



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTOR: GALLEGOS CORREA CARLOS LEONARDO

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIÓN DE TEMPERATURAS, PRESIONES Y NIVELES DEL MOTOR GENERADOR 3 NIIGATA DE 3.2 MW EN LA PLANTA LAFARGE CEMENTOS OTAVALO

DIRECTOR: ING. HUGO ORTIZ

CODIRECTOR: ING. ALEXANDER IBARRA

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL****CERTIFICADO**

Ing. Hugo Ortiz
Ing. Alexander Ibarra

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Diseño e implementación de un sistema de control y protección de temperaturas, presiones y niveles del motor Generador 3 Niigata de 3.2 MW en la planta Lafarge Cementos Otavalo”, realizado por Carlos Leonardo Gallegos Correa, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Carlos Leonardo Gallegos Correa que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 26 de Febrero de 2015

Ing. Hugo Ortiz
DIRECTOR

Ing. Alexander Ibarra
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL****DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD****CARLOS LEONARDO GALLEGOS CORREA****DECLARO QUE:**

El proyecto de grado denominado “Diseño e implementación de un sistema de control y protección de temperaturas, presiones y niveles del motor Generador 3 Niigata de 3.2 MW en la planta Lafarge Cementos Otavalo”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 26 de Febrero de 2015

Carlos Leonardo Gallegos Correa

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Carlos Leonardo Gallegos Correa

Autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño e implementación de un sistema de control y protección de temperaturas, presiones y niveles del motor Generador 3 Niigata de 3.2 MW en la planta Lafarge Cementos Otavalo”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 26 de Febrero de 2015

Carlos Leonardo Gallegos Correa

DEDICATORIA

A Dios puesto que me brinda sabiduría, amor y paciencia, ya que nunca me ha dejado solo en los momentos más difíciles.

A mi esposa Tania e hijo Santiago por ser mi fortaleza, por su total confianza en mí, apoyarme y estar siempre a mi lado.

A mis padres puesto que me brindaron apoyo en el desarrollo y transcurso del proyecto, ayudándome a concluirlo satisfactoriamente.

A mis hermanos ya que me enseñaron a no bajar los brazos, me ayudaron a fortalecer mi carácter, por ser mis amigos y en ocasiones ser como mi padre.

AGRADECIMIENTO

A Dios, ya que me ayudó a culminar el proyecto, pese a todas las complicaciones que se presentaron, por nunca desampárame y siempre caminar junto a mí gracias.

A mi esposa Tania por la preocupación, por su apoyo, por su ayuda y sus consejos gracias a ella he culminado mi proyecto de fin de carrera.

A mi Santy por ser la bendición que llegó a mi vida, a pesar de ser tan pequeño he aprendido mucho de él.

A mis padres, por brindarme todo su cariño y dedicación, por su paciencia y sabiduría y por siempre aconsejarme, gracias.

A INNOVATRONICA S.A, por confiarme el proyecto de fin de carrera ofreciéndome todo el conocimiento para culminarlo y por ayudarme en el crecimiento profesional.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Generalidades.....	3
1.4 Descripción General del Proyecto	4
1.4.1 Descripción General de Equipos Instalados.....	5
1.4.2 Requerimientos técnicos del sistema	6
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Motor Generador de combustión interna.	8
2.1.1 Funcionamiento del motor generador (Alvaro, 2014).....	9
2.2 Sistemas auxiliares.....	11
2.2.1 Combustible	12
2.2.2 Aceite de lubricación.....	13
2.2.3 Aire comprimido	14
2.2.4 Refrigeración.....	15
2.2.5 Módulo de gases de escape	15
2.3 Interfaces de operador. : (Etitudela-Celula, 2013).....	16
2.3.1 Software	17
2.4 Sistema SCADA. (Joan, 2011)	18
2.4.1 Características de un sistema SCADA (José, 2012)	19
2.5 Sensores de temperatura. (Jesús Bausá Aragonés, 2013)	20
2.5.1 Termocuplas.....	21
2.5.2 Tipos de Termocuplas	22
2.5.2.1 Termocuplas no Estándar	22
2.5.2.2 Termocuplas Estándar	23
2.5.3 Termistores.....	25
2.5.4 Termorresistencia.....	26
2.6 Sensores de presión.....	27

2.7 Profibus. (Martinez, 2013).....	28
CAPÍTULO III.....	31
DISEÑO	31
3.1 Requisitos.....	31
3.1.1 Tablero de control.	32
3.1.2 Sistema de control.....	33
3.2 Diseño del sistema de control.	33
3.2.1 Diagramas P&ID	34
3.2.2 Arquitectura de control	41
3.2.3 Asignación de Variables	42
3.3 Diseño del sistema eléctrico.	49
3.3.1 Diseño del tablero eléctrico.....	49
3.3.1.1 Tablero eléctrico.....	49
3.3.1.2 Distribución del tablero eléctrico.	50
3.4 Especificaciones.....	56
CAPÍTULO IV.....	58
DESARROLLO DE SOFTWARE.....	58
4.1 Desarrollo de la lógica de control para el autómatas programable.	58
4.1.1 Diagrama de flujo del proceso.	58
4.1.2 Software de programación	70
4.1.3 Programación del controlador lógico programable del motor generador.	72
4.1.4 Comunicación STEP 7 y Wincc.....	74
4.1.5 Comunicación STEP 7 y Wincc Flex.....	80
4.1.6 Comunicación STEP 7 y Wincc Flex.....	81
4.2 Diseño y Desarrollo del HMI para la terminal de operador.	84
4.2.1 Arranque.....	85
4.2.2 Encabezado	86
4.2.3 Menú Inferior	87
4.2.4 Inicio	87
4.2.5 Visión General	87
4.2.6 Control.....	88

4.2.7 Temperatura	90
4.2.8 Presiones	90
4.2.9 Combustible	91
4.2.10 Sistemas Auxiliares.....	92
4.2.11 Bomba de aire	93
4.2.12 Trends.....	93
4.2.12.1 Trends Voltaje MCC	94
4.2.12.2.-Trends Temperaturas.....	95
4.2.12.3 Presiones.....	96
4.2.13 Alarmas	98
4.3 Diseño y desarrollo del HMI para el sistema SCADA.	100
4.3.1 Convenciones adoptadas en el sistema	102
4.3.2 Elementos de las pantallas	102
4.3.3 Navegación.....	103
4.3.4 Inicio	105
4.3.5 Visión General	107
4.3.6 Pantalla 1	109
4.3.7- Pantalla 2.....	111
4.3.8 Tendencias.....	113
4.3.10 Setpoint	118
CAPÍTULO V	119
IMPLEMENTACIÓN	119
5.1 Generalidades.....	119
5.2 Selección de componentes.	120
5.2.1 Especificaciones.....	120
5.2.2 Selección de componentes.	121
5.3 Implementación del sistema eléctrico.....	125
5.3.1 Descripción General.....	125
5.3.2 Equipos de control y señalización.....	126
5.3.3 Equipos de protección.....	128
5.3.4 Niveles de voltaje de alimentación	128
5.3.5 Presostatos internos tablero de control.....	130

5.3.6 Presostatos externos tablero de control	131
5.3.7 Control redundante con presostatos.	131
5.4 Implementación del sistema de control.	132
5.4.1 Sistema semiautomático.....	132
5.4.2 Sistema de control HMI.	137
5.4.3 Sistema de control terminal de operador.....	139
CAPÍTULO VI.....	141
PRUEBAS Y RESULTADOS	141
6.1 Pruebas.....	141
6.2 Resultados.....	143
CAPÍTULO VII	147
CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	147
7.1 Conclusiones.....	147
7.2 Recomendaciones.	148
BIBLIOGRAFIA.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Línea 1 Motor generador 1, 2 y 3.....	3
Figura. 2 Tablero antiguo del motor generador 3.....	4
Figura. 3 Tablero de control instalado del motor generador 3.....	5
Figura. 4 Vista superior del motor generador 3.....	8
Figura. 5 Proceso de admisión.....	9
Figura. 6 Proceso de compresión.....	10
Figura. 7 Proceso de expansión.....	10
Figura. 8 Proceso de admisión.....	11
Figura. 9 Funcionamiento completo de motor generador.....	11
Figura. 10 Sistemas auxiliares del motor generador.....	12
Figura. 11 Tanque diario Bunker.....	13
Figura. 12 Tanque diario Diesel.....	13
Figura. 13 Tanque aceite lubricante.....	14
Figura. 14 Aire de arranque del motor 3.....	14
Figura. 15 Radiador aceite lubricante.....	15
Figura. 16 Tubos de entrada y salida de gases.....	15
Figura. 17 Terminal de operador de Siemens.....	16
Figura. 18 Estructura de la termocupla.....	22
Figura. 19 Tablero de control antiguo.....	32
Figura. 20 Diagramas P&ID de las temperaturas en la unidad 3.....	34
Figura. 21 Diagramas P&ID del sistema de combustible.....	36
Figura. 22 Diagramas P&ID aceite lubricante.....	38
Figura. 23 Diagramas P&ID agua camisas.....	39
Figura. 24 Diagramas P&ID agua inyectores.....	40
Figura. 25 Arquitectura de control.....	41
Figura. 26 base del tablero.....	49
Figura. 27 Vista frontal externa del tablero de control.....	50
Figura. 28 Terminal de operador e indicadores luminosos.....	51
Figura. 29 Doble fondo del tablero de control.....	53
Figura. 30 Tablero de control instalado.....	55
Figura. 31 Selectores, botones y luces indicadoras del tablero de control.....	58
Figura. 32 MCC para el encendido y apagado de la unidad 3.....	59
Figura. 33 Diagrama de flujo del proceso de pre-lubricación.....	63
Figura. 34 Diagrama de flujo del proceso de arranque del motor generador.....	67
Figura. 35 Diagrama de flujo del proceso de parada del motor generador.....	68
Figura. 36 Información del software de programación.....	71
Figura. 37 crear un nuevo proyecto en STEP 7.....	73
Figura. 38 Familia del plc Simatic 300.....	73
Figura. 39 Se insertó los módulos de entradas analógicas.....	74
Figura. 40 Nueva conexión TCP/IP.....	75
Figura. 41 Configuración del nombre de la nueva conexión.....	75
Figura. 42 Configuración de IP y posicionamiento del módulo.....	76
Figura. 43 Direccionamiento de las variables del PLC en el SCADA.....	77
Figura. 44 Selección de la interface de Ethernet.....	78
Figura. 45 Direccionamiento IP de la PC.....	79
Figura. 46 Direccionamiento IP de la PC.....	80

Figura. 47	Configuración de comunicación Wincc Flex.	81
Figura. 48	Configuración del protocolo Profibus dp.	82
Figura. 49	Modo de operación del PLC como master.	82
Figura. 50	Dirección y velocidad de transferencia.	83
Figura. 51	Añadir IM 153-1 para la comunicación Profibus DP.	83
Figura. 52	Configuración del IM 153-1 para la comunicación Profibus DP.	84
Figura. 53	Formato de las ventanas de la touch panel.	85
Figura. 54	Menú Superior	86
Figura. 55	Menú Inferior.....	87
Figura. 56	Ventana de Inicio.....	87
Figura. 57	Ventana de Visión General.....	88
Figura. 58	Ventana de Control.....	89
Figura. 59	Ventana de Setpoint.....	89
Figura. 60	Ventana de temperaturas	90
Figura. 61	Ventana de Presiones.....	90
Figura. 62	Ventana de combustible.....	91
Figura. 63	Ventana de Sistemas Auxiliares	92
Figura. 64	Ventana de Aires	93
Figura. 65	Trend de Voltajes MCC.....	94
Figura. 66	Trend de Cilindros A	95
Figura. 67	Trend de Cilindros B	95
Figura. 68	Trend de Pcot.....	96
Figura. 69	Trend de Bancadas.....	96
Figura. 70	Trend de Preiones de Motor	97
Figura. 71	Trend de presiones de Aires	97
Figura. 72	Trend de presiones de viscosidad y rpm.....	98
Figura. 73	Ventana de Alarmas.....	99
Figura. 74	Avisos de Alarmas.....	99
Figura. 75	Representación del Sistema SCADA	100
Figura. 76	Representación del Sistema SCADA	100
Figura. 77	Representación del Sistema SCADA	101
Figura. 78	Ventana de aviso con insuficiente permisos de acceso	101
Figura. 79	Representación de menú superior e inferior	103
Figura. 80	Menú superior.....	104
Figura. 81	Menú Inferior.....	104
Figura. 82	Ventana de Inicio.....	105
Figura. 83	Ventana para el ingreso de Usuario y clave	106
Figura. 84	Nombre de usuario ingresado y habilitado	106
Figura. 85	Error con usuario con insuficientes permisos.....	106
Figura. 86	Error de mal ingreso de nombre de usuario o clave	107
Figura. 87	Visión General.....	108
Figura. 88	Sistema de suministro de combustible.....	108
Figura. 89	Sistema de aceite lubricante	109
Figura. 90	Sistema de aire comprimido	110
Figura. 91	Sistema de agua de refrigeración.....	110
Figura. 92	Sistema de gases de escape y gases de carga.....	111
Figura. 93	Temperaturas del motor.....	112
Figura. 94	Sistema Eléctrico	112

Figura. 95 Pantalla de presiones	113
Figura. 96 Pantalla de tendencias.....	113
Figura. 97 Radio-Box de la pantalla de tendencias.....	114
Figura. 98 Ventana de alarmas.....	115
Figura. 99 Indicador de alarma	116
Figura. 100 Botón Reconocer ventana de alarmas.....	116
Figura. 101 Indicador de alarmas.....	116
Figura. 102 Indicador de Alarma con disparo.....	117
Figura. 103 Indicador de alarma aviso.....	117
Figura. 104 Indicador de alarmas, disparos y avisos para los niveles	118
Figura. 105 Ventana de Setpoint.....	118
Figura. 106 Diagrama del sistema de control y comunicaciones.....	120
Figura. 107 Adaptadores de margen de medida ajustados de fábrica en B	124
Figura. 108 Vista exterior e interior del Tablero de Control Unidad 3.....	126
Figura. 109 PLC (Control electrónico) y Relés (Control Electromecánico).....	127
Figura. 110 Panel de mando y monitoreo (TS1).....	128
Figura. 111 Equipos de protección: breakers y portafusibles	128
Figura. 112 Barra de Tierras	128
Figura. 113 Presóstatos para control redundante (Tablero de Control)	130
Figura. 114 Circuito de control	132
Figura. 115 Selectores, botones y luces indicadoras del tablero de control.....	134
Figura. 116 Distribución de los monitores en el cuarto de control.	138
Figura. 117 Tarjeta Matrox TripleHead2G.....	138
Figura. 118 Terminal de operador.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1	
Tipos de Sensores.....	21
Tabla. 2	
Tipos de material.....	26
Tabla. 3	
Lista de entradas y salidas Rack1.....	42
Tabla. 4	
Lista de entradas y salidas Rack2.....	43
Tabla. 5	
Lista de entradas y salidas Rack3.....	44
Tabla. 6	
Lista de entradas y salidas Rack4.....	45
Tabla. 7	
Cantidad de señales para el sistema de protección.....	121
Tabla. 8	
Características y datos técnicos del controlador	122
Tabla. 9	
Prueba del PLC	143
Tabla. 10	
Prueba de Software	143
Tabla. 11	
Pruebas de equipos a 24 VCC.....	144
Tabla. 12	
Prueba de la terminal de operador.....	144
Tabla. 13	
Verificación del cableado del tablero de control.....	144
Tabla. 14	
Verificación de red Profinet	144
Tabla. 15	
Verificación de red Profibus	145
Tabla. 16	
Prueba de lógica de control PLC.....	145
Tabla. 17	
Prueba de lógica de control relés	145
Tabla. 18	
Prueba de mediciones temperaturas, presiones y niveles.....	146

RESUMEN

En el presente documento se propone el diseño e implementación del sistema de control de la Unidad de Generación No. 3 de la Planta Eléctrica de Lafarge Cementos S.A ubicada en la ciudad de Otavalo, km 7.5 vía a Selva Alegre. El sistema propuesto permitirá realizar el control y supervisión de la unidad de generación, con el fin de verificar la correcta operación de los diferentes equipos y sistemas de la unidad, y tomar decisiones oportunas para garantizar su operación. El sistema de control está constituido por un controlador lógico programable PLC SIEMENS S7-300, el mismo que será programado implementado lógicas de control para el funcionamiento adecuado de los diferentes módulos de la unidad. El sistema permite la operación de la unidad de una forma sencilla y estable, con el objeto de que el operador tenga facilidad de controlar y verificar los datos y condiciones de operación de la unidad mediante una pantalla de operación táctil, ubicada junto a la unidad, y también por medio del sistema SCADA implementado en una computadora del cuarto de control. El sistema de control de la unidad garantizará el funcionamiento óptimo de la unidad y por tanto el suministro eléctrico de la misma como parte fundamental del suministro eléctrico para la planta de producción. Es de importancia indicar que no siempre estarán en operación todos los grupos de generación, esto depende de los mantenimientos preventivos programados que recibe cada uno de los grupos dependiendo del número de horas de trabajo.

PALABRAS CLAVES

- Controlador lógico programable.
- Comunicación Profibus DP.
- Comunicación Industrial Ethernet.

- Terminal de operador.
- Interface Hombre Maquina.
- Sistema de supervisión control y adquisición de datos.

ABSTRACT

In this paper the design and implementation of the control system Generating Unit No. 3 Power Plant Cement Lafarge SA located in the city of Otavalo, 7.5 km road to Selva Alegre is proposed. The proposed system will allow the control and supervision of the generation unit, in order to verify proper operation of various equipment and systems unit, and make timely decisions to ensure their operation. The control system consists of a programmable logic controller Siemens S7-300 PLC, which will be the programmed control logic implemented for the proper functioning of the different modules of the unit. The system allows operation of the unit in a simple and stable manner, in order that the operator easily to control and verify the data and operating conditions of the unit using a touch screen operation, located next to the unit, and also through the SCADA system implemented in a computer control room. The system control unit will ensure optimal operation of the unit and thus the power supply thereof as a fundamental part of electricity supply for the production facility. It is important to indicate that there will always be in operation all generating units, this depends on preventive maintenance programs receiving each of the groups depending on the number of hours worked.

KEYWORDS

- Programmable logic controller.
- Profibus DP communication.
- Industrial Communication Ethernet.
- Terminal Operator.
- Interface Man Machine.
- Monitoring system control and data acquisition.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la planta Lafarge Cementos Ecuador-Otavalo existen 6 grupos electrógenos, los cuales al cumplir un cierto número de horas de funcionamiento deben recibir un mantenimiento preventivo programado mecánico y eléctrico. Las unidades (1, 2 y 3) al entrar en mantenimiento serán automatizadas, mientras que las unidades restantes ya lo están.

Las unidades tienen que realizar un total de 12000 horas continuas de trabajo, luego de lo cual deben entrar obligadamente a un overhool (mantenimiento mayor), durante el mantenimiento se aprovechará para instalar un sistema SCADA para el control y monitoreo del grupo generador.

La unidad 3 incluye el motor, el generador y los equipos auxiliares necesarios para generar potencia eléctrica en el orden de 3.2MW. Los equipos auxiliares están instalados principalmente en unidades independientes, para el encendido manual o semiautomático.

La unidad de generación funciona con petróleo crudo (bunker) como combustible principal y con diésel para el arranque y parada del motor de combustión interna. El motor para su sistema de refrigeración dispone de un circuito cerrado de agua con radiadores en el exterior de la planta eléctrica.

El tablero de control actualmente se encuentra obsoleto, ya que la automatización se realizó hace más de 20 años con elementos electromecánicos; el grupo electrógeno tiene el sistema de arranque y las protecciones con lógica de contactos, además tiene

la medición de las variables con medidores analógicos, todo esto es factible cambiar por un autómatas programable, una terminal de operador y una interface HMI.

1.2 Objetivos

Diseñar e implementar un sistema de control y protección de temperaturas, presiones y niveles del motor Generador 3 Niigata de 3.2 MW en la planta Lafarge Cementos Otavalo.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Establecer los criterios y procedimientos básicos, que son aplicables en la parte de automatización e implementación para el proyecto de la unidad 3 de Lafarge cementos Otavalo.
- Analizar las características y especificaciones técnicas del funcionamiento de los instrumentos de monitoreo, control, comunicación para la automatización del motor generador
- Determinar los parámetros del funcionamiento según los requerimientos del sistema para el control y protección del motor generador.
- Estimar un diseño para un sistema de adquisición de datos, que permita lograr una mejor operación y monitoreo del motor generador.
- Definir un adecuado diseño de interface HMI que sea amigable para el usuario, de fácil uso y control, para el monitoreo en tiempo real de la unidad 3.
- Comprobar el funcionamiento del motor generador mediante un protocolo de pruebas del sistema eléctrico, sistema de control y del sistema SCADA.

1.3 Generalidades

La Unidad de Generación No. 3 de la Planta Eléctrica de Lafarge Cementos S.A se encuentra ubicada en la ciudad de Otavalo, km 7.5 vía a Selva Alegre. La unidad incluye el motor, el generador y los equipos auxiliares necesarios para generar corriente eléctrica. El motor y el generador forman un grupo electrógeno (Unidad 3). El equipo auxiliar está instalado principalmente en unidades independientes.

La Unidad de generación funciona con petróleo crudo (bunker) como combustible principal y con diesel como combustible de seguridad. El motor dispone de un sistema de agua de refrigeración de circuito cerrado con radiadores de refrigeración en el exterior de la planta eléctrica.

Esta y cada unidad de la Planta Eléctrica de Lafarge comprende de un sistema de control y un sistema de distribución de energía. La producción de energía, principalmente, se controlará desde el nuevo panel de control central y desde la estación de trabajo del operador (Sistema SCADA).



Figura. 1 Línea 1 Motor generador 1, 2 y 3.

En la figura 1 se observa la línea de generación 1, que es conformada por las unidades 1, 2 y 3 estas se encuentran en la planta eléctrica de Lafarge, de las cuales la unidad 3 se encuentra en mantenimiento.

1.4 Descripción General del Proyecto

El proyecto se realizó emergentemente ya que la automatización de todas las unidades de la línea 1 se realizó hace 20 años, por esta razón todos los planos eléctricos se encuentran extraviados y es necesario tenerlos para hacer el mantenimiento eléctrico del motor generador.



Figura. 2 Tablero antiguo del motor generador 3.

Por lo tanto la planta eléctrica de Lafarge Cementos Ecuador-Otavaló debió esperar a un mantenimiento mayor para realizar la automatización del primer motor generador (Unidad 3); en el mantenimiento se realizó un levantamiento del tablero de control antiguo (figura 2), en donde se obtuvo cada una de las variables que influyen en

proceso de control, por otra parte se instaló el tablero de control nuevo (figura 3), y se procedió a la automatización de la Unidad 3.

Todo el equipo montado para el motor generador requiere un diseño e implementación de un control manual y semiautomático para su puesta en marcha.

1.4.1 Descripción General de Equipos Instalados

Lafarge cementos Otavalo tomó la decisión de modernizar y automatizar la línea 1 (Unidad 1, 2 y 3), siendo de suma importancia implementar la automatización mientras la unidad 3 se encuentra en mantenimiento mayor.

Cuando la unidad 3 estuvo en mantenimiento se aprovechó para realizar el desmontaje del tablero antiguo y la instalación del tablero de control (ver figura 3), el cual estará completamente sellado para evitar filtraciones con un grado de protección IP65.



Figura. 3 Tablero de control instalado del motor generador 3.

La interface HMI se instaló en el cuarto de control y en el tablero de control, para el cuarto de control se instaló una PC con una tarjeta gráfica para múltiples monitores,

para tener una mejor visualización de los parámetros de motor generador se utilizó 3 pantallas, mientras que el tablero de control se encontrara una terminal de operador de 10 pulgadas (figura 3), la cual será de apoyo al operador cuando esté en el interior del cuarto de generadores para poder revisar los parámetros con mayor rapidez.

