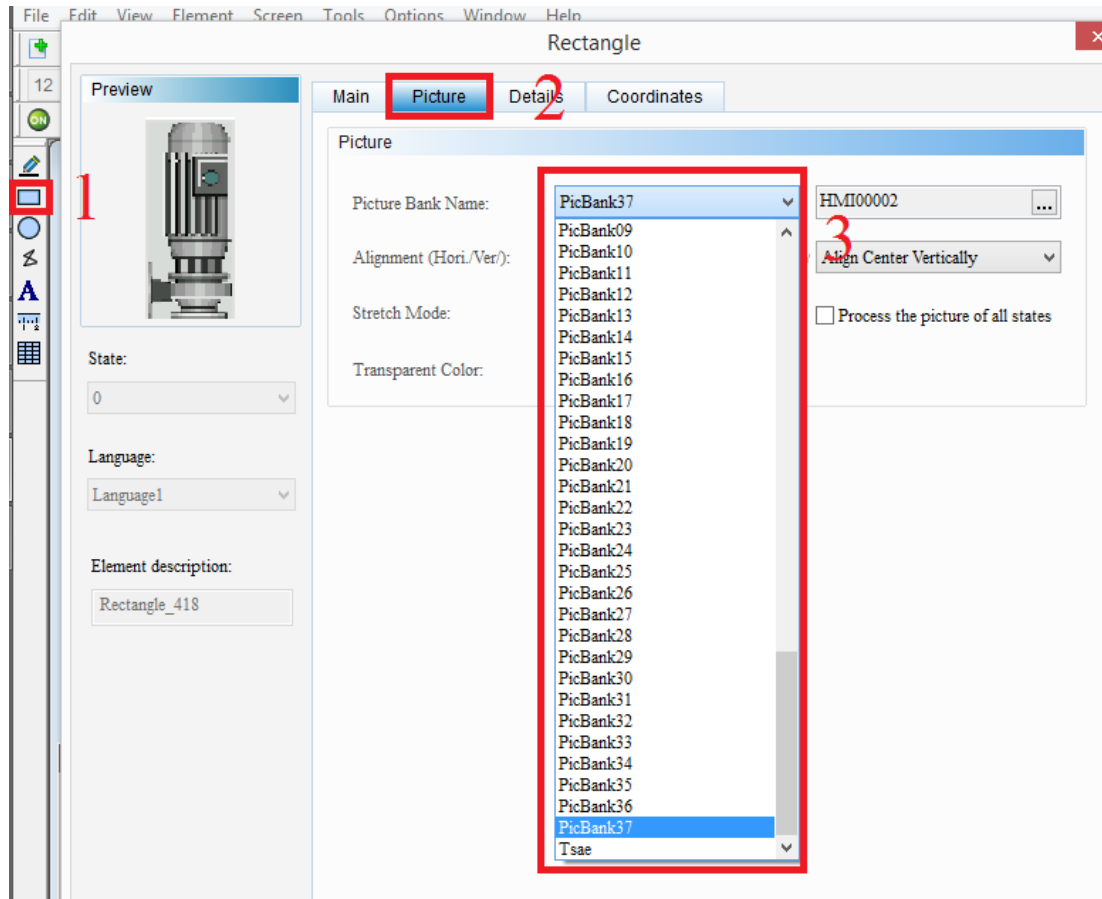


En la configuración de las imágenes se debe escoger una imagen por cada estado.