En las termocuplas y los RTD se utilizó cables de compensación para prever mediciones erróneas de temperaturas.

1.4.2 Requerimientos técnicos del sistema

En la planta eléctrica se encuentra el cuarto de generadores donde se instaló el tablero de control para la unidad 3, albergando todas las señales provenientes del motor generador y así utilizarlas para el control mediante un controlador lógico programable (PLC) y supervisión mediante un sistema SCADA para ayudar a la visualización de las alarmas y eventos que ocurran.

Las señales de temperatura que serán traídas de la unidad 3 exigen tener mucho cuidado por la distancia entre el tablero de control y la ubicación de los distintos sensores, ya que a mayor distancia aumenta la resistividad del conductor. Para efecto se utilizaron los siguientes cables: termopar y cable para RTD, estos cables son llamados cables de compensación ya que elimina el error de resistividad.

El motor generador cuenta con tanques diarios de crudo, diésel, aceite lubricante, agua camisas y agua inyectores, en todos los tanques se debe mantener los niveles mínimos para el funcionamiento del motor generador, para ello se instaló sensores de nivel para ayudar a la supervisión de los tanques.

Todos los datos mencionados anteriormente deberán ser registrados en tiempo real en la terminal de operador y en el sistema SCADA, las fallas como los eventos quedarán registradas cronológicamente.

La coordinación de la protección se realizará mediante el controlador lógico programable, en el caso de que cualquier variable se encuentre fuera de los rangos permitidos se accionará una baliza de color amarillo y la sirena, además en la interface HMI se presentará animaciones en las variables, en la cual se visualizará un recuadro de color amarillo e intermitente, de esta manera el operador sabrá que ocurrió una alarma. En caso de que la alarma no sea corregida el motor generador se disparará, accionando una baliza de color rojo y la sirena, de igual manera se presentará una animación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Motor Generador de combustión interna.

El grupo electrógeno está formado por un motor y un generador, montados en un bastidor base común. El bastidor base está montado de forma flexible en los cimientos con muelles de acero. Un acoplamiento flexible conecta el motor y el generador (figura 4).

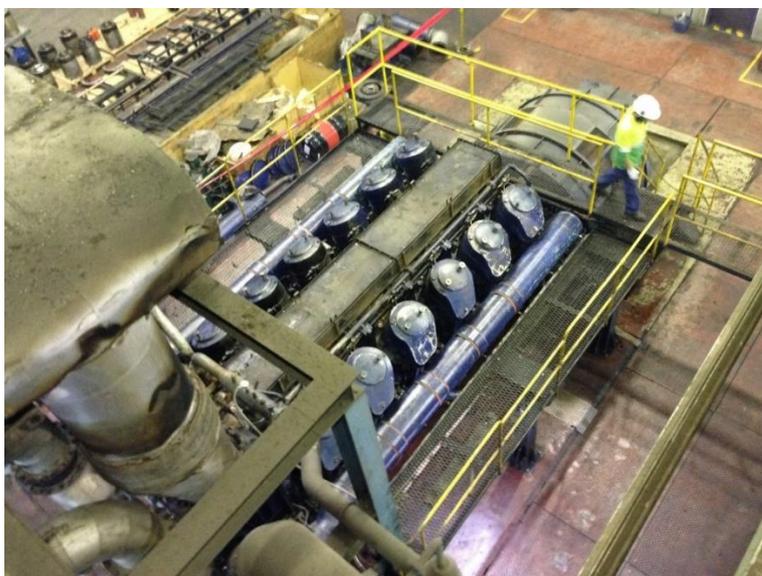


Figura. 4 Vista superior del motor generador 3.

El motor acciona un generador trifásico síncrono. El generador incluye una unidad de refrigeración con ventiladores (radiadores) de refrigeración montados en el eje y filtros de aire. El generador también está equipado con un calentador anti condensación. La excitación del generador se controla con un regulador de tensión, que está montado en el armario de control del grupo electrógeno en el cuarto de tableros eléctricos.

2.1.1 Funcionamiento del motor generador (Alvaro, 2014)

En ingeniería se ha dado una mayor aplicación a los motores de cuatro tiempos, las carreras (o tiempos) de esos motores son los siguientes:

1. Carrera de admisión.
 2. Carrera de compresión.
 3. Carrera de expansión.
 4. Carrera de escape.
- Admisión.

Durante el primer tiempo el pistón se desplaza desde el punto muerto superior al punto muerto inferior y efectúa su primera carrera o desplazamiento lineal. Durante este desplazamiento el cigüeñal realiza un giro de 180, (figura 5).

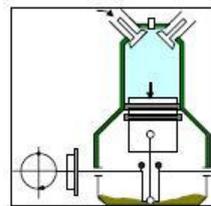


Figura. 5 Proceso de admisión.
Fuente: (Alvaro, 2014)

Cuando comienza esta fase instantáneamente se abre la válvula de admisión y permanece abierta y debido a la depresión o vacío interno que crea el pistón en su desplazamiento, se aspira una mezcla de aire y combustible, que pasa a través de la válvula.

- Compresión

En este tiempo el pistón efectúa su segunda carrera y se desplaza desde el punto muerto inferior al punto superior, (figura 6).

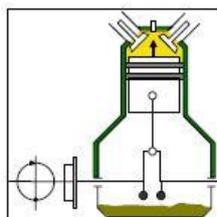


Figura. 6 Proceso de compresión.
Fuente: (Alvaro, 2014)

Durante esta fase las válvulas permanecen cerradas. El pistón comprime la mezcla, la cual queda alojada en el volumen de la cámara de combustión, también llamada de compresión.

- Expansión

Cuando el pistón llega al final de la compresión, entre los electrodos de una bujía, salta una chispa eléctrica en el interior de la cámara de combustión que produce la ignición de la mezcla, con lo cual se origina la inflamación y combustión de la misma. Lo que produce una elevada temperatura en el interior del cilindro, con lo que la energía cinética de las moléculas aumenta considerablemente y al chocar estas contra la cabeza del pistón, generan la fuerza de empuje que hace que el pistón se desplace hacia el punto muerto inferior, (figura 7).

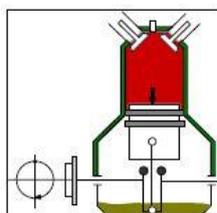


Figura. 7 Proceso de expansión.
Fuente: (Alvaro, 2014)

- Escape.

En este pistón realiza su cuarta carrera o desplazamiento desde la parte muerto superior a la parte muerta inferior, y el cigüeñal gira otro 180, (figura 8).

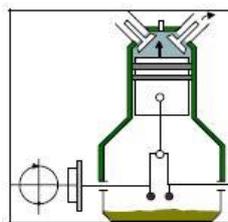


Figura. 8 Proceso de admisión.

Fuente: (Alvaro, 2014)

Durante este recorrido del pistón, la válvula de escape permanece abierta. A través de ella, los gases quemados procedentes de la combustión salen a la atmósfera.

El conjunto de las fases de funcionamiento de un motor de cuatro tiempos se presenta en la figura 9:

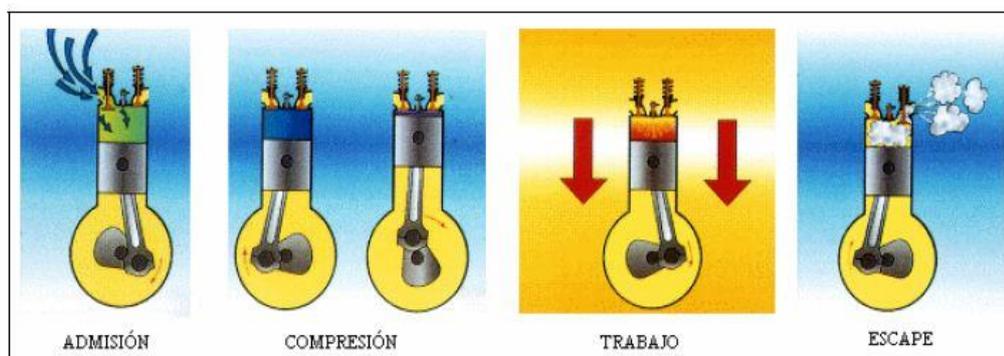


Figura. 9 Funcionamiento completo de motor generador.

Fuente: (Alvaro, 2014)

2.2 Sistemas auxiliares.

El equipo auxiliar es esencial para el funcionamiento del motor y debe estar a pleno rendimiento cuando el motor está en marcha. Los sistemas auxiliares proporcionan al motor combustible, aceite de lubricación, aire comprimido, agua de refrigeración y aire de carga, (figura 10).

Los sistemas auxiliares incluyen un equipo específico del motor, así como un equipo que se comparte con varios motores.

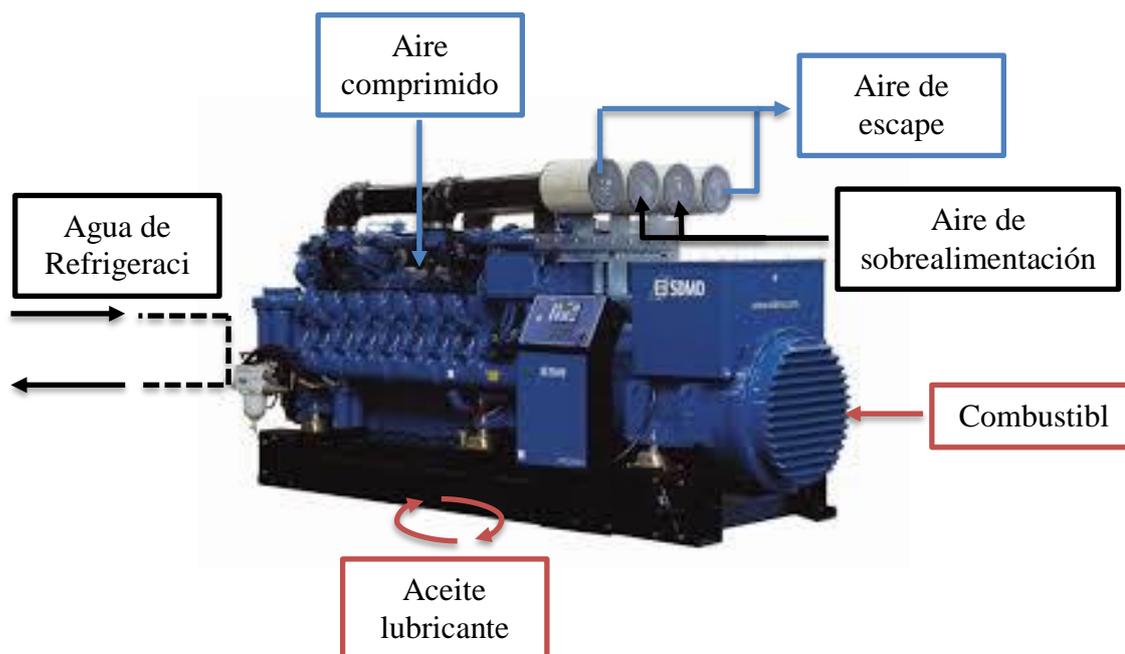


Figura. 10 Sistemas auxiliares del motor generador.

Fuente: (Ángel, 2013)

2.2.1 Combustible

El sistema de combustible suministra combustible limpio al motor con la temperatura y presión correctas. El motor se debe arrancar con combustible ligero Diésel y para el funcionamiento normal se utiliza petróleo crudo (Bunker). El petróleo crudo se usa como combustible principal y el Diésel se suele usar en situaciones de arranque y apagado y como combustible de seguridad.

El combustible es depositado en tanques de almacenamiento para crudo y diésel de 60.000 y 20.000 galones respectivamente, también es almacenado en tanques diarios, para bunker (figura 11), y para diésel (figura 12).



Figura. 11 Tanque diario Bunker.



Figura. 12 Tanque diario Diesel.

2.2.2 Aceite de lubricación.

El sistema de aceite de lubricación mantiene la calidad del aceite de lubricación del motor. El sistema también incluye unidades para refrigerar el aceite para evitar que se sobrecaliente (figura 13).



Figura. 13 Tanque aceite lubricante.

2.2.3 Aire comprimido

En la figura 14 se muestra aire comprimido que se utiliza para arrancar el motor. El sistema de aire comprimido también proporciona aire de instrumentación para dispositivos neumáticos de la unidad, principalmente dispositivos de parada de emergencia.



Figura. 14 Aire de arranque del motor 3.

2.2.4 Refrigeración.

El sistema de agua refrigerante elimina el calor generado por el motor. El agua refrigerante también circula por los intercambiadores de calor (figura 15), donde se usa para enfriar el aceite de lubricación y el aire de sobrealimentación.



Figura. 15 Radiador aceite lubricante.

2.2.5 Módulo de gases de escape

El módulo de gases de escape contiene los tubos de aire de sobrealimentación y de gases de escape (figura 16). Los silenciadores de aire de sobrealimentación se encuentran en el módulo.



Figura. 16 Tubos de entrada y salida de gases.

2.3 Interfaces de operador. (Etitudela-Celula, 2013)

En el mundo de la industria actual, es necesario disponer de interfaces de comunicación entre el hombre y la máquina (figura 17), siendo además imprescindible, que éstos pueden estar a pie de máquina para así, permitir al operador controlar en todo momento el estado actual de la máquina, poder emitir órdenes a la misma en función de las necesidades de cada momento. Dado que normalmente tienen que trabajar en ambientes hostiles, están dotados del más alto grado de protección.



Figura. 17 Terminal de operador de Siemens.
Fuente: (Siemens, Panel de operador MP 277, 2014)

Los paneles permitirán obtener todo tipo de información sobre las condiciones de trabajo de la máquina, elementos discretos (pulsadores, luces pilotos), valores de temperatura, velocidad, presión, gráficas, mensajes de texto, alarmas, etc. además, en función de dicha información, permitirán al usuario (si su nivel de acceso se lo permite), dar órdenes a la máquina, realizando modificaciones en los parámetros manejados por el PLC tales como, modificación de los valores de temporizadores y contadores, cambios de set point, puestas en marcha y parada de motores y electroválvulas, etc.

Para la programación se utilizan softwares específicos de cada fabricante que por lo general suelen servir para sus paneles fabricados. Al estar basados en Windows, suelen ser muy intuitivos y fáciles de programar, aunque cuando se trata de trabajar con los paneles más completos, las grandes posibilidades de trabajo de éstos, convierte la programación en algo más complicado al tener que manejar todo tipo de parámetros, con distintos formatos y opciones.

2.3.1 Software

El software utilizado para la programación y configuración de los paneles de operador, debe reunir las siguientes características:

- Entorno gráfico basado en Windows para facilidad de manejo de forma intuitiva.
- Completas barras de herramientas
- Amplia biblioteca de objetos parametrizados.
- Elementos pre configurados para avisos, alarmas, recetas, etc.
- Vectores gráficos.
- Simulación de funcionamiento en el propio PC.
- Utilización del mismo software para todos los modelos de paneles (del mismo fabricante).
- Fácil conversión de un proyecto realizado en un modelo a otro modelo (distinto tamaño de pantalla).

El software utilizado para la programación para los paneles de siemens es el WinCC Flexible 2008 (WinCC Flexible 2008 es el software válido para toda la gama de pantallas del fabricante).

El paquete de software WinCC constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los SCADAs para visualización y control de procesos industriales. Sus características más importantes se pueden resumir en:

- Arquitectura de desarrollo abierta (programación en C).
- Soporte de tecnologías Active X.
- Comunicación con otras aplicaciones vía OPC.
- Comunicación sencilla mediante drivers (código que implementa el protocolo de comunicaciones con un determinado equipo inteligente) implementados.
- Programación online: no es necesaria detener la runtime del desarrollo para poder actualizar las modificaciones en la misma.

2.4 Sistema SCADA. (Joan, 2011)

Proviene de las siglas SCADA cuyo significado es: Supervisory Control And Data Acquisition (Control con Supervisión y Adquisición de Datos): Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores lógico programables) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado.

Un SCADA debe cumplir tres funciones principales:

- Adquisición de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- Supervisión, para observar desde el monitor la evolución de las variables del proceso.

- Control para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.), bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

2.4.1 Características de un sistema SCADA. (José, 2012)

Los sistemas SCADA, en su función de sistemas de control, dan una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas ofrecen: la de supervisión.

Sistemas de control hay muchos y muy variados y todos, bien aplicados, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferente es la característica de control supervisado.

El sistema SCADA, utiliza un HMI interactivo el cual permite detectar alarmas y a través de la pantalla solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en tiempo real. Esto otorga una gran flexibilidad a los sistemas SCADA. En definitiva, el modo supervisor del HMI de un sistema SCADA no solamente señala los problemas, sino lo más importante, orienta en los procedimientos para solucionarlos.

Adquisición y almacenado de datos, para recoger, procesar y almacenar la información recibida, en forma continua y confiable.

Representación gráfica y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas.

Ejecutar acciones de control, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación

- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Transmisión, de información con dispositivos de campo y otros PC.
- Base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso.
- Presentación, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI.
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

2.5 Sensores de temperatura. (Jesús Bausá Aragonés, 2013)

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura. Se dispone de una gran variedad de sensores para realizar las mediciones de la temperatura. El ingeniero debe decidir cuál de los sensores debe seleccionar para cada situación en particular. A fin de seleccionar el mejor, para cada aplicación, se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura Máxima
- Rango de Temperatura a medir
- Exactitud
- Velocidad de respuesta

- Costo
- Requerimiento de mantenimiento.

Los sensores de uso más frecuentes, en las industrias de procesos, Termocuplas, Termo resistencias, Termistores, Sistemas de dilatación, a continuación se describen algunos sensores de temperatura con sus rangos. Estos rangos no representan los extremos alcanzables, sino los límites que pueden medirse con los dispositivos disponibles por lo general en el mercado y que son suministrados por la mayoría de los fabricantes. Se pueden medir mayores y menores temperaturas pero generalmente con una exactitud menor y un mayor costo.

Tabla. 1
Tipos de Sensores

Sensor de Temperatura	Temp. Mínima	Temp. Máxima
Termocuplas	- 220 ° C	2800 ° C
Sistemas de Dilatación	-195 ° C	760 ° C
Termo resistencias	-250 ° C	850 ° C
Termistores	-195 ° C	450 ° C
Pirómetros de Radiación	- 40 ° C	4000 ° C

Fuente: (Jesús Bausá Aragonés, 2013)

2.5.1 Termocuplas.

Las termocuplas ya rondan los 150 años, durante todo este tiempo han sido el caballito de batalla de las mediciones de temperatura en la industria, han operado básicamente sin ningún tipo de modificaciones incluyendo los problemas inherentes a la producción de señales muy bajas.

Las termocuplas son los sensores de temperatura más ampliamente utilizados a nivel industrial debido a sus positivos atributos de ser simples, poco costosos y confiables, sin embargo, hay numerosos profesionales en instrumentación que

consideran que las termocuplas se caracterizan por simples, baratas y miserables debido a la facilidad con que las salidas pueden resultar alteradas.

Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. En la siguiente figura 18 sería un esquema de ejemplo de una termocupla cualquiera.

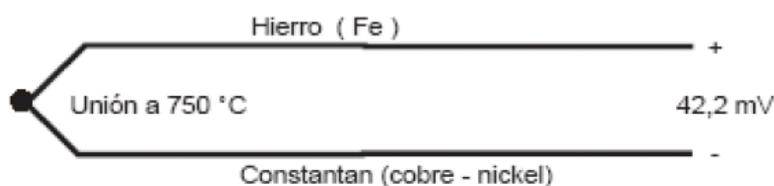


Figura. 18 Estructura de la termocupla.
Fuente: (Jesús Bausá Aragonés, 2013)

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente de los 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados. A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo los más usados debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad, la desventaja más relevante es que las termocuplas miden diferencias de temperatura y no temperatura absoluta, por lo que debe usarse una junta de referencia.

2.5.2 Tipos de Termocuplas

2.5.2.1 Termocuplas no Estándar

Hay muchos otros materiales que se utilizan para construir termocuplas además de aquellos que tienen asignada una denominación con letra por la ISA (IEC). Estas otras

termocuplas exhiben características especiales que no se encuentran en los tipos estándar, lo cual las hace adecuadas para aplicaciones especiales. Las características y la fem de salida pueden variar de un fabricante a otro, razón por la que se debe consultar al fabricante en relación a aplicaciones específicas.

Hay una aleación en particular, que debemos considerar por separado. Se trata de la aleación hierro-constantán Fe - CuNi. Quizás la más difundida antes de la homologación de las normas ANSI MC 96.1 (IPTS - 68) y DIN 43710, las más importantes a nivel mundial.

2.5.2.2 Termocuplas Estándar

Hay siete tipos de termocuplas que tienen designaciones con letras elaboradas por el Instrument Society of America (ISA). El U.S. National Bureau of Standardg (NBS), por su parte, ha preparado tablas de correlación temperatura fem para estas termocuplas, las que han sido publicadas por el American National Standards Institute (ANSI) y el American Society for Testing and Materials (ASTM).

Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintas termocuplas. Por consiguiente los tipos de termocuplas estándares son:

Tipo B

Capacidad para medir temperaturas levemente más altas, mayor estabilidad y resistencia mecánica, y su aptitud de ser utilizada sin compensación de junta de referencia para fluctuaciones normales de la temperatura ambiente. Resultan adecuadas para uso continuo en atmósferas oxidantes o inertes a temperaturas hasta 1.700° C.

Tipo R

Pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1.400° C. La ventaja de la termocupla Tipo R sobre la Tipo B es su mayor fem de salida. Nunca se las deben usar en atmósferas reductoras, ni tampoco en aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducidos, a menos que se las protejan adecuadamente con tubos protectores no metálicos. Nunca deben ser insertadas directamente dentro de una vaina metálica.

Tipo S

La termocupla Tipo S es la termocupla original platino-rodio. Pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1.480° C.

Tienen las mismas limitaciones que las termocuplas Tipo R y Tipo B pero son menos estables que la termocupla Tipo B cuando se las utiliza en vacío.

Tipo J

Para uso continuo en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes y en vacío hasta 760° C. Por encima de 540° C, el alambre de hierro se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambre de mayor diámetro para extender su vida en servicio. La ventaja fundamental de la termocupla Tipo J es su bajo costo.

No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C. A causa de la oxidación y fragilidad potencial, no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C. No deben someterse a ciclos por encima de 760° C, aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

Tipo K

Para uso continuo en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes. Su desventaja reside en el hecho de que su límite máximo de temperatura es de tan sólo

370° C para un diámetro de 3,25 mm. Resultan adecuadas para mediciones debajo de 0° C, pero se recomienda para ese propósito a las termocuplas Tipo E.

Tipo E

Posee la mayor fem de salida de todas las termocuplas estándar. Para un diámetro de 3,25 mm su alcance recomendado es - 200° C a 980° C. Estas termocuplas se desempeñan satisfactoriamente en atmósferas oxidantes e inertes, y resultan particularmente adecuadas para uso en atmósferas húmedas a temperaturas bajo cero a raíz de su elevada fem de salida y su buena resistencia a la corrosión.

2.5.3 Termistores

Mucho más económicos que las RTD son los termistores, aunque no son lineales son muchas más sensibles, compuestas de unas mezclas sintetizadas de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coefficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coefficient).

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que pueden ser

específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar.

2.5.4 Termorresistencia

La termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, es el material más estable y exacto. La relación resistencia temperatura correspondiente al alambre de platino es tan reproducible que la termorresistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde - 260 °C hasta 630 °C. También se utilizan otros materiales fundamentalmente níquel, níquel-hierro, cobre y tungsteno. Típicamente tienen una resistencia entre 20Ω y 20kΩ. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre - 200°C y 850°C.

Tabla. 2

Tipos de material

Material	Rango de temperatuRa
PLATINO	- 200 a + 850
NÍQUEL	- 80 a + 320
COBRE	- 200 a + 260
NÍQUEL - ACERO	- 200 a + 260

Fuente: (Jesús Bausá Aragonés, 2013)

2.6 Sensores de presión.

La presión es una fuerza que ejerce sobre un área determinada, y se mide en unidades de fuerzas por unidades de área. Esta fuerza se puede aplicar a un punto en una superficie o distribuirse sobre esta.

Cada vez que se ejerce se produce una deflexión, una distorsión o un cambio de volumen o dimensión.

Las mediciones de presión pueden ser desde valores muy bajos que se consideran un vacío, hasta miles de toneladas por unidad de área.

Los principios que se aplican a la medición de presión se utilizan también en la determinación de temperaturas, flujos y niveles de líquidos. Por lo tanto, es muy importante conocer los principios generales de operación, los tipos de instrumentos, los principios de instalación, la forma en que se deben mantener los instrumentos, para obtener el mejor funcionamiento posible, cómo se debe usar para controlar un sistema o una operación y la manera como se calibran.

Para medir la presión se utilizan sensores que están dotados de un elemento sensible a la presión y que emiten una señal eléctrica al variar la presión o que provocan operaciones de conmutación si esta supera un determinado valor límite.

Es importante tener en cuenta la presión que se mide, ya que pueden distinguirse los siguientes tipos:

- Presión absoluta
- Presión diferencial
- Sobrepresión.

En el sistema internacional de medidas, está estandarizada en Pascales. En los países de habla inglesa se utiliza PSI.

2.7 Profibus. (Martinez, 2013)

Profibus es actualmente el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa y goza de una aceptación mundial. Sus áreas de aplicación incluyen manufacturación, automatización y generación de procesos. Profibus es un bus de campo normalizado internacional que fue estandarizado bajo la norma EN 50 170, por lo tanto la red Profibus asegura un funcionamiento sencillo y correcto incluso en redes de diferentes fabricantes.

Los dispositivos Maestro determinan la comunicación de datos en el bus. Un Maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando mantiene el derecho de acceso al bus.

Los dispositivos Esclavo son dispositivos periféricos. Algunos de ellos son las entradas y salidas, las válvulas y los transmisores de medida. No tienen derecho de acceso al bus y sólo pueden reconocer mensajes recibidos o enviar mensajes al maestro cuando este se lo ordena.

Profibus DP

Profibus DP está diseñado para la comunicación de datos a alta velocidad a nivel de dispositivo. Los controladores centrales (PLCs/PCs) se comunican con los dispositivos de campo distribuidos por medio de un enlace serie de alta velocidad. La mayoría de las comunicaciones de datos con estos dispositivos periféricos es realizada de una forma cíclica según la norma EN 50 170.

Características:

- Velocidades de transmisión:
 - 9.6, 19.2, 93.75, 187.5 y 500 KBaudios.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).

- Distancias máximas alcanzables (cable de 0.22 mm. de diámetro):
 - hasta 93.75 KBaudios: 1200 metros
 - 187.5 KBaudios: 600 metros
 - 500 KBaudios: 200 metros
- Estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos).
- Medio de acceso: híbrido
 - maestro-esclavo
 - pase de testigo entre las estaciones maestras
- Acceso al medio determinístico.
- Conexiones de tipo bidireccionales, multicast o broadcast.
- Norma RS-485
 - Información en la polaridad (en RS-232 nivel)
- Cableado:
 - Par trenzado apantallado → Ambientes con EMI elevadas.
 - Par trenzado sin apantallamiento → Ambientes con EMI menores.

Profinet

Profinet es el estándar Ethernet abierto que cumple la especificación IEC 61158 para la automatización industrial, permite conectar equipos desde el nivel del campo (PLCs y otros dispositivos) hasta el nivel de gestión (sistemas informáticos e internet).

Profinet se refiere a la modernización de las redes de campo que incluyen PLCs y los sistemas de Comunicación entre estos dispositivos a la Red Ethernet pero aportando un alto rendimiento en la respuestas y seguridad requeridas en las instalaciones industriales.

Profinet es la integración de Profibus sobre Ethernet, pero no viendo como un funcionamiento Ethernet tradicional con muchos problemas en las interconexiones, sino que una Ethernet especializada que posibilita el mejor manejo de las respuestas del sistema frente a eventos y el dominio de las prioridades que se requieran para que los dispositivos como PLCs y otros equipos industriales puedan funcionar en Tiempo Real.

Características:

- Abierta, usando un estándar universalmente aceptado. El interfaz de la red es claramente definido.
- Consistente, la comunicación y cooperación de los dispositivos de acceso es similar en todos los mecanismos. Horizontalmente entre los controladores programables y verticalmente entre la oficina, la zona de control y el nivel de campo.
- Integración en los sistemas Profibus.
- Uso intuitivo, fácil de usar, simplifica y hace uniforme el modelo de aplicación organizando la red en diferentes grupos.
- Herramientas de control y configuración de equipos, programación de PLC y configuración DP.
- Uniforme modelo de datos, que es compartido en una base de datos común.
- Orientado a componentes y a objetos. Las aplicaciones son creadas interconectado objetos mediante interfaz gráfica, textualmente o mediante scripts.

CAPÍTULO III

DISEÑO

3.1 Requisitos

En el diseño del sistema de control de la Unidad de Generación No. 3 de la Planta Eléctrica de Lafarge Cementos S.A ubicada en la ciudad de Otavalo, km 7.5 vía a Selva Alegre.

El sistema propuesto permitirá realizar el control y supervisión de la unidad de generación, disponer de un sistema de monitoreo y control automatizado con el fin de verificar la correcta operación de los diferentes equipos y sistemas de la unidad, y tomar decisiones oportunas para garantizar su operación.

El sistema de control está constituido por un controlador lógico programable PLC, el mismo que será programado implementando lógicas de control para el funcionamiento adecuado de los diferentes módulos de la unidad.

El sistema implementado permitirá la operación de la unidad de una forma sencilla y estable, con el objeto de que el operador tenga facilidad de controlar y verificar los datos y condiciones de operación de la unidad, mediante una pantalla de operación táctil ubicada junto a la unidad, también por medio del sistema SCADA implementado en la computadora existente en el cuarto de control.

Cabe recalcar que para que todos los dispositivos de control estén en constante comunicación se debe realizar una arquitectura de control, en la cual se especifique de manera clara las direcciones de todos los dispositivos de control y el tipo de protocolo a utilizar.

Como objetivo principal se indica que el sistema de control de la unidad garantizará el funcionamiento óptimo de la unidad y por tanto el suministro eléctrico de la misma como parte fundamental del suministro eléctrico para la planta de producción.

Es de importancia indicar que no siempre estarán en operación todos los grupos de generación, esto depende de los mantenimientos preventivos programados que recibe cada uno de los grupos dependiendo del número de horas de trabajo.

3.1.1 Tablero de control.

Uno de los requerimientos para la automatización del motor generador en la planta de Lafarge, es cambiar el tablero de control antiguo por un nuevo, (figura 19).



Figura. 19 Tablero de control antiguo

Para la instalación del tablero de control es necesario tomar en cuenta algunos parámetros:

1. Ubicación de los tableros de control.
2. Capacidad de los tableros.
3. Las señales de campo provenientes de la unidad.

3.1.2 Sistema de control

Para la supervisión y control del motor generador es necesario un sistema de control, con el cual se realizará la protección de la unidad 3, para lo que es necesario tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Realizar una arquitectura de red.
2. La lista I/O para las considerar las entradas y salidas del PLC
3. El control se realizará con un PLC.
4. Realizar un diseño de pantallas con el fin, de que estas sean fácil de entender y manipular.

3.2 Diseño del sistema de control.

En el diseño del sistema de control es necesario tener una arquitectura de control donde se incluirán todos los elementos, así como los protocolos que influirán en la comunicación.

Los buses de campo se usan en la actualidad de forma prioritaria como un sistema de comunicación para el intercambio de información entre sistemas de automatización y sistemas de campo distribuidos.

Para el diseño de entradas y salidas del PLC debemos tener la lista de variables, la cual nos ayudara a saber con más precisión cuantos módulos de I/O y ET200M que utilizaremos, con la lista de variables sabremos la cantidad de borneras, borneras de termocuplas para las entradas analógicas del PLC.

Todas las señales entraran al PLC para ser tratadas y acondicionadas para lograr con esto la supervisión, control y adquisición de datos de los sensores provenientes del

motor generador, el interface HMI con wincc de Siemens y la terminal de operador ayudara a la visualización de los parámetros.

3.2.1 Diagramas P&ID

Los diagramas de proceso de instrumentación muestran los equipos instalados y la instrumentación en la unidad 3, a continuación se mostrarán los P&ID.

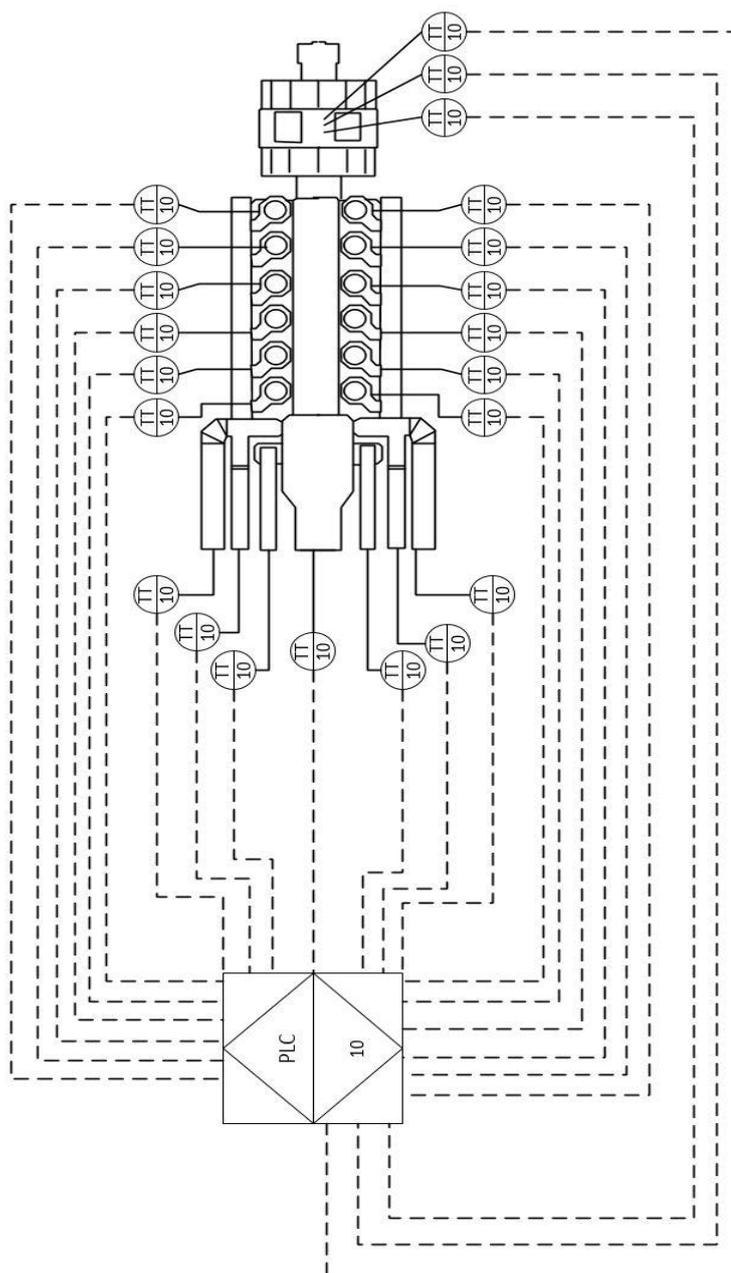


Figura. 20 Diagramas P&ID de las temperaturas en la unidad 3.

Los sensores de temperatura son termocuplas tipo K y PT100, los cuales se utilizarán para cilindros, aires de ingreso y de escape, PCOT y bancadas (figura 20).

En las siguientes figuras se muestran los diagramas P&ID de los sistemas auxiliares que actúan en el motor generador, además muestran la cantidad de sensores que se encuentran instalados:

Combustible.

En la figura 21 se observa el diagrama P&ID del sistema de combustible, el cual contiene los siguientes elementos:

- Bomba para el tanque diario de diesel.
- Bomba para el tanque diario de crudo.
- Calentador para el ingreso de combustible al tanque diario de crudo
- Calentador para ingreso del combustible al motor
- Válvula de 3 vías para selección del combustible.
- Filtro en la salida de la válvula de 3 vías para las impurezas
- Bomba para el ingreso del combustible al motor.
- Sensores de nivel en los tanques diarios.
- Sensor de temperatura a la entrada al motor.
- Sensor de presión a la entrada del motor

Todas las señales de los sensores de nivel, temperatura y presión son llevadas al PLC para ser acondicionadas y mostradas en la Touch Screen y HMI ubicada en el cuarto de control que es accesible al operador.

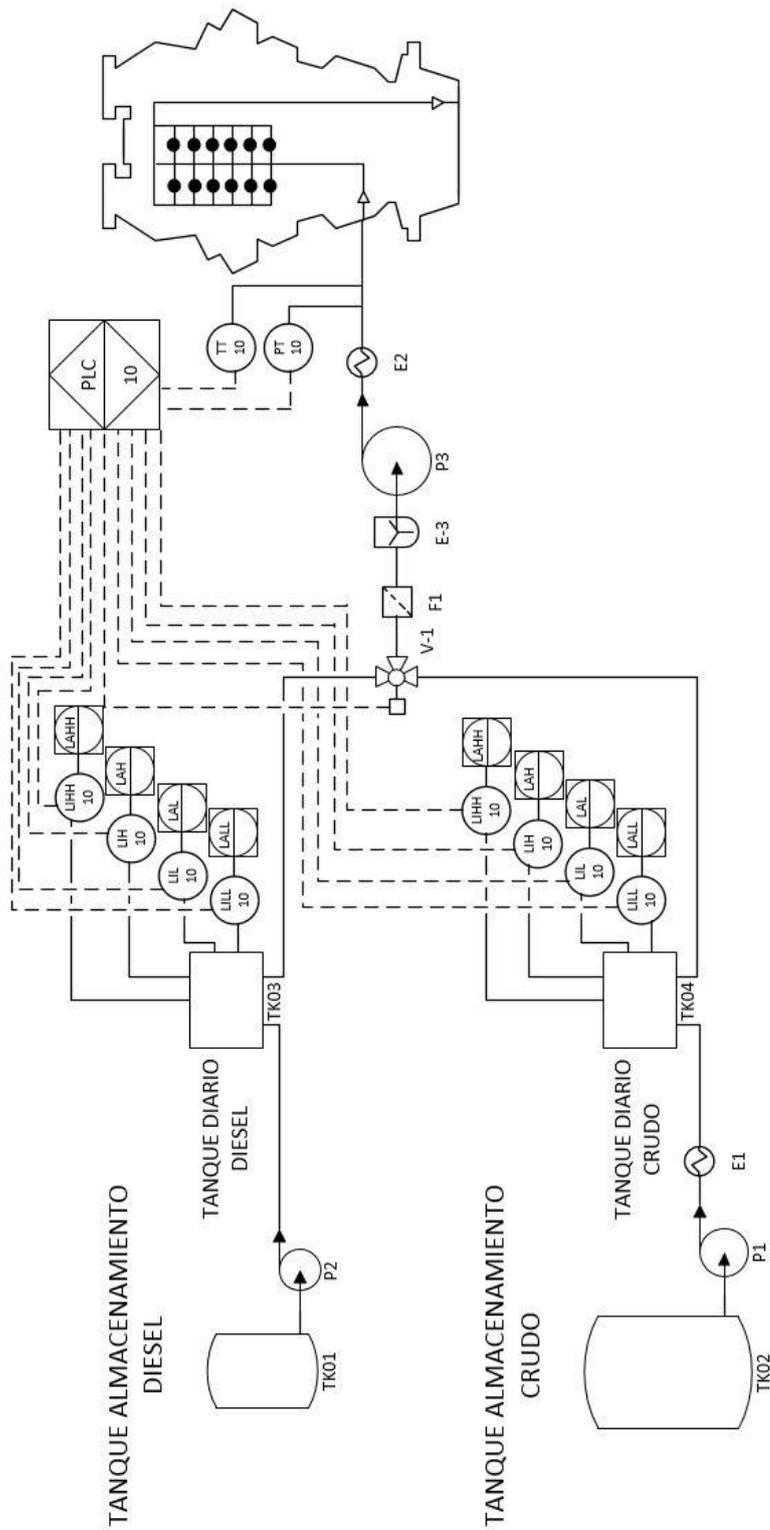


Figura. 21 Diagramas P&ID del sistema de combustible.

Aceite lubricante.

El sistema de aceite lubricante (figura 22) es uno de los sistemas más importantes, ya que está encargado de lubricar al motor generador para evitar la fricción de las partes metálicas, ayuda al arranque en frío, mantiene el motor limpio, evita la corrosión y la formación de sedimentos.

Este sistema contiene elementos como:

- Tanque de agua fresca.
- Bomba para circulación de agua.
- 2 radiadores para enfriar el aceite.
- Válvula de 3 vías.
- Tanque de aceite lubricante.
- Bomba para el ingreso del aceite al motor.
- Filtro al ingreso del motor.
- Sensores de nivel para el tanque de aceite lubricante.
- Sensor de temperatura al ingreso del motor.
- Sensor de temperatura a la salida del motor.
- Sensor de temperatura al ingreso del radiador.
- Sensor de presión al ingreso del motor.

Al igual que el sistema de combustible todos los sensores serán monitoreados con la Touch Screen y HMI accesibles al operador.

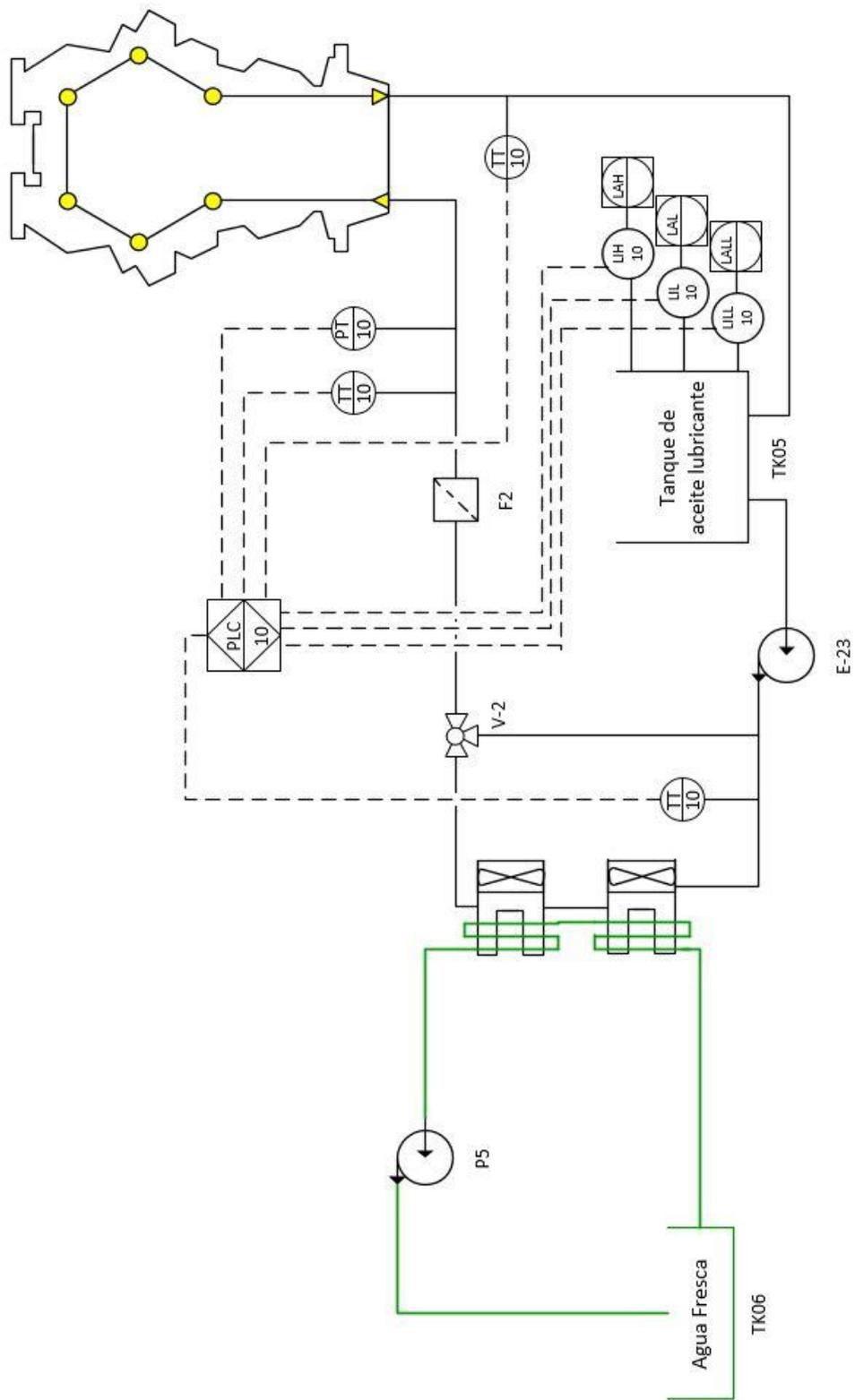


Figura. 22 Diagramas P&ID aceite lubricante.

Agua camisas y agua inyectores

En las figuras 23 y 24 se representa los diagrama P&ID de agua camisas y agua inyectores respectivamente, estos sistemas tiene un tanque de almacenamiento, bomba, válvula de tres vías, filtro, sensores de nivel, temperatura y presión. Los sensores se presentan en una interface de HMI para la supervisión del sistema de refrigeración del motor.

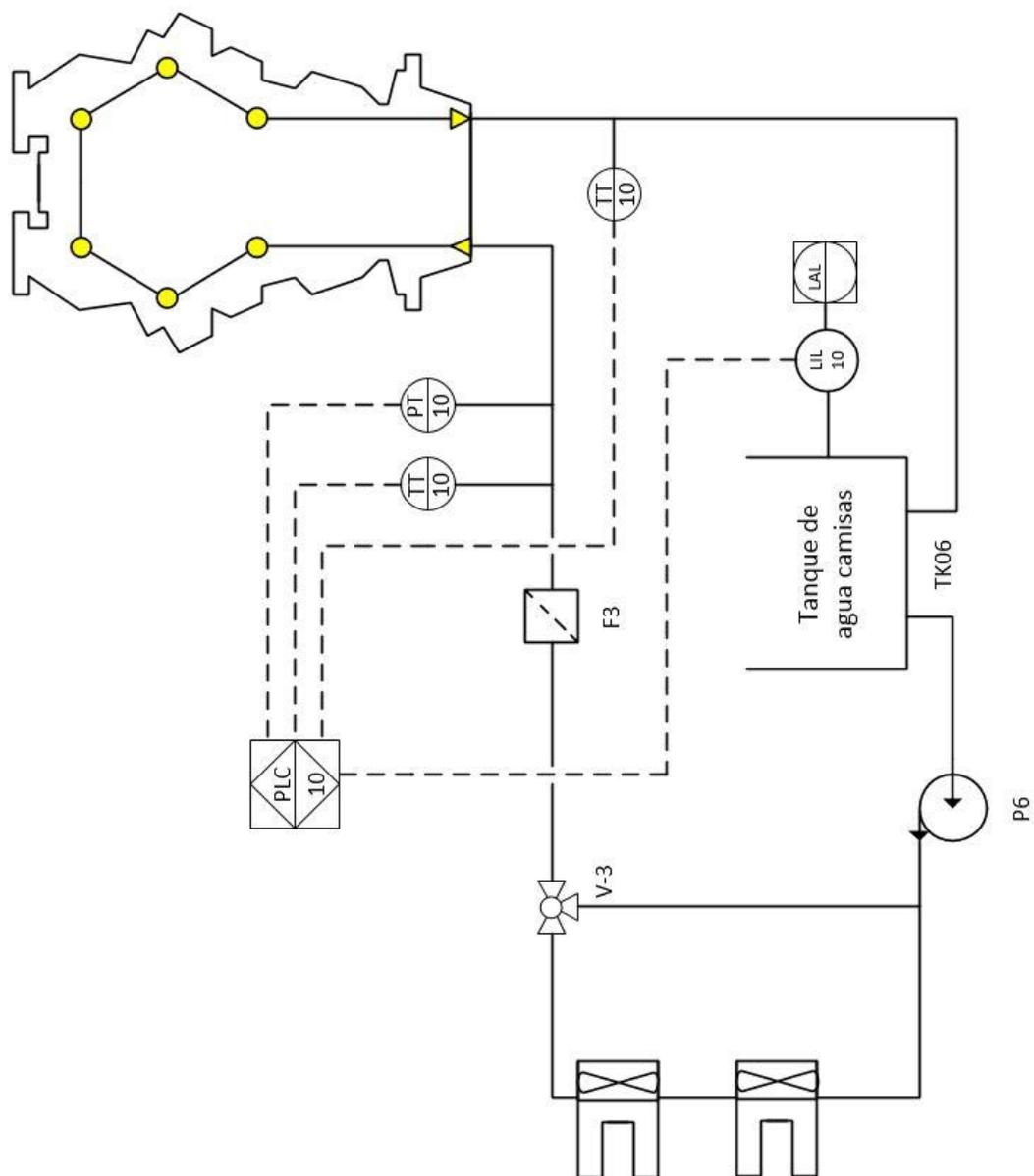


Figura. 23 Diagramas P&ID agua camisas.