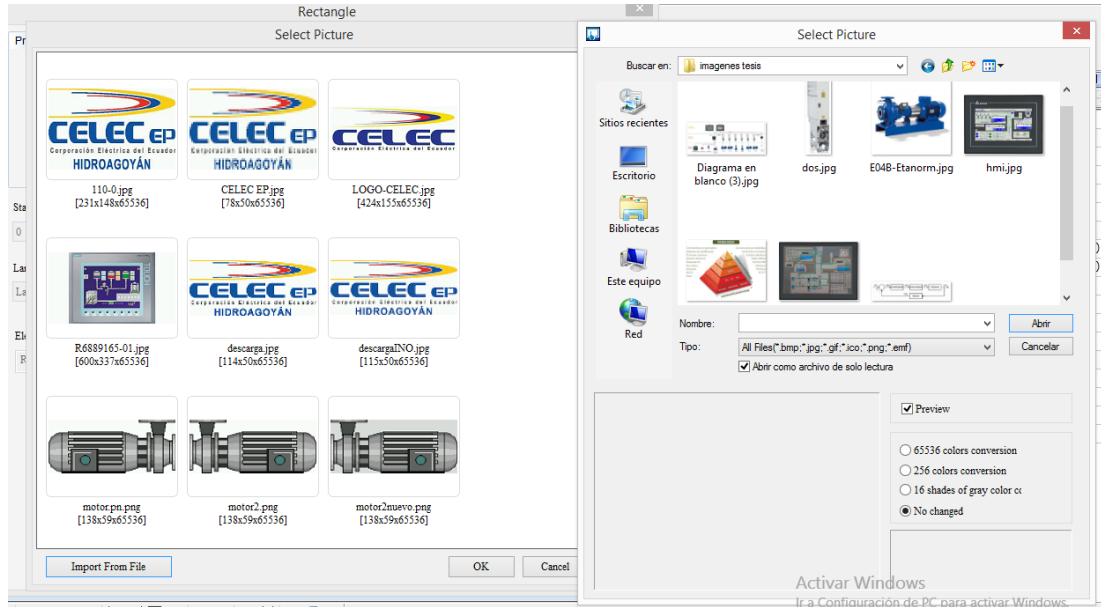


Imágenes

Para insertar imágenes en la interfaz se usa la herramienta Rectangle, la cual permite colocar una imagen desde la base de datos del software.

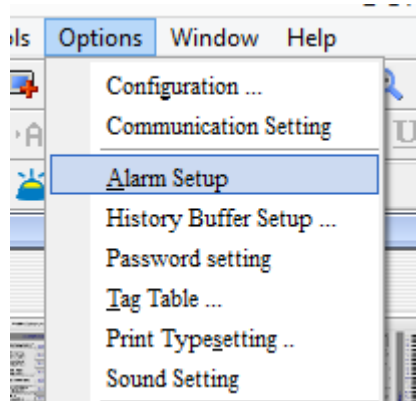


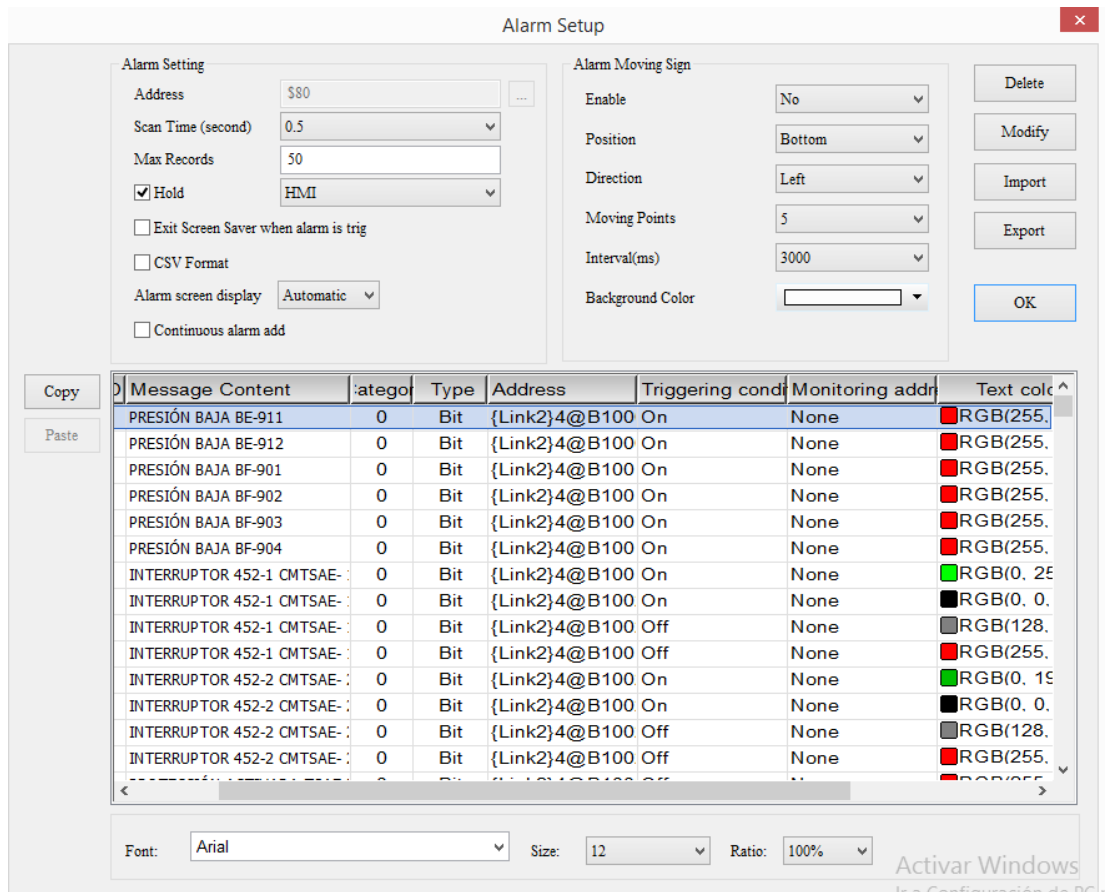
Para añadir imágenes a la base de datos se debe crear una carpeta, desde donde se las van a importar para poder añadirlas a la interfaz.