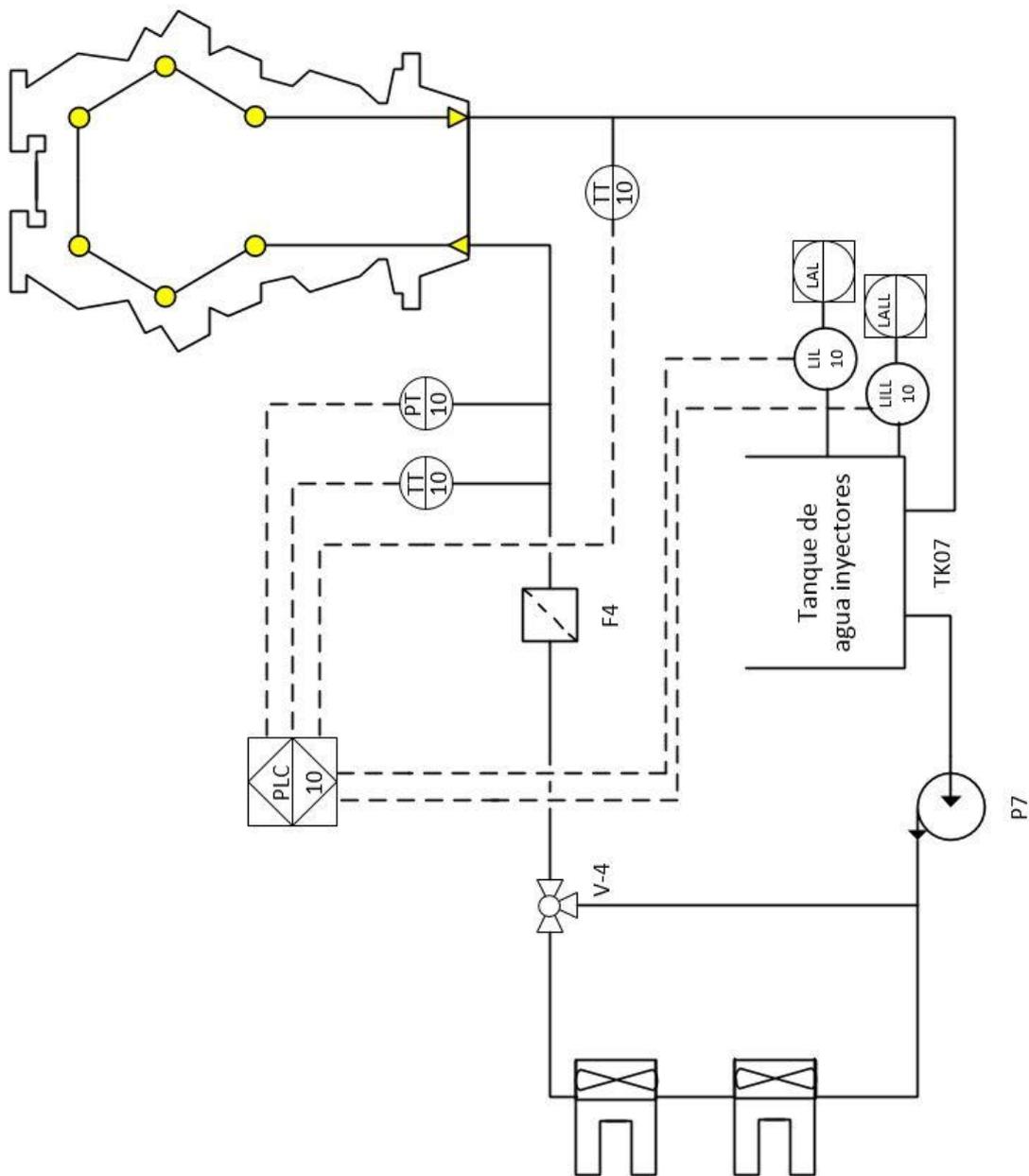


Figura. 24 Diagramas P&ID agua inyectores.

La ubicación de los sensores de presión antes del ingreso al motor generador es para supervisar el nivel de presión ya que debe estar dentro de los rangos permitidos, la temperatura se supervisa para el combustible, aceite lubricante, agua camisas, agua inyectores, cilindros, PCOT, bancadas, entrada/salida de aires y bobinados del motor.

3.2.2 Arquitectura de control

La arquitectura de control permite tener una buena organización estructural y funcional, es una visión total de la red de comunicación, así como los elementos que van a influir en la arquitectura de control (figura 25).

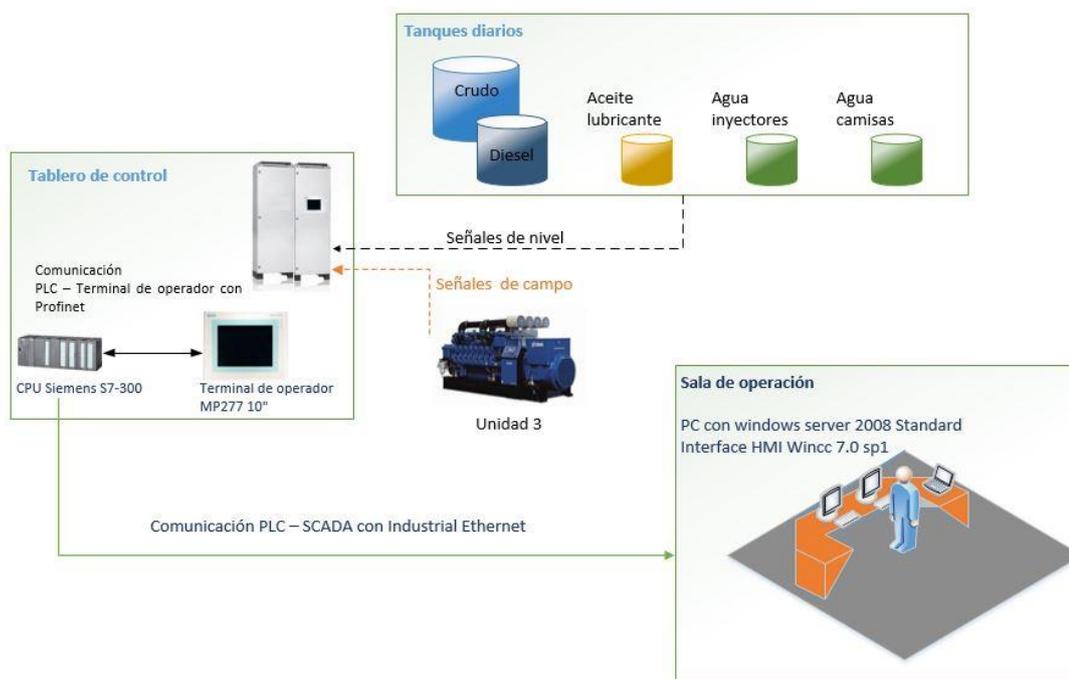


Figura. 25 Arquitectura de control

Las comunicaciones entre los diversos componentes del sistema de control se realizan por medio de los protocolos: Profibus DP, Profinet e Industrial Ethernet.

Profibus DP.- se utilizará para la comunicación entre el PLC y los módulos I/O ET200M.

Profinet.- el protocolo Profinet se utilizó para la comunicación entre el PLC y la terminal de operador.

Industrial ethernet.- industrial Ethernet se utilizó para la comunicación entre el SCADA y el PLC.

La arquitectura en la figura 25, indica los protocolos de comunicación, ubicación de las señales de campo, es decir, las señales de presión, temperatura y de nivel de los tanques diarios, además muestra la ubicación la terminal de operador como la PC principal con el sistema operativo y el software instalado.

3.2.3 Asignación de Variables

Con los listados de variables de entradas y salidas conoceremos la cantidad de módulos ET200M, las entradas y salidas discretas o analógicas, además podremos hacer una estimación de las borneras que se utilizarán para las señales de campo.

Tabla. 3

Lista de entradas y salidas Rack1

RACK 01	
POSICIÓN 1: CPU	
POSICIÓN 2: MÓDULO DE COMUNICACIÓN	
POSICIÓN 3: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN 4-20mA	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Presión de toma de aire (D)
CH2	Presión aceite lubricante, guía de rodillo
CH3	Presión salida bomba de aceite lubricante
CH4	Presión agua de camisas entrada al motor
CH5	Presión de toma de aire (L)
CH6	Presión de aceite lubricante válvula de aceite
CH7	Presión de aceite cojinetes generador
CH8	Presión de agua enfriador inyector combustible de entrada al motor
POSICIÓN 4: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN 4-20mA	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Presión de aire de arranque (tanque)
CH2	Presión de entrada combustible al motor
CH3	Presión de entrada aceite lubricante al motor
CH4	Viscosidad de combustible
CH5	Temperatura de combustible
CH6	Rpm DEL MOTOR
CH7	Disponible
CH8	Disponible

Continua →

POSICIÓN 5: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN 4-20mA	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Diferencial de presión lado A
CH2	Aceite lubricante válvula engra
CH3	Disponible
CH4	Disponible
CH5	Disponible
CH6	Disponible
CH7	Disponible
CH8	Disponible

Tabla. 4
Lista de entradas y salidas Rack2

RACK 2	
DIRECCIÓN PROFIBUS 02	
POSICIÓN 1: MÓDULO DE COMUNICACIÓN ET200M	
POSICIÓN 2: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100 (SOLO 4 CANALES)	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura entrada agua de camisas
CH2	Temperatura salida agua de camisas
CH3	Temperatura entrada agua de inyectores
CH4	Temperatura salida agua de inyectores
POSICIÓN 3: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura entrada de aceite radiador
CH2	Temperatura de entrada aceite de motor
CH3	Temperatura de salida aceite de motor
CH4	Temperatura entrada combustible al motor
POSICIÓN 4: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura aire de admisión entrada A
CH2	Temperatura aire de admisión entrada B
CH3	Temperatura aire de admisión salida A
CH4	Temperatura aire de admisión salida B
POSICIÓN 5: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura bancada 1
CH2	Temperatura bancada 2

Continua →

CH3	Temperatura bancada 3
CH4	Temperatura bancada 4
POSICIÓN 6: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura bancada 5
CH2	Temperatura bancada 6
CH3	Temperatura bancada 7
CH4	Disponible
POSICIÓN 7: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	PCOT 1
CH2	PCOT 2
CH3	PCOT 3
CH4	PCOT 4
POSICIÓN 8: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	PCOT 5
CH2	PCOT 6
CH3	PCOT EXTERIOR
CH4	PCOT INTERIOR
POSICIÓN 9: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN RTD PT100	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	
CH2	
CH3	
CH4	

Tabla. 5
Lista de entradas y salidas Rack3

RACK 3	
DIRECCIÓN PROFIBUS 03	
POSICIÓN 1: MÓDULO DE COMUNICACIÓN ET200M	
POSICIÓN 2: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN TERMOCUPLA TIPO K	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura agua de cilindro 1A
CH2	Temperatura agua de cilindro 2A
CH3	Temperatura agua de cilindro 3A
CH4	Temperatura agua de cilindro 4A

Continua →

CH5	Temperatura agua de cilindro 5A
CH6	Temperatura agua de cilindro 6A
CH7	Temperatura entrada gases 1A
CH8	Temperatura entrada gases 2A
POSICIÓN 3: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN TERMOCUPLA TIPO K	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura salida gases A
CH2	Temperatura agua de cilindro 1B
CH3	Temperatura agua de cilindro 2B
CH4	Temperatura agua de cilindro 3B
CH5	Temperatura agua de cilindro 4B
CH6	Temperatura agua de cilindro 5B
CH7	Temperatura agua de cilindro 6B
CH8	Temperatura entrada gases 1B
POSICIÓN 4: MÓDULO DE 8 ENTRADAS ANÁLOGAS, CONFIGURACIÓN TERMOCUPLA TIPO K	
CANAL	DESCRIPCIÓN
CH1	Temperatura entrada gases 2B
CH2	Temperatura salida gases B
CH3	Disponible
CH4	Disponible
CH5	Disponible
CH6	Disponible
CH7	Disponible
CH8	Disponible

Tabla. 6
Lista de entradas y salidas Rack4

RACK 4	
DIRECCIÓN PROFIBUS 04	
POSICIÓN 1: MÓDULO DE COMUNICACIÓN ET200M	
POSICIÓN 2: MÓDULO DE 16 ENTRADAS DISCRETAS A 24 VDC	
ENTRADA	DESCRIPCIÓN
IN 1	Presión aceite lubricación
IN 2	Baja presión aceite lubricante
IN 3	Baja presión agua camisas
IN 4	Sobre velocidad eléctrica
IN 5	Parada manual emergencia
IN 6	Alto nivel tanque retorno combustible
IN 7	Bajo nivel tanque retorno combustible
IN 8	Alto nivel tanque de aceite
IN 9	Bajo nivel tanque de aceite

Continua →

IN 10	Muy bajo nivel tanque de aceite
IN 11	Bajo nivel agua inyectores
IN 12	Muy bajo nivel agua inyectores
IN 13	Bajo nivel agua camisas
IN 14	Sobre velocidad mecánica
IN 15	Disponible
IN 16	Disponible
POSICIÓN 3: MÓDULO DE 16 ENTRADAS DISCRETAS A 24 VDC	
ENTRADA	DESCRIPCIÓN
IN 1	Posición manija cremallera del motor
IN 2	Seguro virador motor
IN 3	Eng run
IN 4	Eng running
IN 5	Muy alto nivel tanque diario crudo
IN 6	Muy bajo nivel tanque diario crudo
IN 7	Muy alto nivel tanque diario diésel
IN 8	Muy bajo nivel tanque diario diésel
IN 9	Motor listo para arrancar (ka3)
IN 10	Motor arrancado (ka5)
IN 11	Motor parado (ka6)
IN 12	Diésel (0) – crudo (1) (ka8)
IN 13	Disponible
IN 14	Disponible
IN 15	Disponible
IN 16	Disponible
POSICIÓN 3: MÓDULO DE 16 ENTRADAS DISCRETAS A 24 VDC	
ENTRADA	DESCRIPCIÓN
IN 1	Baja presión válvula engrane aceite combustible
IN 2	Baja presión aceite lubricante
IN 3	Baja presión aire arranque
IN 4	Arranque automático aire compresor
IN 5	Perdida flujo agua camisas
IN 6	Alta diferencia presión filtro combustible
IN 7	Alta diferencia presión filtro aceite lubricante
IN 8	Baja presión inyector combustible cw
IN 9	Alto nivel crudo
IN 10	Bajo nivel crudo
IN 11	Alto nivel diésel
IN 12	Bajo nivel diésel
IN 13	Bajo nivel tanque lubricación balancines
IN 14	Baja presión combustible
IN 15	Alto nivel tanque lubricación balancines
IN 16	Disponible
POSICIÓN 4: MÓDULO DE 16 ENTRADAS DISCRETAS A 24 VDC	
ENTRADA	DESCRIPCIÓN
IN 1	Disponible
IN 2	Disponible

Continua →

IN 3	Disponible
IN 4	Disponible
IN 5	Disponible
IN 6	Disponible
IN 7	Disponible
IN 8	Disponible
IN 9	Disponible
IN 10	Disponible
IN 11	Disponible
IN 12	Disponible
IN 13	Disponible
IN 14	Disponible
IN 15	Disponible
IN 16	Disponible
POSICIÓN 5: MÓDULO DE 16 SALIDAS DISCRETAS A 24 VDC	
SALIDA	DESCRIPCIÓN
OUT 1	Disparo (recopilación)
OUT 2	Alarma (recopilación)
OUT 3	Bajo nivel de combustible
OUT 4	Electroválvula diésel (tanque diario)
OUT 5	Electroválvula crudo (tanque diario)
OUT 6	Bomba 1 diésel (tanque diario)
OUT 7	Bomba 2 diésel (tanque diario)
OUT 8	Bomba 1 crudo (tanque diario)
OUT 9	Bomba 2 crudo (tanque diario)
OUT 10	Protecciones presiones adecuadas
OUT 11	Apagar válvula starting
OUT 12	Disponible
OUT 13	Disponible
OUT 14	Disponible
OUT 15	Disponible
OUT 16	Disponible
POSICIÓN 6: MÓDULO DE 16 SALIDAS DISCRETAS A 24 VDC	
SALIDA	DESCRIPCIÓN
OUT 1	Disponible
OUT 2	Disponible
OUT 3	Disponible
OUT 4	Disponible
OUT 5	Disponible
OUT 6	Disponible
OUT 7	Disponible
OUT 8	Disponible
OUT 9	Disponible
OUT 10	Disponible
OUT 11	Disponible
OUT 12	Disponible
OUT 13	Disponible

Continua →

OUT 14	Disponible
OUT 15	Disponible
OUT 16	Disponible

En la lista de entrada y salida se consideró un 20 % de reserva, ya sea para entradas y salidas discretas y analógicas, esta reserva es para futuras aplicaciones.

Mediante la lista de entrada y salida se concluyó que se utilizarán:

1. Rack 1

- CPU 315-2 DP
- Módulo de comunicación CP 343-1 LEAN.
- 3 entradas analógicas 4 – 20 ma SM 331, estas entradas se utilizarán para las presiones, viscosidad y RPM del motor.

2. Rack 2

- Módulo de comunicación ET200M.
- 8 módulos de entradas analógicas SM 331 configuración RTD, estas entradas se utilizarán para las temperaturas de agua camisas y aguas inyectores, aceite del motor y del radiador, bancadas, Pcot

3. Rack 3

- Módulo de comunicación ET200M.
- 5 módulos de entradas analógicas SM 331 configuración a termocuplas, estas entradas se utilizarán para las temperaturas de cilindros, gases de entrada y salida.

4. Rack 4

- Módulo de comunicación ET200M.

- 4 módulos de entradas digitales SM 321, estas entradas se utilizarán para la supervisión de los estados de seguridad del motor generador, niveles de tanque diarios.
- 3 módulos de salidas digitales SM322, estas salidas se utilizarán para electroválvula de admisión de combustible y señales de protección.

3.3 Diseño del sistema eléctrico.

Para el diseño eléctrico del tablero de control se debe realizar el cálculo para el consumo de corriente de todos los elementos tanto para el transformador de 440 a 110 Vac, como para la fuente de 24 Vdc. Para ello se debe tener la lista de materiales que se usarán en la implementación del proyecto.

3.3.1 Diseño del tablero eléctrico

3.3.1.1 Tablero eléctrico

En la inspección técnica realizada a la planta eléctrica, se observó que los tableros antiguos estaban sobre una base (figura 26), por lo tanto se consideró esa misma base para apoyar los tableros eléctricos.

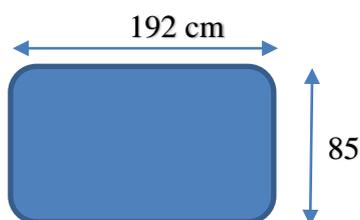
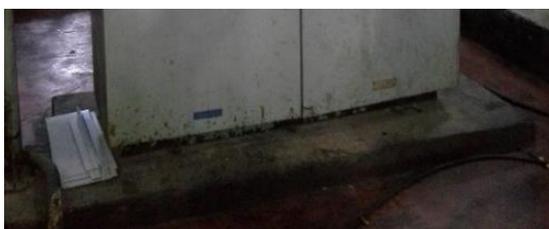


Figura. 26 base del tablero

Los tablero que se usó fueron IS2 de ABB, de igual manera se instaló dos tableros que estarán fijos mediante uniones para asegurar que no se puedan separar ambos tableros, además los tableros irán anclados a la base con pernos de expansión para garantizar que no se puedan desplazar.

En el cuarto de generadores existe un alto riesgo de derrames de aceite, combustible y agua, por estas razones se consideró un grado de protección IP 65 para los tableros eléctricos, para que los equipos electrónicos estén resguardados.

3.3.1.2 Distribución del tablero eléctrico.

Para el aviso o advertencia en el tablero se instaló dos balizas una de color rojo y otra de color amarillo para la indicación de alarma y disparo, ambas irán colocadas en los extremos derechos e izquierdos respectivamente, también se instaló una sirena en el centro de ambos tableros de igual manera para el aviso de una alarma o disparo (figura 27).

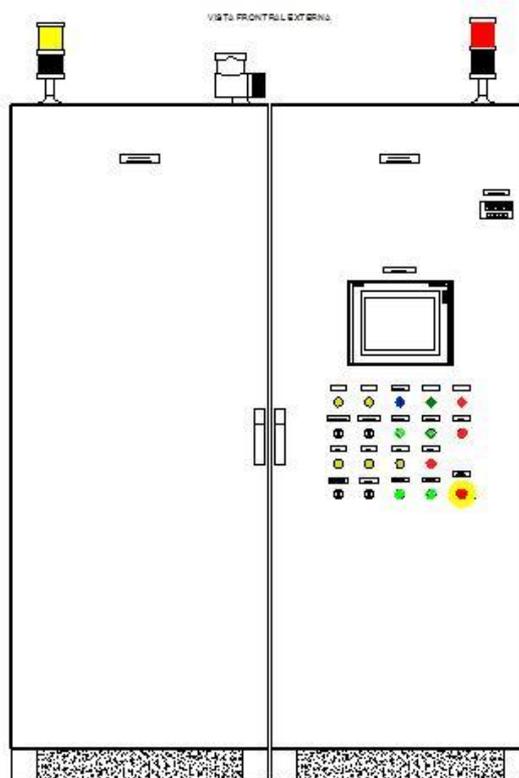


Figura. 27 Vista frontal externa del tablero de control

La terminal de operador que se instaló en el tablero derecho será a una altura de 1.45 m para que pueda ser manipulada por el operador y tenga una buena visibilidad. Los indicadores luminosos, selectores, pulsadores y el paro de emergencia estarán colocados debajo de la terminal de operador, de igual manera a una altura 1.30 m para la fácil manipulación del operador (figura 28).

Con la terminal de operador instalada a pie de máquina, se podrá verificar con mayor agilidad en caso de una falla y saber en dónde se encuentra, además cuenta con una sirena, balizas de color amarillo y rojo.

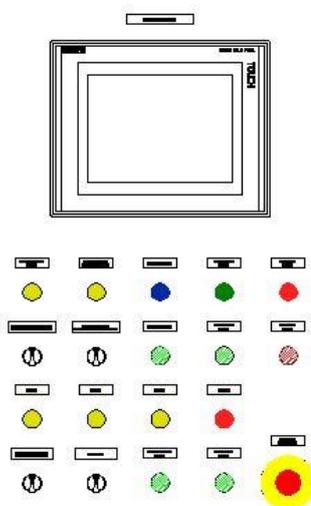


Figura. 28 Terminal de operador e indicadores luminosos.

Los indicadores luminosos, selectores, pulsadores y el paro de emergencia se dispondrán de la siguiente manera:

1.- fila (Indicadores luminosos)

- Pre-lubricación normal.
- Pre-lubricación complementaria.
- Pre-lubricación.
- Arranque del motor

- Paro del motor

2.- fila (selectores y pulsadores)

- Selección de pre-lubricación
 - Normal.
 - Complementaria.
- Selección de modo de control.
 - Manual.
 - Semiautomático.
- Pre-lubricación.
- Arranque del motor.
- Paro del motor.

3.- fila (indicadores luminosos)

- Diésel.
- Crudo.
- Alarma.
- Disparo.

4.- fila (selectores, pulsadores y paro de emergencia)

- Cambio de combustible
 - Diésel.
 - Crudo.
- Reconocimiento de alarma.
- Test de luces.
- Paro de emergencia.

La distribución del tablero eléctrico se realizó en AutoCAD (Anexo 1), en donde se encuentra el plano del tablero eléctrico con todas las medidas a escala de los elementos de control, permitiendo así saber si los dos tableros son suficientes.

Para el montaje de los elementos se dispondrá de un doble fondo en ambos tableros en los cuales se montarán los elementos (figura 29), la disposición en la cual se montarán será la siguiente:

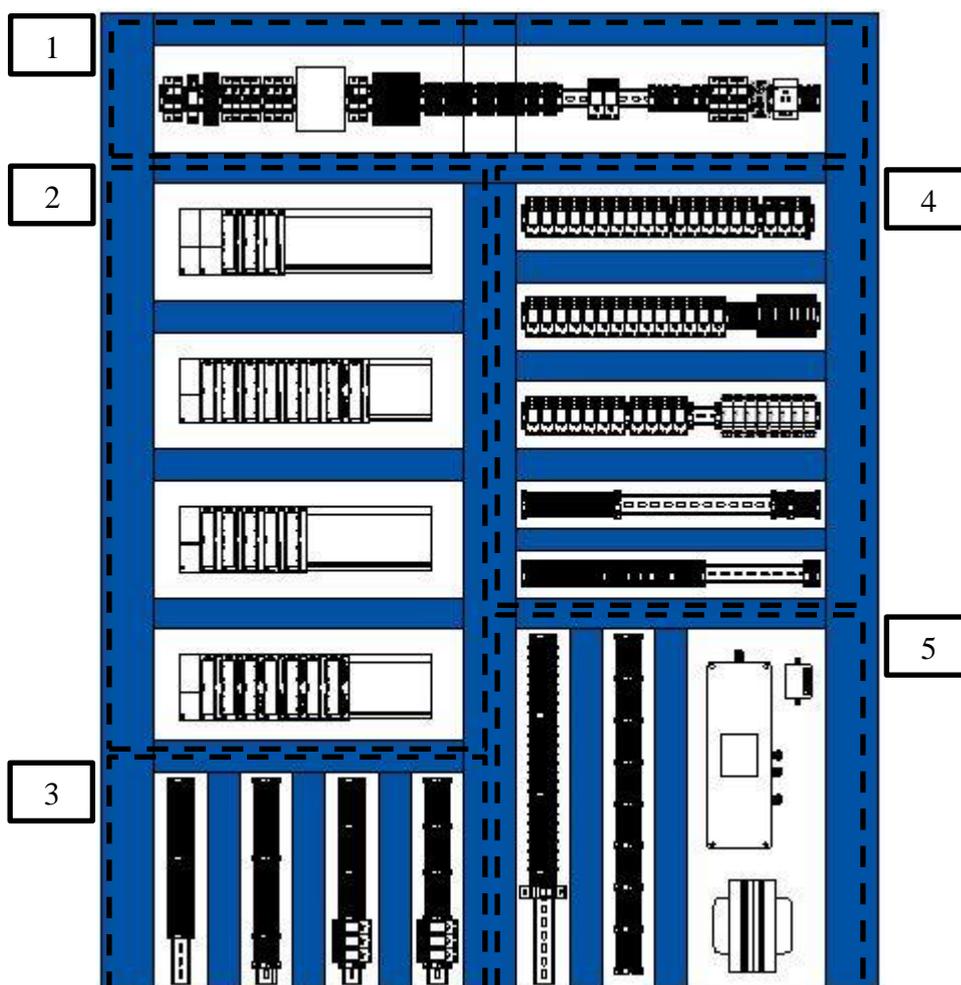


Figura. 29 Doble fondo del tablero de control

1. Sección 1

- 120 Vca general

- 0 Vca general
- GND
- Supresor de transientes.
- Fuente de alimentación de 24 Vcd
- 24 Vcd general.
- 0 Vcd general.
- GND.
- Borneras porta fusibles.
- Alimentación para la sirena.
- Alimentación baliza amarilla.
- Alimentación baliza roja.
- Circuito de luces pilotos y balizas.
- Circuito de test de luces.
- Circuito electroválvula tanque diario crudo.
- Circuito iluminación interna del tablero de control.
- Termostato.
- Toma corriente.

2. Sección 2

- Módulo CPU
- Módulo de comunicaciones.
- Módulos de entradas analógicas.

3. Sección 3

- Borneras para señales de campo.

4. Sección 4

- Circuito para el control semiautomático.

5. Sección 5

- Borneras para señales de campo.
- Viscosímetro.
- Transformador.

En la figura 30, muestra el tablero de control ya instalado en la base mencionada en los anteriores capítulos, además se observa las balizas, terminal de operador los botones y luces pilotos.

El tablero debe de ser con un grado de protección IP68, ya que por condiciones del sitio de instalación tiene riesgo de ingreso de líquidos ya sea de aceite y combustible, debemos asegurarnos que el tablero no pierda su grado de protección al realizar el troquelado en la puerta para montar la terminal de operador y las perforaciones para los botones, luces indicadoras.



Figura. 30 Tablero de control instalado

3.4 Especificaciones

Lafarge al ser una industria cementera de grandes proporciones, esta maneja marcas corporativas con lo cual exige al contratista que se usen dichas marcas para elementos de control, la marca que Lafarge exige para la implementación es Siemens es por esta razón que el controlador lógico programable, software, touch panel y protocolos de comunicación son de esta marca.

De acuerdo a la distribución de los equipos y de las señales del motor generador, se necesitara utilizar un controlador lógico programable, como se indica en el diagrama de la figura 25, para la comunicación entre el sistema SCADA y el PLC que utilizará el protocolo Industrial Ethernet, mientras que para la comunicación entre la terminal de operador y el PLC se comunicarán con Profinet.

En la selección de controlador lógico programable y I/O discretas y analógicas debe ser siemens ya que es una marca corporativa de Lafarge, por lo tanto se especificó el controlador lógico programable y las I/O discretas y analógicas se necesitaran para la implementación del proyecto.

El controlador lógico programable debe poseer las siguientes características:

- Altas prestaciones para manipular las señales de control.
- Manejo de protocolos de comunicación Profibus, Profinet.
- Controlador lógico programable, debe ser de tipo modular.
- PLC de gama media.
- Configuración/programación sencilla, varios lenguajes de programación.
- Rápido tiempo de ejecución.
- Alimentación de 24 VCC

Los sensores serán instalados por el personal de Lafarge, estos deben cumplir con las siguientes especificaciones.

- Protección IP68.
- Lazo de corriente configurable preferible de 4 a 20 ma.
- Alta precisión.
- Robustez.
- Rango de medida de 0 – 10 mbar a 0 – 400 bar.
- Alimentación 120 VAC

El control semiautomático para el arranque del motor generador se dispondrá de pulsadores, selectores, luces indicadoras y un paro de emergencia los cuales estarán instalados en el tablero de control.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE SOFTWARE

4.1 Desarrollo de la lógica de control para el autómeta programable.

4.1.1 Diagrama de flujo del proceso.

El diagrama de flujo para el arranque y protecciones del motor generador se realizó para presentar la información de forma clara, ordenada y concisa en el proceso de arranque, paro y protecciones, para de esa forma facilitar la programación de la lógica de control del controlador lógico programable.

La figura 31 se representa el etiquetado de las luces, pulsadores, selectores y paro de emergencia

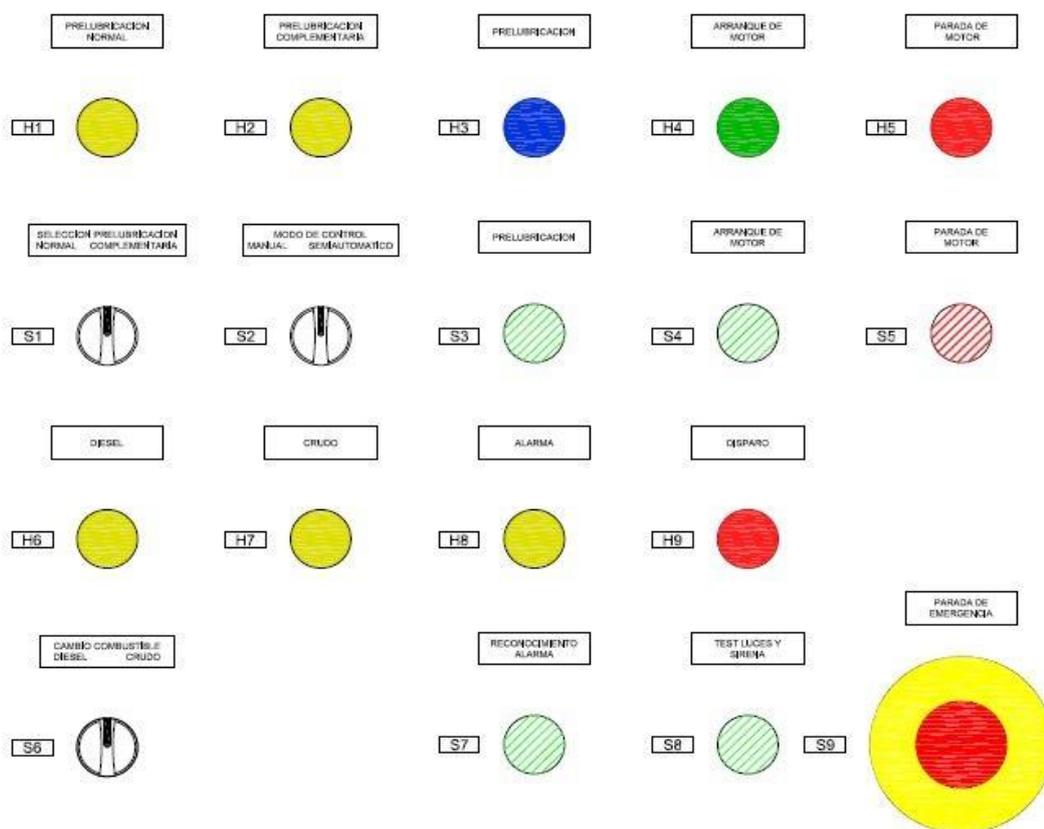


Figura. 31 Selectores, botones y luces indicadoras del tablero de control

En las diferentes etapas del proceso de pre-lubricación se tiene:

- Para iniciar con el proceso de pre-lubricación, se está asumiendo que las bombas del MCC (figura 32) están apagadas y por tal el motor también. Dentro de este proceso se considerarán 2 modos de pre-lubricación: “normal” y “complementaria”, la elección será mediante el selector (S1), (figura 31).



Figura. 32 MCC para el encendido y apagado de la unidad 3

- Después de seleccionar el modo de operación para la pre-lubricación seleccionamos el modo de operación: “manual” o “automático”, la elección será mediante el selector (S2), (figura 31).

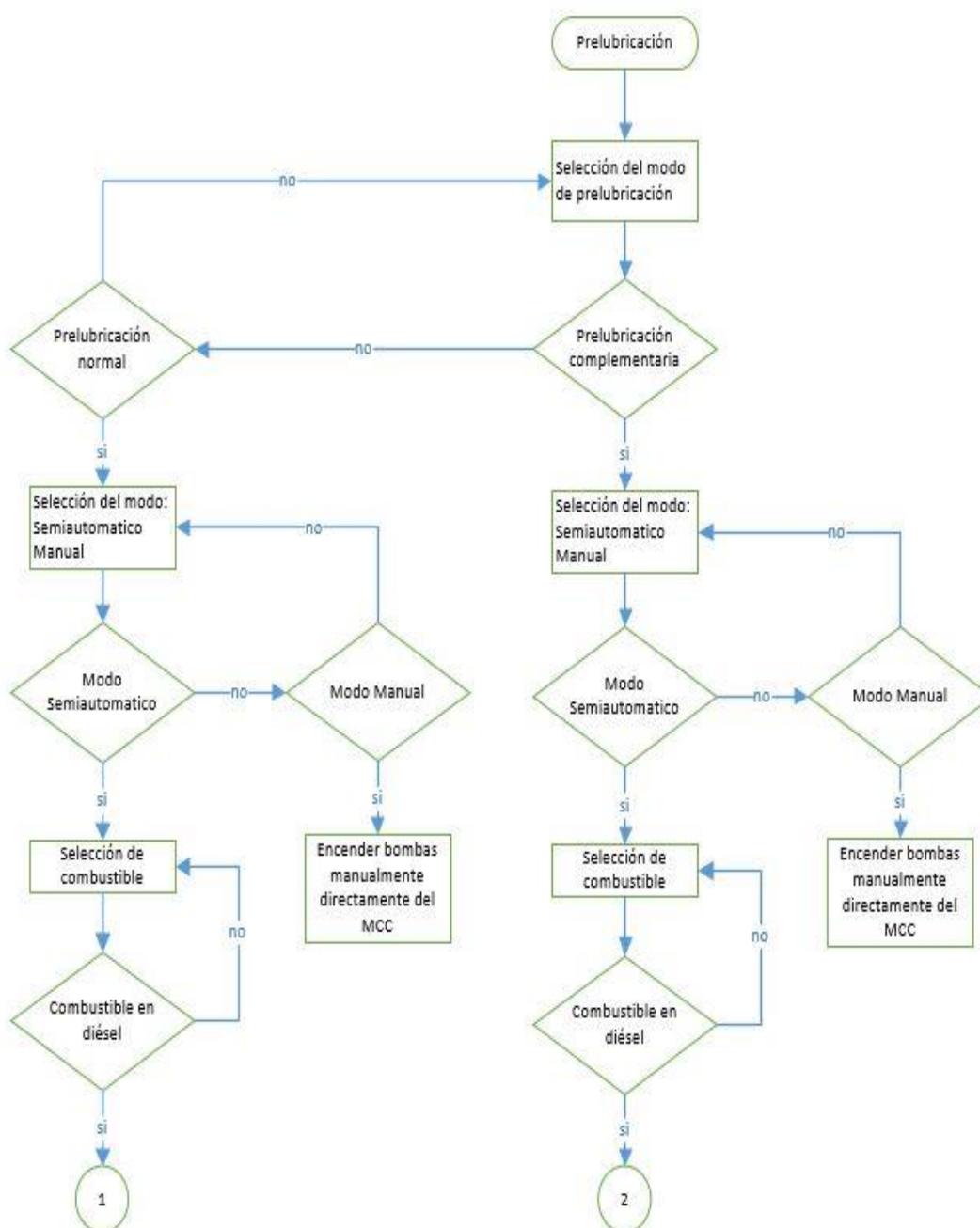
- Para tener el motor generador listo para encenderlo seleccionamos el combustible con el cual se realizará la prelubricación: “diésel” o “Crudo”, la elección será mediante el selector (S6). El tipo de combustible será diésel, ya que el diésel se utiliza en el arranque, parada o si existe alguna falla en el motor generador.
- Con las consideraciones antes mencionadas ya tenemos listo el motor generador para realizar la pre-lubricación, si en el proceso de pre-lubricación el motor generador excede las revoluciones esta se cancelara.
- Al presionar el pulsante “Pre-lubricación” (S3), (figura 31). Se encenderá Las bombas del MCC en el siguiente orden:
 1. Bomba Aceite Lubricante.
 2. Bomba Agua Camisas.
 3. Bomba Combustible.
 4. Bomba Agua Inyectores.

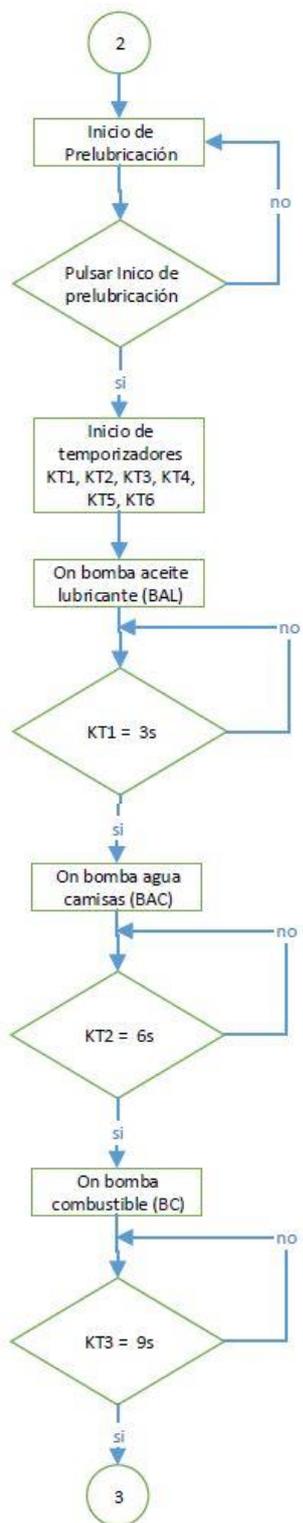
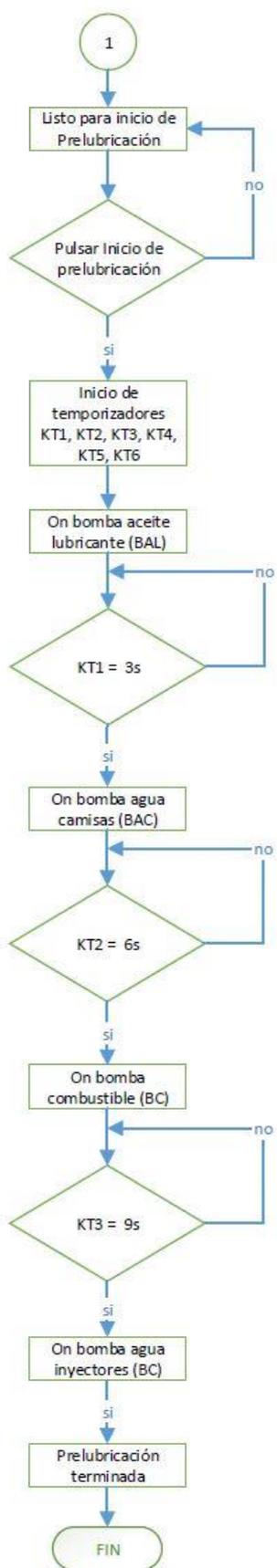
El encendido de las bombas descritas es secuencial, para de esta manera, evitar un pico de corriente al encender todas a la misma ves.

- Al iniciarse el proceso de pre-lubricación, también arranca un tiempo de espera de 3 minutos, durante el cual no se podrá encender el motor, así las bombas mencionadas ya estén en funcionamiento. Esto se debe a que el tiempo antes mencionado permite al sistema estabilizarse en cuanto a valores de presión. Una vez concluidos los 3 minutos o cuando el operador considere adecuado se podrá encender el motor.

En la figura 33 describe el proceso de pre-lubricación del sistema, el cual debe de cumplirse para poder realizar el arranque del motor, ya que en la pre-lubricación se encienden las bombas principales.

Para tener un mejor referencia del diagrama de flujo revisar los anexo 1 planos eléctricos el circuito de control pre-lubricación.





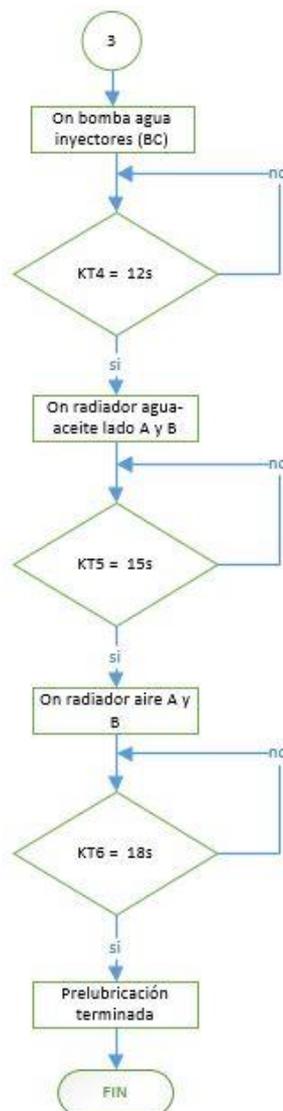


Figura. 33 Diagrama de flujo del proceso de pre-lubricación.

En la figura 34 se indicará como se realiza el arranque y parada del motor generador, además muestra las condiciones que debe cumplir y las posiciones de los selectores para poder tener un arranque sin problemas.

- El proceso de arranque se lo podrá hacer una vez cumplido de manera parcial (bombas principales encendidas) o completa la pre-lubricación dando como resultado que los valores de presión, estén dentro del rango permitido.

- Observar que no se presente ningún tipo de alarma tanto en el panel de mando como en la terminal de operador. De ser así, realizar el correctivo de campo correspondiente.
- Tener en consideración las siguientes condiciones: cremallera en posición normal, virador desacoplado y condiciones de presión adecuadas para el arranque. Si se cumple lo descrito anteriormente, se habilitará un permisivo (KA3 – Anexo 1) que habilitará el encendido del motor.
- Colocar el selector de cambio de combustible S6 en posición “Diesel”, (figura 31). De no ser así no se podrá arrancar el motor.
- Presionar el pulsante “Arranque de Motor”. La Starting Sol Valve (20A) se energizará dejando pasar aire de arranque suficiente para que el motor entre en movimiento.
- Una vez que el motor ha alcanzado el 30% de velocidad nominal, la señal de control respectiva (Eng Running - KA21 - Anexo 1) desenergizará la válvula 20A. El control antes mencionado tiene una redundancia desde el PLC (KA16 - Anexo 1).
- Una vez que el motor ha alcanzado el 85% de velocidad nominal, la señal de control respectiva (Eng Run - KA20 - Anexo 1), entre otras funciones, habilitará las protecciones de motor redundantes (presóstatos). Así mismo la luz piloto de motor encendido (H4) se encenderá (figura 31).
- Controlar que el motor alcance las 515 rpm. De ser así el proceso de arranque ha terminado.
- Monitorear los valores de presión y temperaturas correspondientes.

- Si las condiciones son ideales, dejar que la máquina adquiriera carga poco a poco hasta alcanzar aproximadamente los 2MW. Una vez así, se podrá pasar de combustible, en este caso, a crudo.