Alarmas

La gráfica de alarmas permite a los operadores visualizar fallas en el sistema, su configuración se la hace mediante las direcciones de las variables que son leídas desde el PLC. Se van mostrando en orden cronológico y la pantalla emite una alarma sonora cuando un evento se suscita.





ANEXO J- PROGRAMACIÓN DE LA HMI DELTA DOPW-157B CODIFO MACRO DOPSOFT

#ACONDICIONAMIENTO DEL SENSOR PARA CONTROL DE NIVEL DEL TANQUE DE BOMBEO

$\$20 = ({\text{Link2}}\}4@W40410)/100$

#ESTADO VÁLVULAS DE FLUJO FV: 901, 902, 903 Y 904

#FV-901

IF ({Link2}4@B10127) == ON

\$510 = 1

ENDIF

#FV-902

IF ({Link2}4@B10131) == ON

\$512 = 1

ENDIF

#FV-903

IF ({Link2}4@B10135) == ON

\$514 = 1

ENDIF

#FV-904

IF ({Link2}4@B10139) == ON

```
$516 = 1
ENDIF
```

```
#ESTADO VÁLVULAS FV 911 Y BF 912
IF ({Link2}4@B10143) == ON
$518 = 1
ENDIF
```

```
IF ({Link2}4@B10147) == ON
$522 = 1
ENDIF
```

```
#GRÁFICA DESARENADOR
IF ({Link2}4@B10065) == ON
$35 = 90
ENDIF
IF ({Link2}4@B10066) == ON
$35 = 10
ENDIF
```

```
IF ({Link2}4@B10065) == OFF
IF ({Link2}4@B10065) == OFF
$35 = 50
ENDIF
ENDIF
```

```
#GRÁFICA CHIMENEA DE EQUILIBRIO INFERIOR
IF ({Link2}4@B10067) == ON
$16 = 10
ENDIF
IF ({Link2}4@B10068) == ON
$16 = 70
ENDIF
```

```
#DIAGRAMA UNIFILAR
# INTERRUPTOR CMTSAE-1
IF ({Link2}4@B10020) == ON
$640 = 1
ENDIF
IF ({Link2}4@B10019) == ON
$640 = 0
ENDIF
IF ({Link2}4@B10021) == OFF
$640 = 2
ENDIF
```

```
# INTERRUPTOR CMTSAE-2
IF ({Link2}4@B10025) == ON
$641 = 1
ENDIF
IF ({Link2}4@B10024) == ON
$641 = 0
ENDIF
IF ({Link2}4@B10026) == OFF
$641 = 2
ENDIF
```

```

# INTERRUPTOR ENTRADA 1 452E-1

IF ({Link2}4@B10031) == OFF
IF ({Link2}4@B10032) == ON
$642 = 1
ENDIF
ELSE
$642 = 0
ENDIF

IF ({Link2}4@B10149) == OFF
$642 = 2
ENDIF

# INTERRUPTOR ENTRADA 2 452E-2
IF ({Link2}4@B10035) == ON
IF ({Link2}4@B10034) == ON
$643 = 1
ENDIF
ELSE
$643 = 0
ENDIF

IF ({Link2}4@B10151) == OFF
$643 = 2
ENDIF

# INTERRUPTOR ENTRADA 3 452E-3
IF ({Link2}4@B10038) == OFF
IF ({Link2}4@B10037) == ON
$644 = 1
ENDIF
ELSE
$644 = 0
ENDIF

IF ({Link2}4@B10103) == OFF
$644 = 2
ENDIF

#ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADAS ANALOGICAS
$M100 = {Link2}4@W40839 /10
$M101 = {Link2}4@W40839 / 10
$M102 = {Link2}4@W40841 * 10
$M103 = ({Link2}4@W40400)
$M104 = {Link2}4@W40842 * 10
$M105 = {Link2}4@W40843 * 10
$M106 = {Link2}4@W40845 * 10
$M107 = {Link2}4@W40410 / 10
$M109 = {Link2}4@W40839 * 10

```