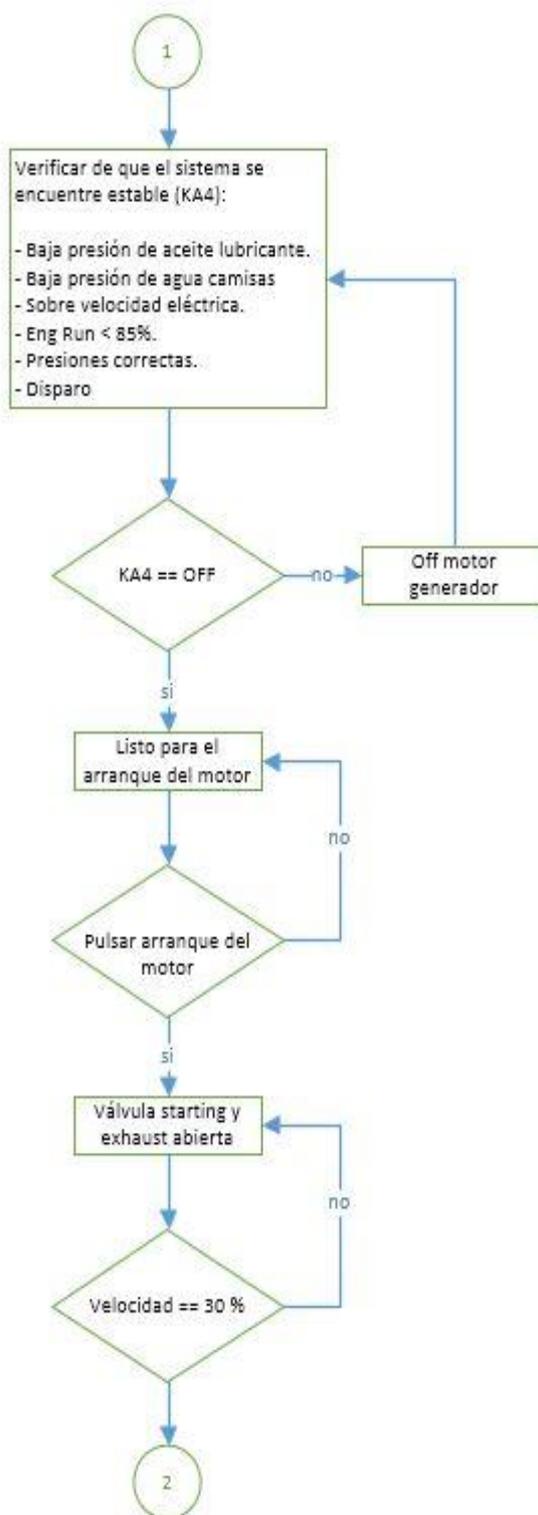




Figura. 34 Diagrama de flujo del proceso de arranque del motor generador.



Figura. 35 Diagrama de flujo del proceso de parada del motor generador.

En operación semiautomática el sistema de protecciones deberá incluir tanto por programación del PLC como en el diseño electromecánico, las siguientes:

PLC

- Baja presión de aceite lubricante.

- Baja presión de agua camisas.
- Sobre velocidad mecánica.
- Parada de emergencia manual.
- Posición de manija de cremallera del motor.
- Seguro mecánico del motor.
- Eng run.
- Eng running.
- Baja presión válvula de engranaje de combustible.
- Alta presión diferencial filtro de aceite lubricante.
- Baja presión de combustible.
- Perdida de flujo agua camisas.
- Alta presión diferencial filtro de combustible.
- Baja presión de aceite lubricante.
- Baja presión de aire de arranque.
- Bajo nivel de bunker.
- Alto nivel de bunker.
- Bajo nivel de diésel.
- Alto nivel de diésel.
- Bajo nivel de lubricación de balancines.
- Alta temperatura de aceite lubricante.
- Alta temperatura de combustible.
- Baja temperatura de combustible.
- Alta temperatura de agua camisas.
- Alta temperatura de aceite lubricante.

- Alta temperatura de bancadas.
- Baja viscosidad de combustible.
- Baja presión de aceite lubricante alarma.
- Sobre velocidad eléctrica.
- Alto nivel de tanque retorno de combustible.
- Bajo nivel de tanque retorno de combustible.
- Alto nivel de tanque de aceite.
- Bajo nivel de tanque de aceite.
- Muy bajo nivel de tanque de aceite.
- Bajo nivel de agua inyectores.
- Muy bajo nivel de agua inyectores.
- Bajo nivel de agua inyectores.
- Muy alto nivel de crudo.
- Muy bajo nivel de crudo.
- Muy alto nivel de diésel.
- Muy bajo nivel de diésel.
- Alto nivel de lubricación de balancines.

4.1.2 Software de programación

Para la programación del controlador lógico programable se utilizar el software Simatic Manager STEP S7 versión V5.5 de propiedad de Siemens (figura 36).

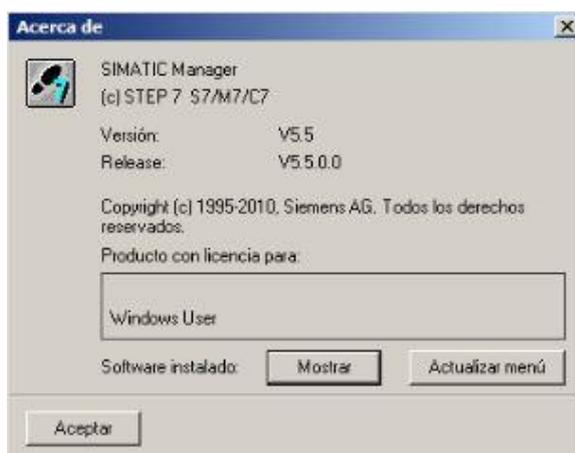


Figura. 36 Información del software de programación.

Simatic Manager es un entorno profesional flexible que permite programar todos los autómatas de las familias SIEMENS S7-300 y S7-400 entre otros. Para ello está dotado de una potente colección de librerías que almacenan las características específicas Hardware de cada modelo de autómatas y los diferentes elementos de conexionado existentes en el mercado para configuraciones en red.

Entre las herramientas disponibles en la distribución estándar de SM destacan:

- Herramientas de configuración de las comunicaciones: PLC – PC mediante bus MPI, NetPro (configuración de redes industriales), etc.
- Herramientas de conversión entre archivos: por ejemplo paso del más antiguo lenguaje STEP 5 a STEP 7
- Administrador de licencias
- Editores de bloques para los lenguajes AWL (ensamblador S7), FUP (lenguaje gráfico mediante funciones lógicas), KOP (lenguaje gráfico mediante contactos), S7-GRAPH (lenguaje gráfico mediante graficets) y SCL (lenguaje de alto nivel.)
- Simulador

El software utiliza un ambiente de programación unificado acorde con las regulaciones del estándar internacional IEC 61131-3 para Controladores Lógicos Programables (PLC). Fue publicada por primera vez en diciembre de 1993 por la Comisión Electrotécnica Internacional. La edición actual fue publicada en febrero del 2013.

Ésta parte trata los lenguajes de programación y define los estándares de dos lenguajes gráficos y tres lenguajes textuales para PLC:

- Lenguaje escalera (LD - Ladder Diagram), gráfico.
- Diagrama de bloque de funciones (FBD - Function Block Diagram), gráfico.
- Texto estructurado (ST - Structured Text), textual.
- Lista de instrucciones (IL - Instruction List), textual.
- Bloques de función secuenciales (SFC - Sequential Function Chart), con elementos para organizar programas de computación paralela y secuencial.

4.1.3 Programación del controlador lógico programable del motor generador.

El controlador lógico programable es el encargado de supervisar las temperaturas, presiones y niveles de los tanques, también establecerá comunicación entre el sistema SCADA ubicada en la sala de control y con la terminal de operador ubicada en el tablero eléctrico junto al motor generador.

Para arrancar con el programa primero debemos crear un nuevo proyecto como se indica en la figura 37, ingresamos el nombre del proyecto y aceptamos.

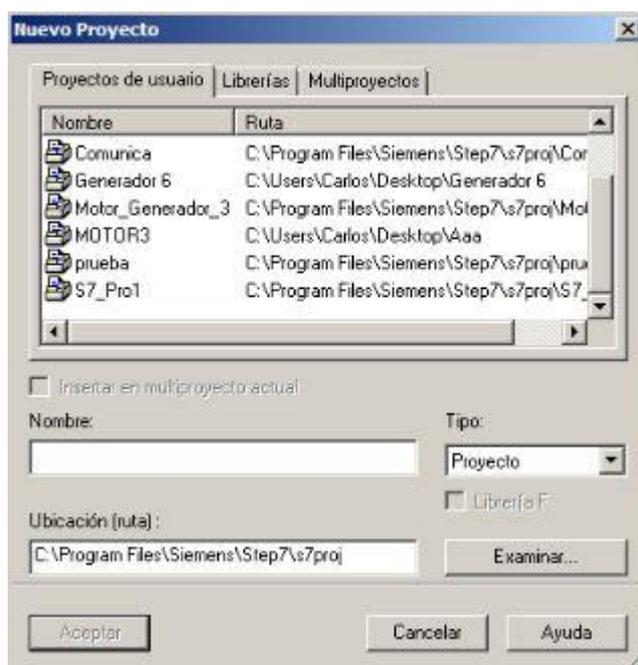


Figura. 37 crear un nuevo proyecto en STEP 7.

En el proyecto creado hacemos clic derecho y escogemos insertar nuevo objeto, seleccionamos la familia de nuestro plc Simatic 300, (figura 38).

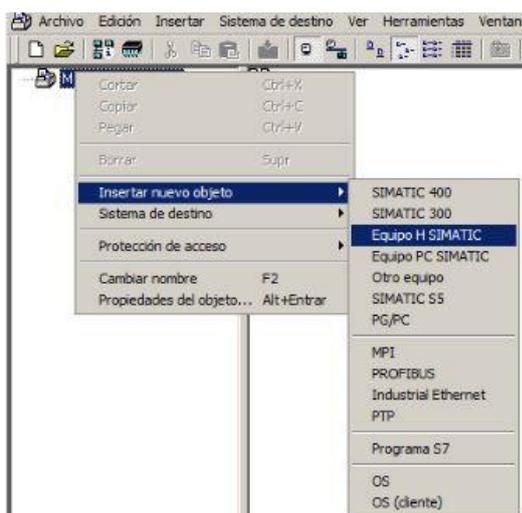


Figura. 38 Familia del plc Simatic 300.

Para la selección de PLC y los módulos, hacemos clic en el proyecto y posteriormente en hardware (figura 39), en donde seleccionamos más detalladamente el PLC y los módulos.

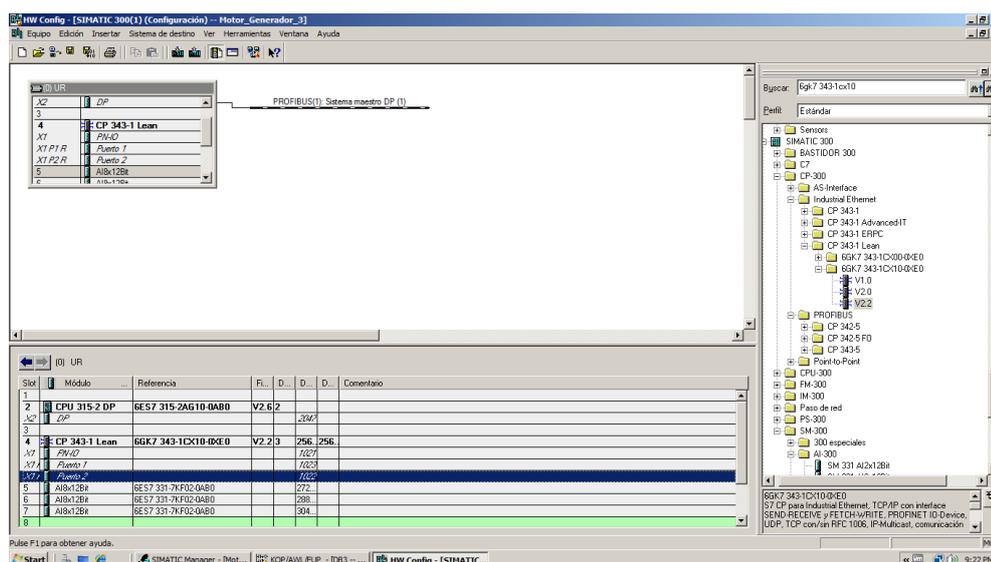


Figura. 39 Se insertó los módulos de entradas analógicas.

Ya configurado los módulos de entradas y salidas en todos los rack del plc, se procederá a la programación, para lo cual debemos de tomar en cuenta la comunicación con el SCADA y la terminal de operador, ya que para cada uno hay que agregar los elementos a la red ya sea Profibus o Ethernet.

4.1.4 Comunicación STEP 7 y Wincc

La comunicación entre el PLC y el software del sistema SCADA Wincc se realizará mediante el protocolo TCP/IP, para lo cual se necesita cable Ethernet y los conectores rj 45.

La comunicación entre el PLC y Wincc se realizará mediante el módulo ET200M, la configuración se debe realizar tanto en STEP 7 como en Wincc, respetando las direcciones IP asignadas en ambos.

Configuración Wincc en el sistema SCADA

La comunicación entre el PLC y el software Wincc instalada en el sistema SCADA, es necesario seguir algunos pasos para que la configuración del protocolo TCP/IP, a continuación se detallan los paso para la configuración:

1. En el WinccExplorer, nos dirigimos al proyecto creado en administración de variables y escogemos TCP/IP clic derecho escogemos nueva conexión (figura 40).

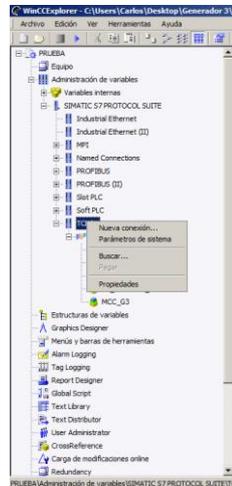


Figura. 40 Nueva conexión TCP/IP.

2. En la figura 41 se muestra el nombre de la conexión nueva que se realizó, también muestra todos los servidores que se encuentran en red, en este caso solo se muestra la PC en donde se instaló Wincc, y es en donde se realizará la comunicación.

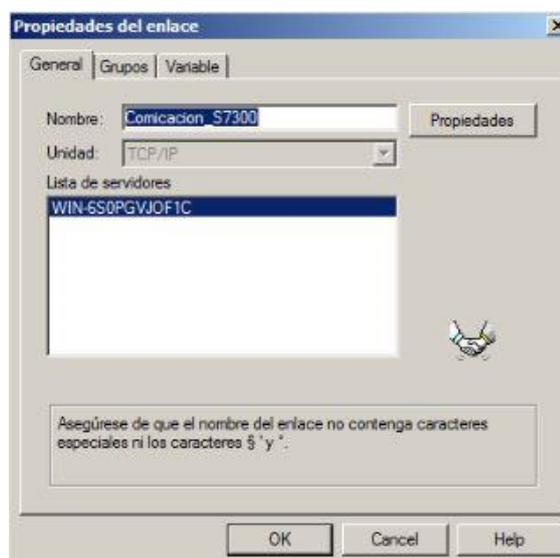


Figura. 41 Configuración del nombre de la nueva conexión.

3. La configuración IP debe ser el elementos de control de donde se tomarán todas la variables para la comunicación en este caso es el PLC, se la colocará en propiedades (figura 42) y en dirección IP 192.168.0.10, también nos pedirá el número de bastidor 0 y el número de slot 2, estas ubicación deben ser exactamente como se encuentra físicamente la instalación caso contrario no se realizará exitosamente la comunicación.

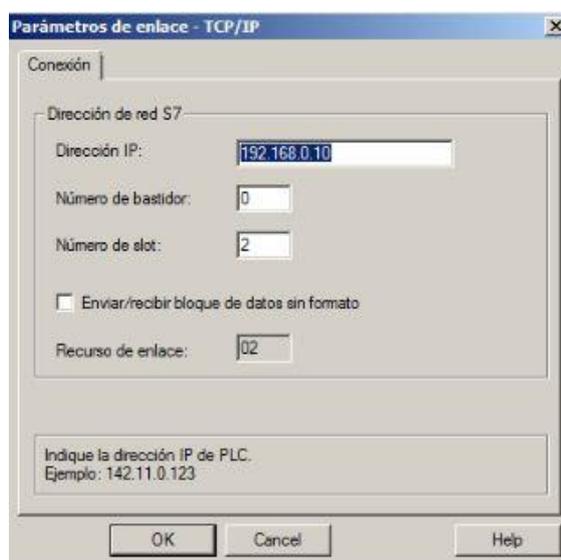


Figura. 42 Configuración de IP y posicionamiento del módulo

4. Para agregar las variables es necesario saber la dirección de cada una de ella en el PLC, para insertar una nueva variable hacemos clic derecho nueva variable, aparece una ventana en donde se coloca el nombre de la variable, se escoge el tipo de variable y por último se pone la dirección de la variable del PLC (figura 43).

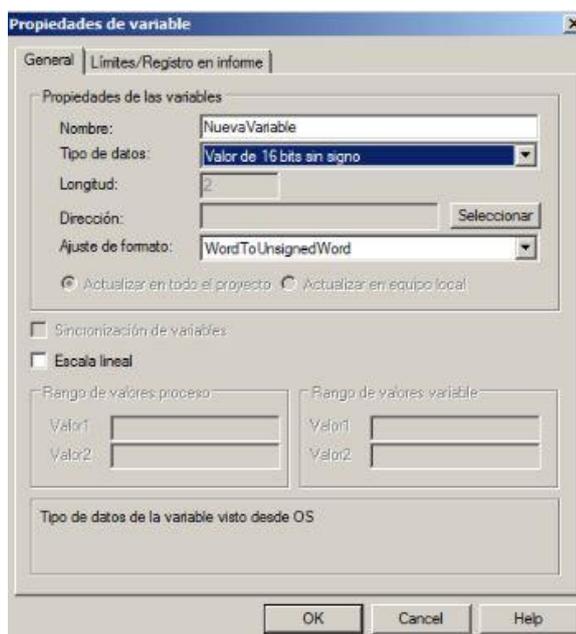


Figura. 43 Direcccionamiento de las variables del PLC en el SCADA.

En la nueva conexión se establecerá diferentes grupos para las variables, de la siguiente manera:

- Temperaturas (TITs_G3).
- Presiones (PITs_G3).
- Alarmas (Alarmas_G3).
- Set point (SP_Alarmas_G3).
- MCC (MCC_G3).

Los grupos de variables se crearon para tener más organización, ya que a futuro también se realizará la automatización de la unidad 1 y 2, con estos grupos tendremos conocimiento de las variables que pertenecen a cada unidad.

En la PC se instaló Wincc, para que la comunicación sea exitosa la PC debe estar dentro de la subred en la que se encuentra el PLC.

Configuración STEP 7

Para la configuración del STEP 7 nos dirigimos a la barra de herramientas y configuración de red, en la ventana de configuración de red se representan todas las redes disponibles.

- Industrial Ethernet.
- Profibus.
- MPI.

De las cuales se utilizarán industrial Ethernet para la comunicación entre el PLC y el SCADA, mientras que Profibus para la comunicación entre el PLC y el módulo de periferia descentralizada ET200M.

Los pasos para la comunicación en el STEP 7 son:

1. Hacemos clic en configuración de red y seleccionamos PG/PC el cual representa a la PC, le arrastramos y seguidamente nos aparece una venta en la cual se configura la interface de comunicación (figura 44).

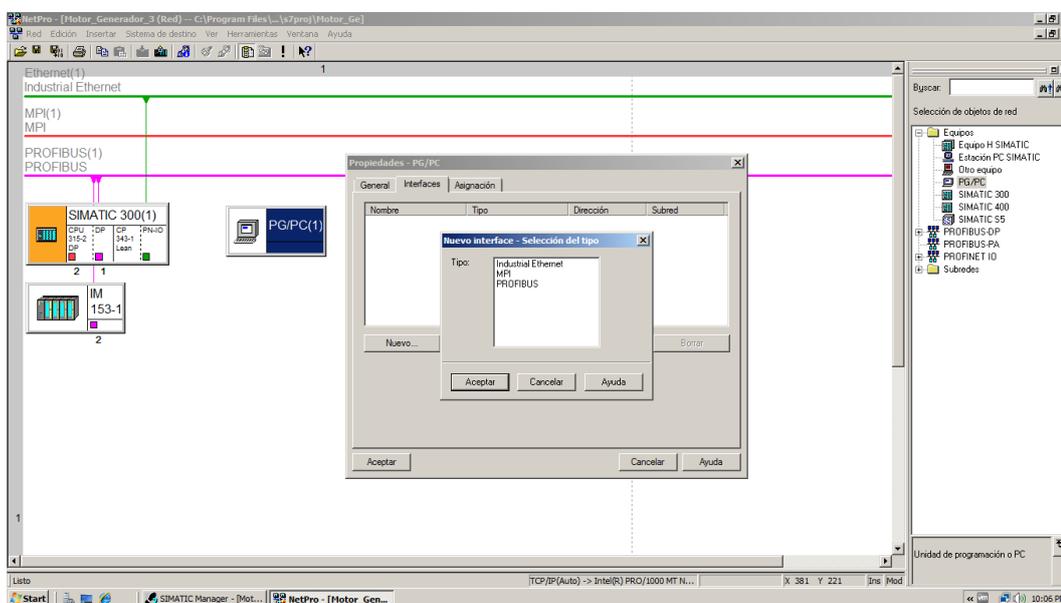


Figura. 44 Selección de la interface de Ethernet.

2. Cuando ya está creada la interface de comunicación, automáticamente aparecerá la ventana de configuración de propiedades de interface Ethernet en la cual colocaremos la IP del sistema SCADA y escogemos en subred la red creada Ethernet(1), (figura 45).

La red Ethernet(1), MPI(1) y Profibus(1) se crean automáticamente dependiendo del controlador lógico programable y de los módulos de comunicación (figura 44).

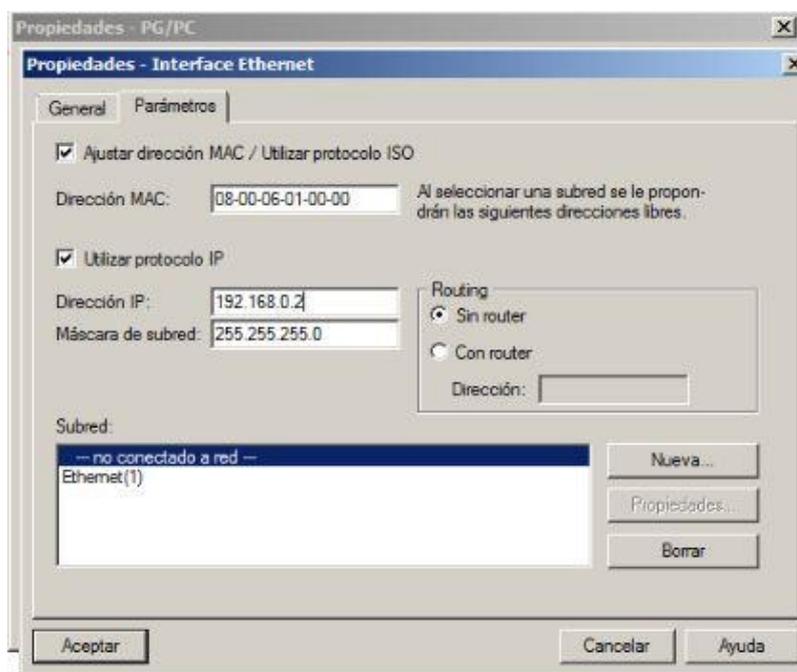


Figura. 45 Direccionamiento IP de la PC.

3. Cuando la configuración esté lista el elemento PG/PC se agregara automáticamente a la red Ethernet, además dependiendo de la red tomará el color de ella, en este caso, la línea se tornó de color verde, (figura 46).

Cuando se torna del color de la red, esto quiere decir que el enlace de comunicación se encuentra listo para el módulo.

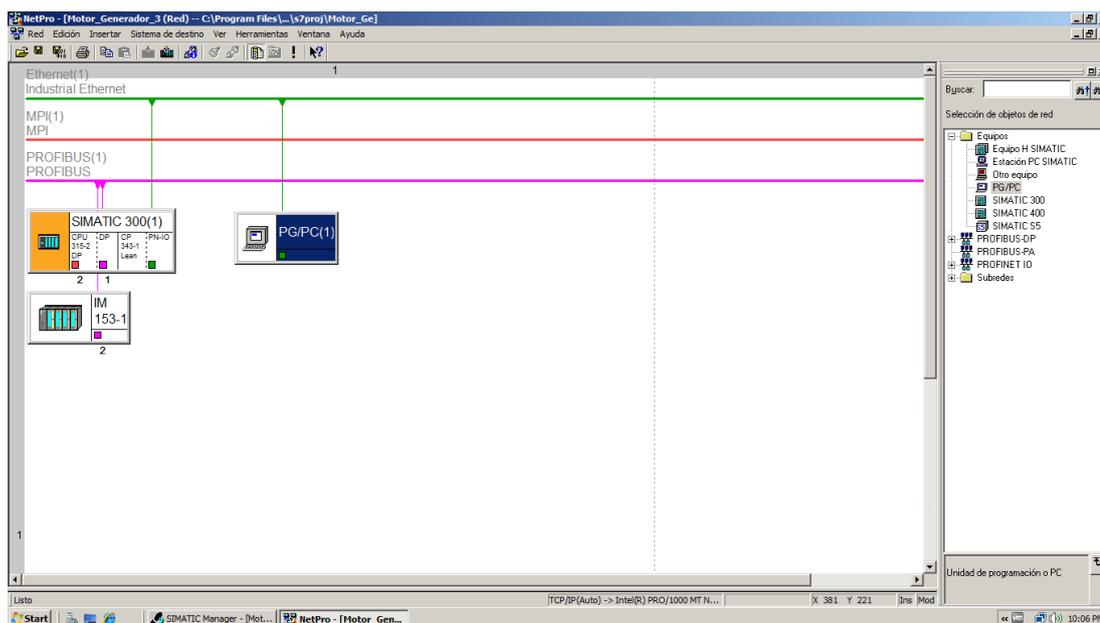


Figura. 46 Direccionamiento IP de la PC.

4.1.5 Comunicación STEP 7 y Wincc Flex

Configuración Wincc Flex en la terminal de operador

La comunicación entre la terminal de operador y el PLC, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Establecer la dirección IP de la terminal de operador dentro de la subred en la cual se encuentra el PLC, para esto se configura la dirección IP desde la terminal de operador.
2. Mientras que para el Wincc Flex la configuración se la realizó en la pestaña del proyecto y conexión (figura 47).

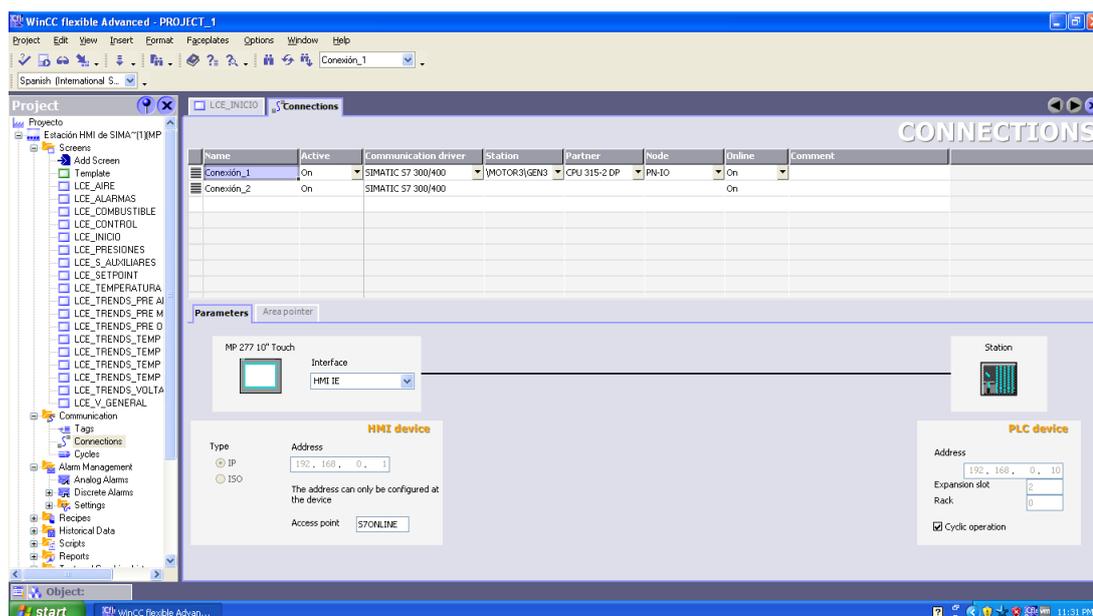


Figura. 47 Configuración de comunicación Wincc Flex.

Para la configuración es necesario ingresar un nombre, seleccionar un driver de comunicación, la estación o programa de PLC, partner CPU del PLC y un nodo.

- En la parte inferior de la pantalla se encuentra una representación de la terminal de operador con el PLC, en ambos debemos colocar la dirección IP con la cual se configuró cada uno de ellos, figura 47.

4.1.6 Comunicación STEP 7 y Wincc Flex

Configuración ET200M en STEP 7

ET200M es el módulo de periferia descentralizada. El ET200M tiene un diseño modular y un grado de protección IP20, este tiene la capacidad de utilizarse hasta 12 módulos de entrada y salida multicanal.

La comunicación Profibus DP con el PLC y el módulo ET200M, se debe realizar la configuración en STEP 7.

La configuración del protocolo Profibus DP se realizó en la opción de configurar red, cuando agregamos el PLC en la opción de DP hacemos clic para realizar la configuración del protocolo (figura 48).

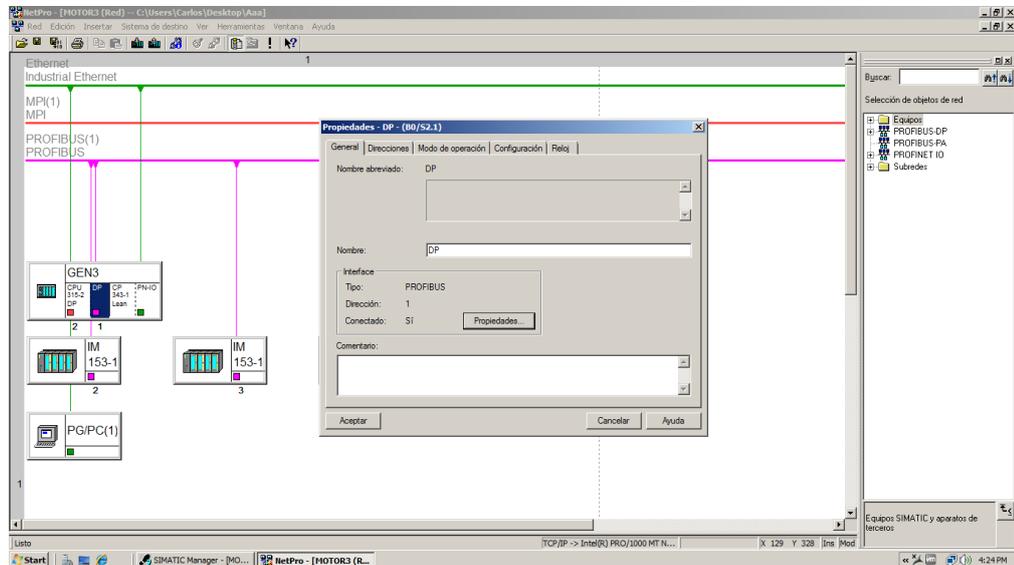


Figura. 48 Configuración del protocolo Profibus dp.

En la configuración es necesario que el PLC sea master de la comunicación Profibus, esto se seleccionó en modo de operación (figura 49).

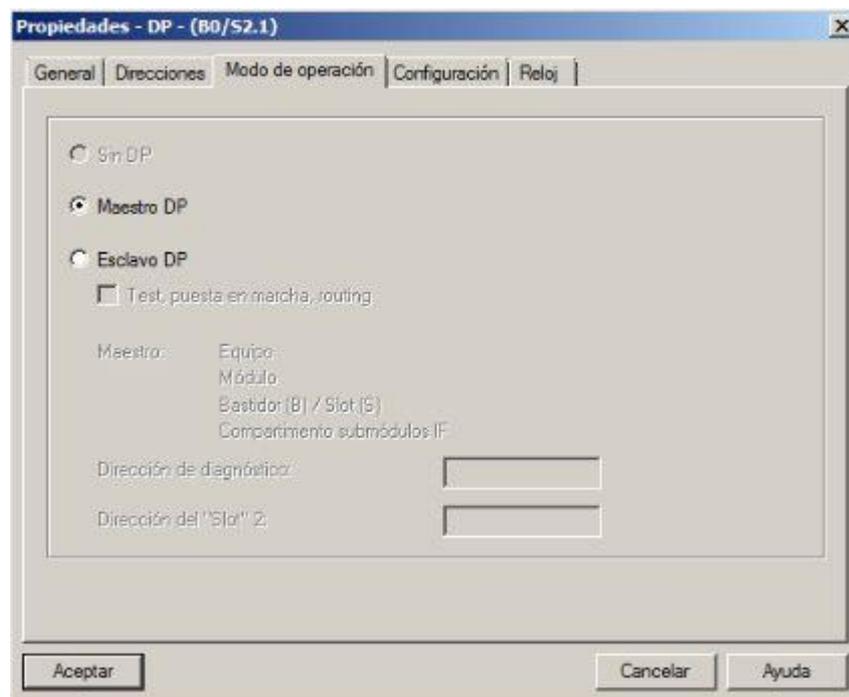


Figura. 49 Modo de operación del PLC como master.

La dirección como la velocidad de transmisión se la asignó en la pestaña general y en propiedades (figura 50).

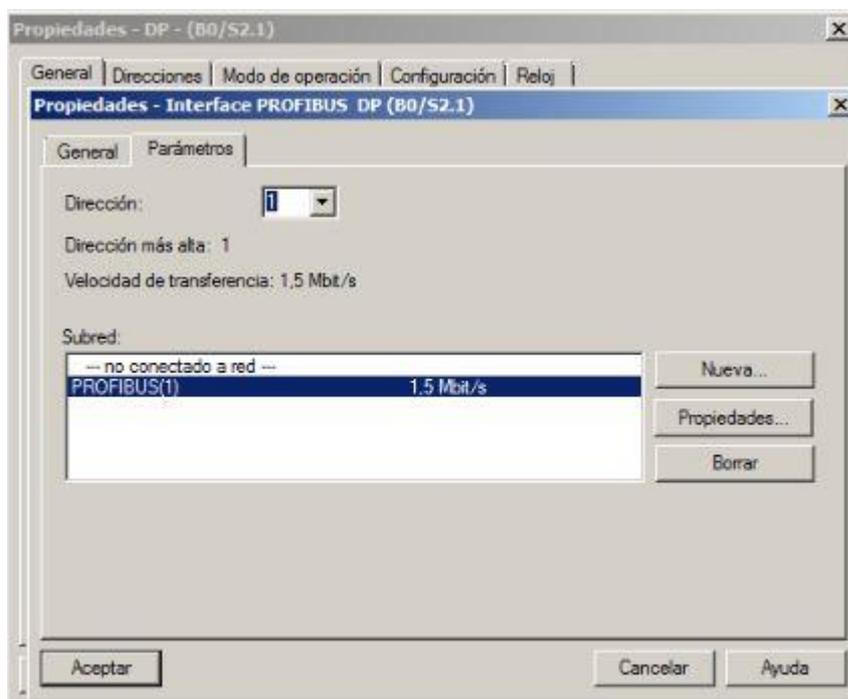


Figura. 50 Dirección y velocidad de transferencia.

Terminada la configuración del protocolo Profibus DP ya podemos agregar el ET200M que actuarán como esclavos en la comunicación, para esto debemos insertar el módulo IM 153-1 el cual está instalado con el PLC (figura 51).

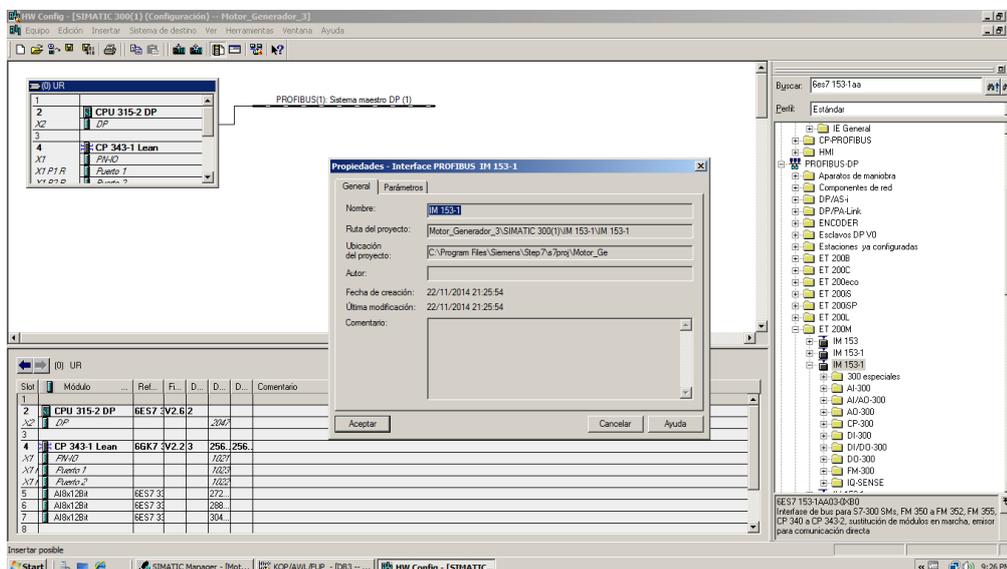


Figura. 51 Añadir IM 153-1 para la comunicación Profibus DP.

En el módulo IM 153-1 podemos agregar módulos de entrada y salidas discretas o analógicas, de igual manera este módulo debe tener una dirección Profibus para que puede realizar el intercambio de datos sin ningún problema (figura 52).

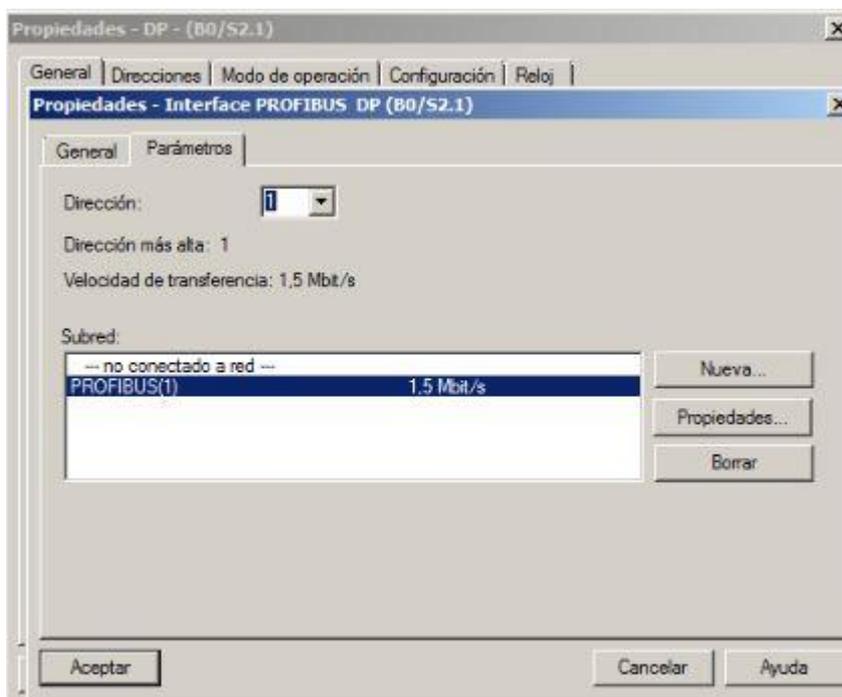


Figura. 52 Configuración del IM 153-1 para la comunicación Profibus DP.

4.2 Diseño y Desarrollo del HMI para la terminal de operador.

Las ventanas desarrolladas para la visualización de los datos de protección y medida, proporcionan información en tiempo real del valor de las variables de los equipos y del estado de los interruptores que conforman el sistema. Para que esta información se presente de manera amigable y sea fácilmente comprensible para el operador, se usan ciertos colores y representaciones gráficas. Estas gráficas están asociadas con los datos monitoreados y con el estado de operación de los equipos.

El color rojo ■ se usa para indicar los siguientes estados:

- Si existe algún disparo en el generador 3.

El color verde ■ se usa para indicar lo siguiente:

- Estado de la válvula (abierto).
- Eventos realizados.

El color amarillo ■ se usa para identificar lo siguiente:

- Si existe alguna Alarma en el generador 3.

4.2.1 Arranque

La touch panel que se encuentra ubicado en el tablero de control para la unidad 3, tanto los servicios de comunicación como del sistema SCADA y del touch panel serán configurados para un modo de arranque automático. Luego de que el sistema arranque, la primera ventana que se muestra es la correspondiente a inicio (figura 53).

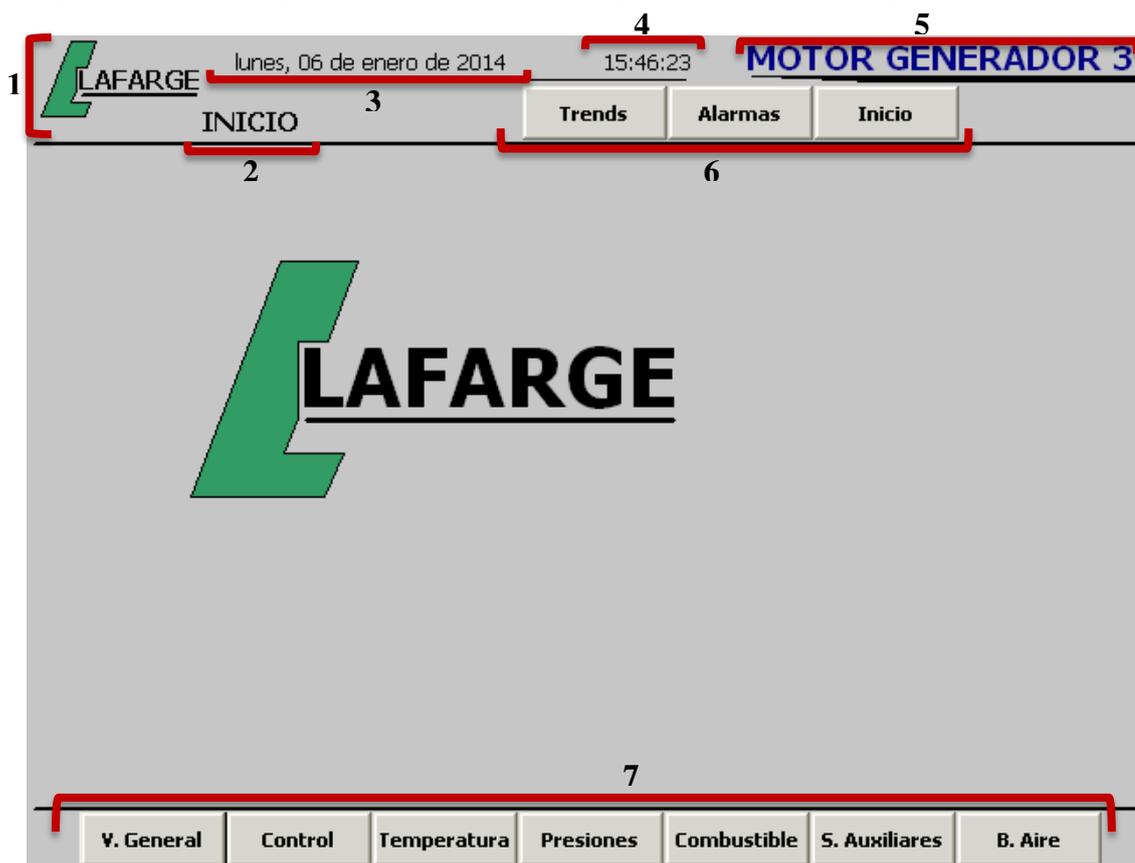


Figura. 53 Formato de las ventanas de la touch panel.

La terminal de operador no tendrá niveles de acceso, esta se abrirá para cualquier usuario para el monitoreo, pero si desde la terminal de operador desea realizar algún cambio en los set point del sistema, el usuario deberá tener una clave de acceso para realizar los cambios.

1. Símbolo de la LAFARGE.
2. Nombre de la pantalla actual.
3. Fecha.
4. Hora.
5. Nombre Motor Generador 3
6. Menu superior.
7. Menu inferior

4.2.2 Encabezado

Durante toda la aplicación se presenta el menú superior (figura 54) en la pantalla que contiene los campos que se describen a continuación:



Figura. 54 Menú Superior

Fecha y Hora.- En este campo indica la fecha y la hora de la terminal de operador.

Menú superior.- Mediante las opciones que proporciona el menú superior se navegara por las ventanas; Trends, Alarmas e Inicio.

4.2.3 Menú Inferior

En la parte inferior de la pantalla, se presenta el menú inferior, el cual tiene las siguientes opciones: Visión General, Control, Temperatura, Presiones, Combustible, Sistema Auxiliar y Bombas de Aire (figura 55).



Figura. 55 Menú Inferior

4.2.4 Inicio

En la ventana de inicio se presenta siempre que arranquemos la aplicación, en esta tenemos el menú superior e inferior para todas las ventanas representadas en la touch panel (figura 56).

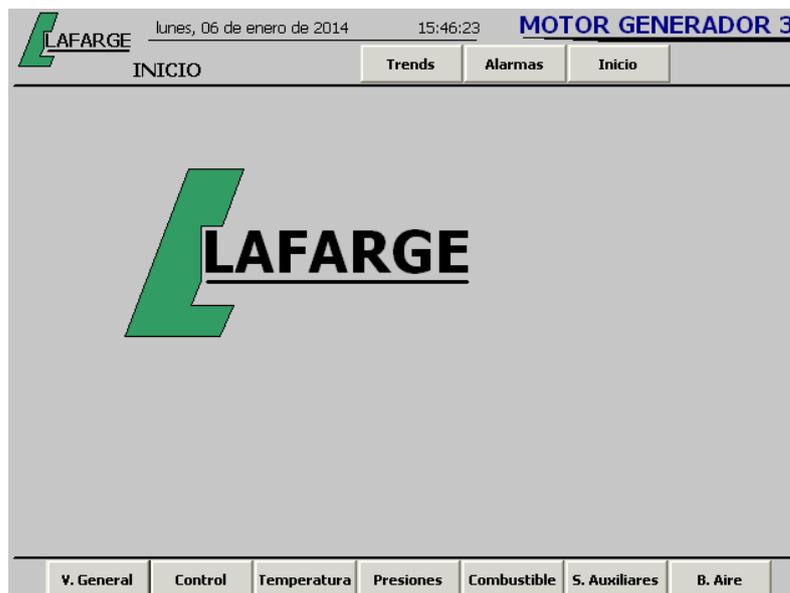


Figura. 56 Ventana de Inicio

4.2.5 Visión General

En la ventana de V. General se mantiene el mismo menú inferior como superior, el cual se mantendrá en todas las ventanas facilitando la navegación del operador (figura 57).

Al presionar el botón de V. General, nos presenta un esquema general del generador 3 y sus sistemas auxiliares; Combustible, Aceite Lubricante, Agua Camisas y Agua Inyectores. Además en la Ventana V. General tenemos las temperaturas de entrada y salida de los sistemas auxiliares, la presión de cada sistema auxiliar, la presión de aire tanto de la derecha como de la izquierda, la velocidad, viscosidad, temperatura del combustible y la presión diferencial del Carter.

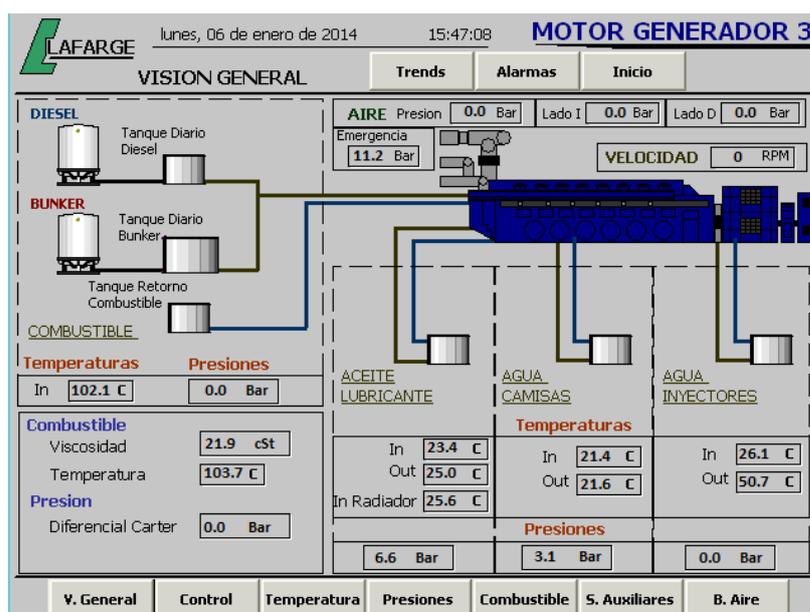


Figura. 57 Ventana de Visión General

4.2.6 Control

En la ventana de control el operador tiene la facilidad de observar en la touch panel el encendido de las bombas de los sistemas auxiliares, (figura 58).

En la ventana de control, podemos supervisar los voltajes, corriente y factor de potencia con el cual se encuentra el MCC.

Desde esta ventana de control podemos calibrar los SetPoint presionando en SetPoint, en esta ventana podemos modificar todos los SetPoint de las Alarmas,

Disparos, Niveles altos y bajos, siempre que estemos autorizados para hacerlo (figura 59).

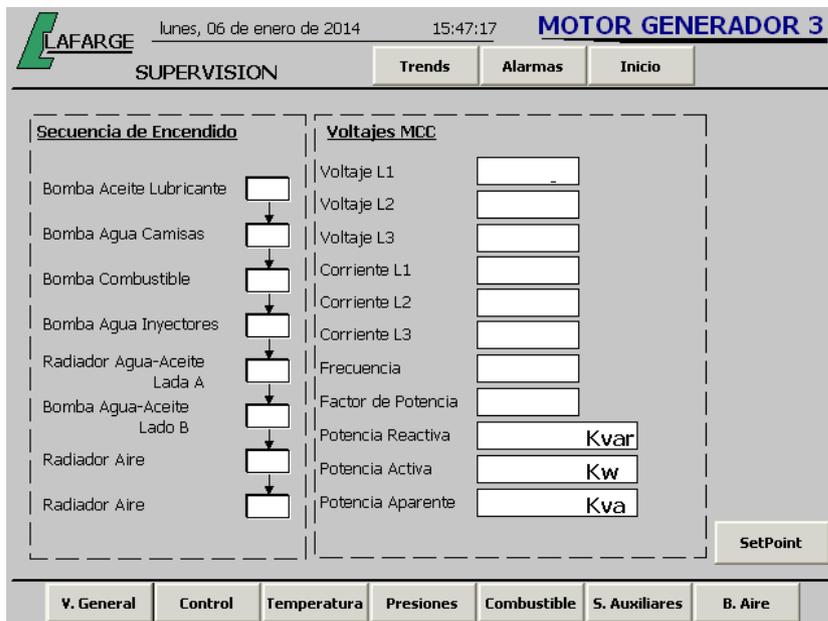


Figura. 58 Ventana de Control

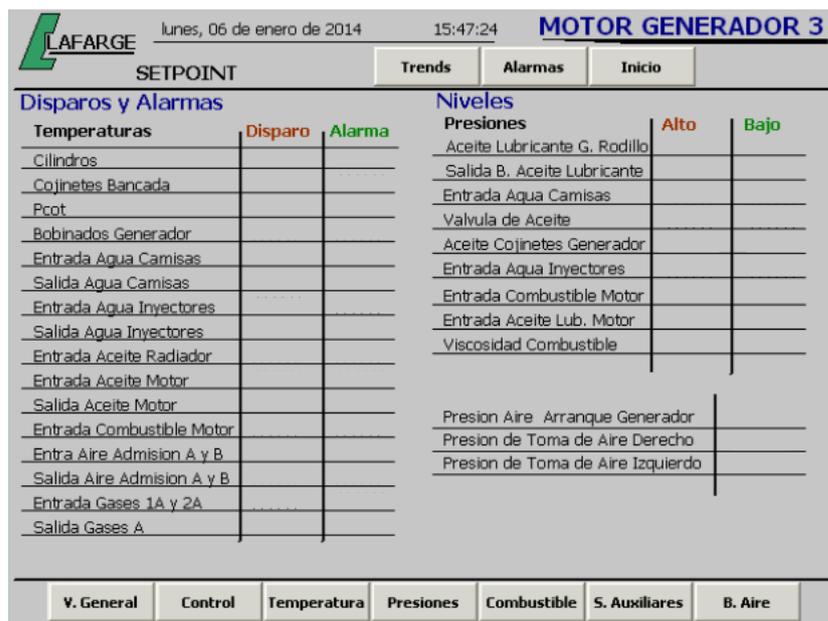


Figura. 59 Ventana de Setpoint

4.2.7 Temperatura

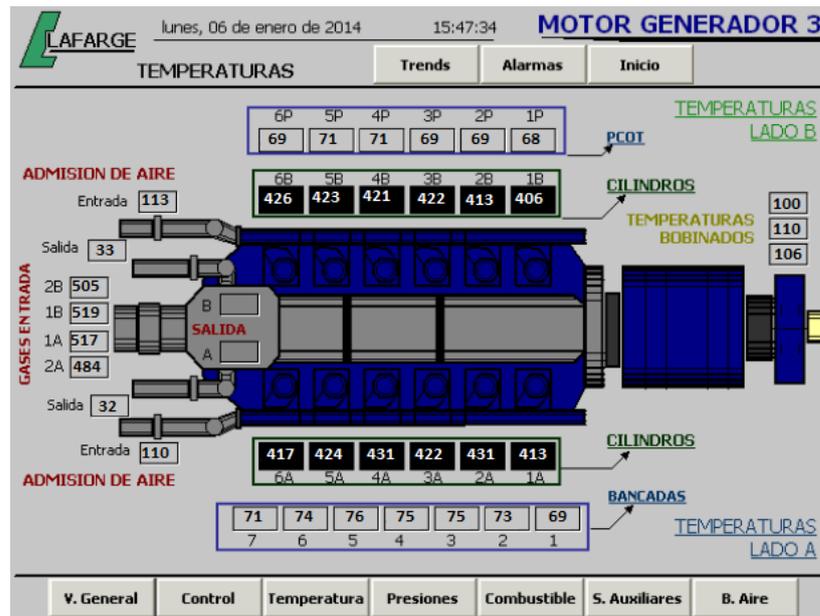


Figura. 60 Ventana de temperaturas

Una de las ventajas de permanecer en esta ventana es que si existe una alarma o disparo, en la posición en donde ocurrió comenzará a titilar de amarillo si es alarma y de rojo si es disparo.

4.2.8 Presiones

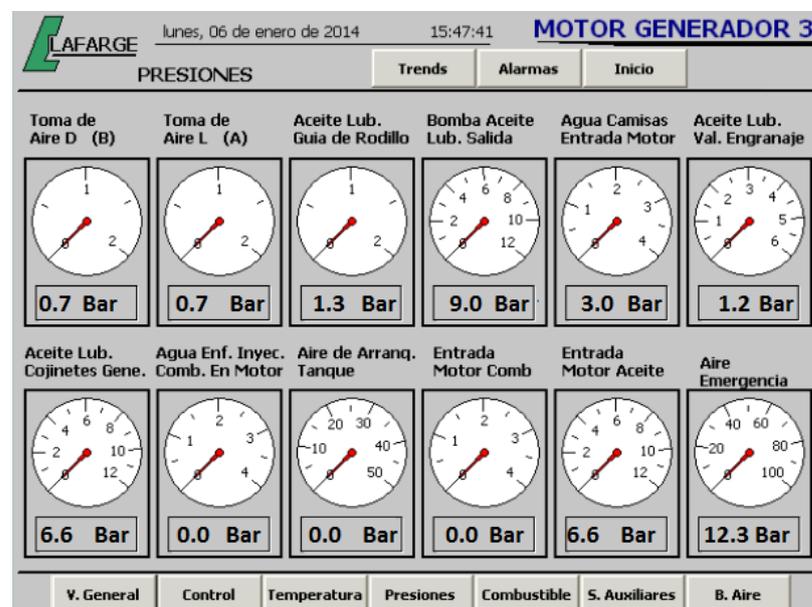


Figura. 61 Ventana de Presiones

Al igual que la ventana de temperaturas la ventana de presiones se leen las presiones que influyen en el arranque y funcionamiento del generador 3 (figura 61), además se presenta la misma animación que la ventana de temperaturas.

4.2.9 Combustible

En esta ventana se presentará un esquema del sistema auxiliar de combustible, como son los tanques de Bunker, Diésel y tanque de retorno de combustible, además los niveles respectivos para cada tanque (figura 62).

Otra de las ventajas de permanecer en la ventana de combustible es que se puede observar la presión y la temperatura del combustible a la entrada del motor.

En el esquema se representa los tanques de almacenamiento tanto de bunker como de diésel, también se muestran los tanques de almacenamiento diarios que tienen los combustibles y sus respectivos indicadores de nivel ya sea altos o bajos (figura 62).

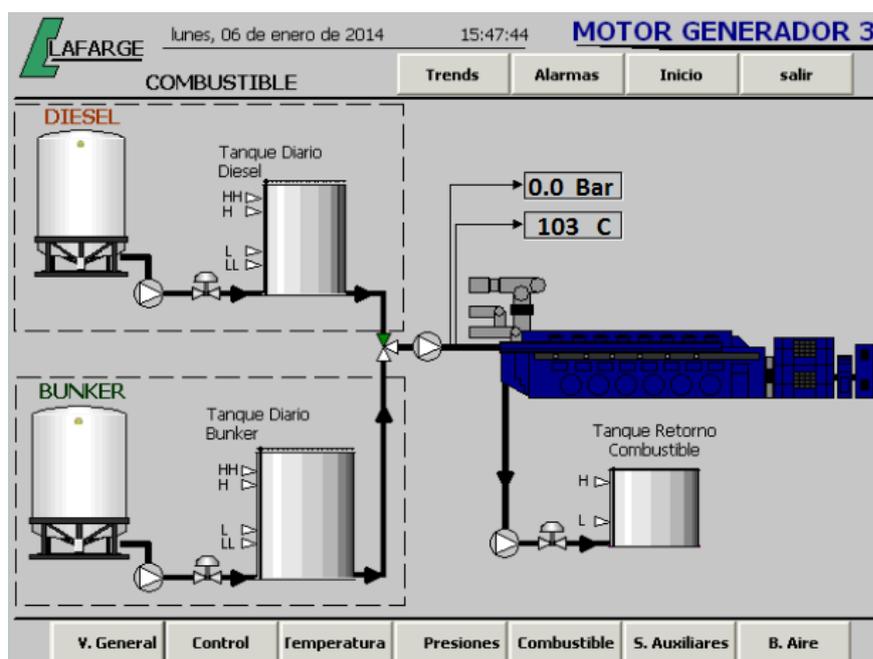


Figura. 62 Ventana de combustible

4.2.10 Sistemas Auxiliares

En la ventana de sistemas auxiliares encontramos:

- Bomba de agua camisas.
- Bomba de agua inyectores.
- Bomba de aceite lubricante.

En cada uno de los sistemas auxiliares tenemos la presión de entrada al motor para agua camisas y de igual manera para agua inyectores mientras que para aceite lubricante tiene presión de entrada al motor y presión de entrada al enfriador, las temperaturas de los sistemas auxiliares se presentan en la entrada y salida del motor (figura 63).

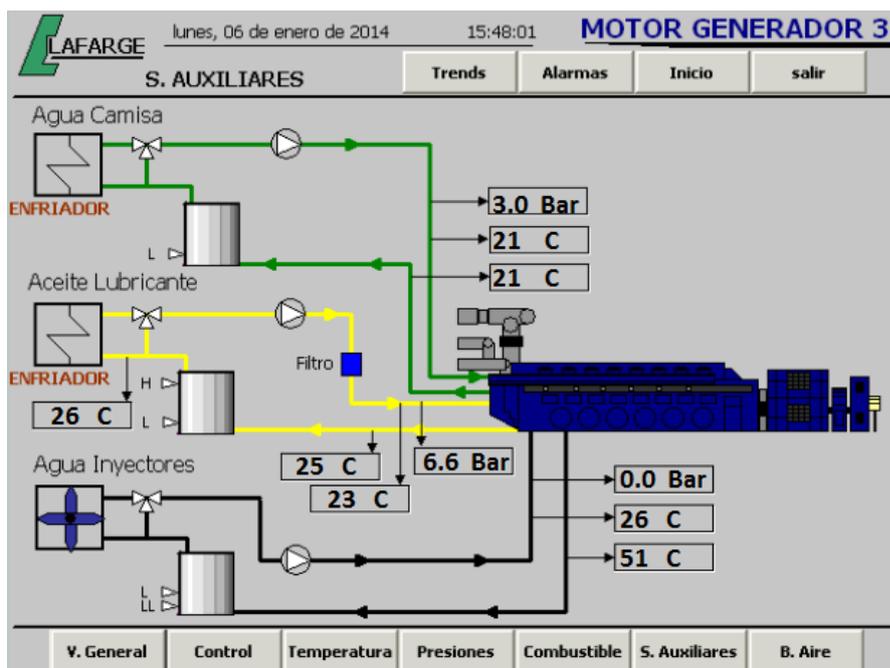


Figura. 63 Ventana de Sistemas Auxiliares

4.2.11 Bomba de aire

En la ventana de bomba de Aire hay un esquemático de las válvulas, presostatos, compresores (figura 64).

Esta pantalla muestra las siguientes presiones.

- Presión de aire.
- Presión de aire derecho.
- Presión de aire izquierdo.
- Presión de aire de emergencia.

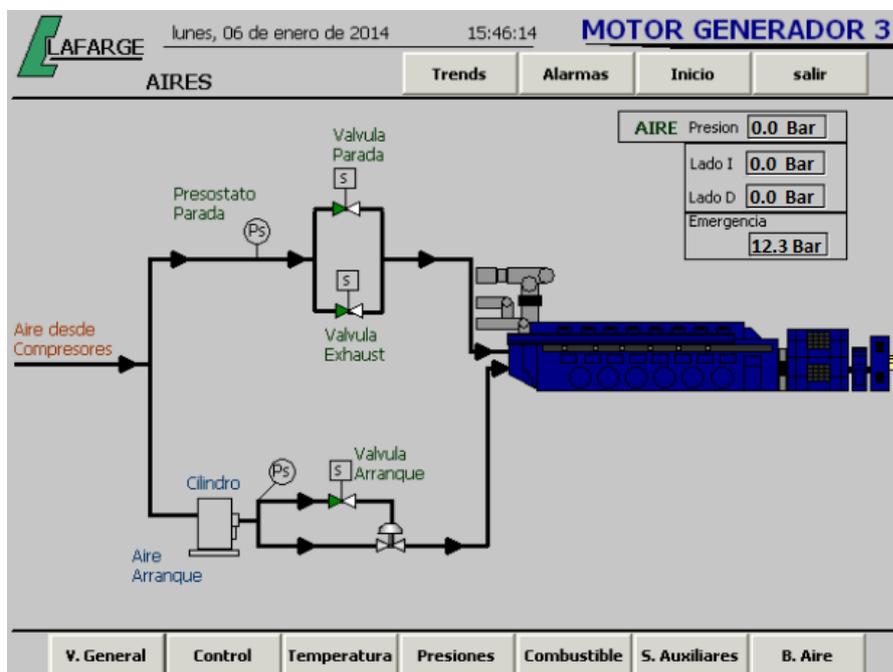


Figura. 64 Ventana de Aires

4.2.12 Trends

Los trends son las gráficas en las cuales podemos observar las tendencias de las variables que se configuraron en ella.

Para las tendencias se dividió en 3 ventanas:

- Temperaturas.

- Cilindros A
- Cilindros B
- Bancadas.
- Pcot
- Presiones.
 - Aires.
 - Motor.
 - Rpm/viscosidad.
- Voltajes MCC

4.2.12.1 Trends Voltaje MCC

En los Trends de Voltaje del MCC se podrán observar las tendencias de los voltajes entre líneas, corrientes de líneas, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y la frecuencia (figura 65).

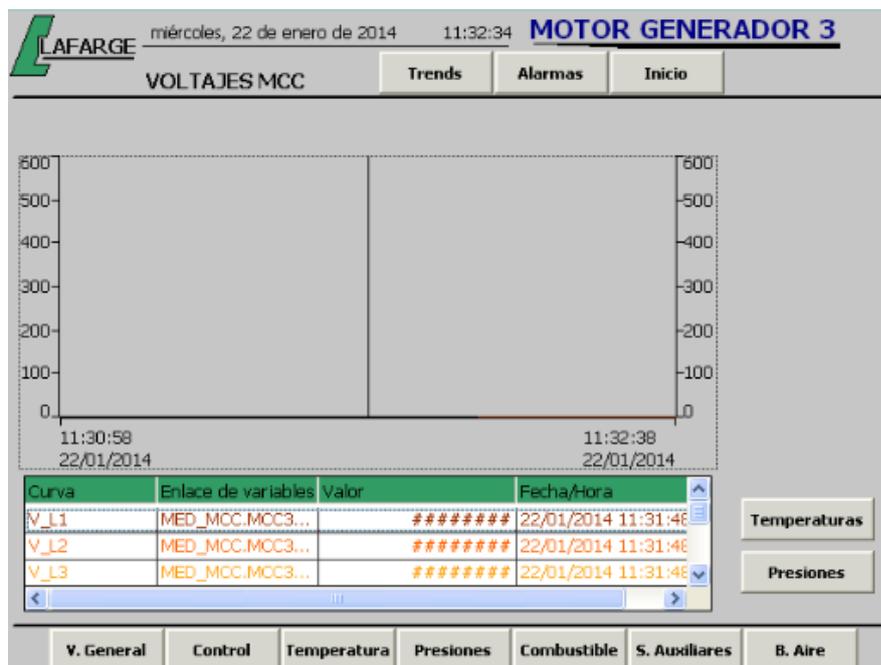


Figura. 65 Trend de Voltajes MCC

4.2.12.2.-Trends Temperaturas

En los Trends de temperaturas se observaran las tendencias de cilindros A (figura 66), cilindros B (figura 67), Pcot (figura 68) y Bancadas (figura 69), el valor actual de las variables se presentará en la tabla que está ubicada en la parte inferior del Trends.

Además tener

Cilindros A

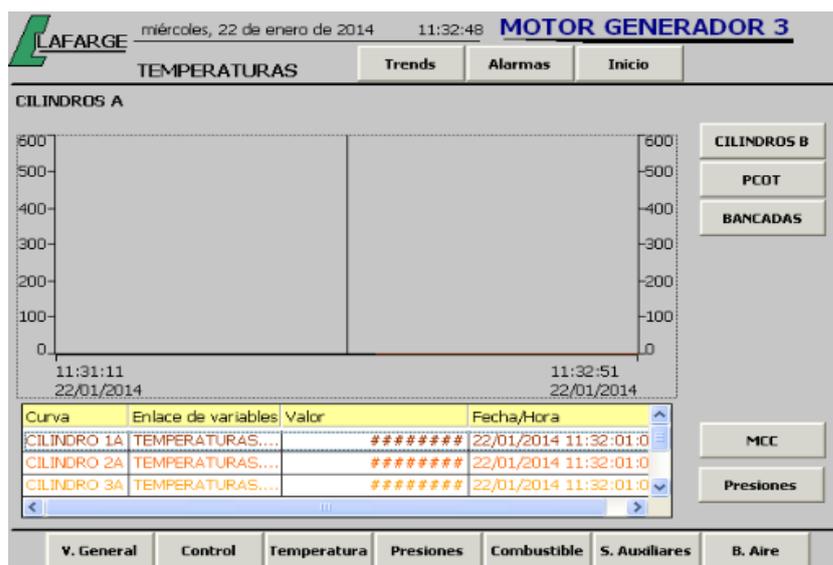


Figura. 66 Trend de Cilindros A

Cilindros B

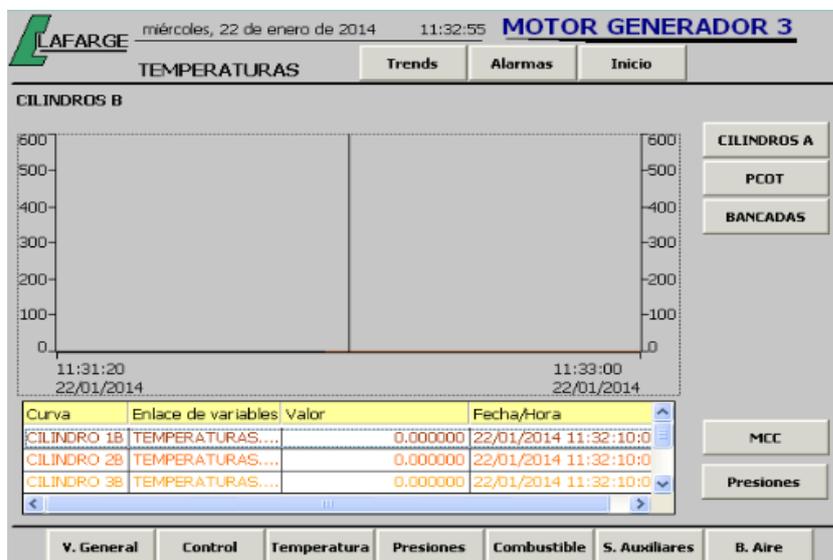


Figura. 67 Trend de Cilindros B

Pcot

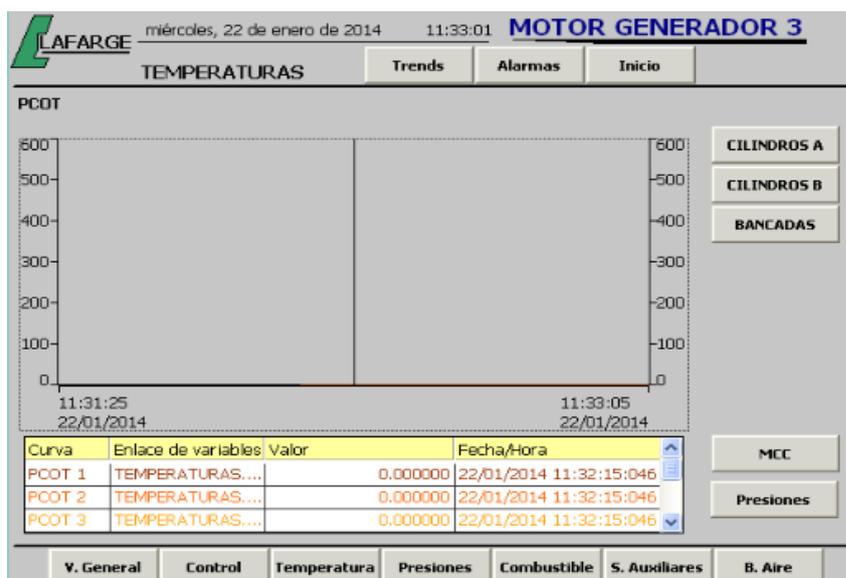


Figura. 68 Trend de Pcot

Bancadas

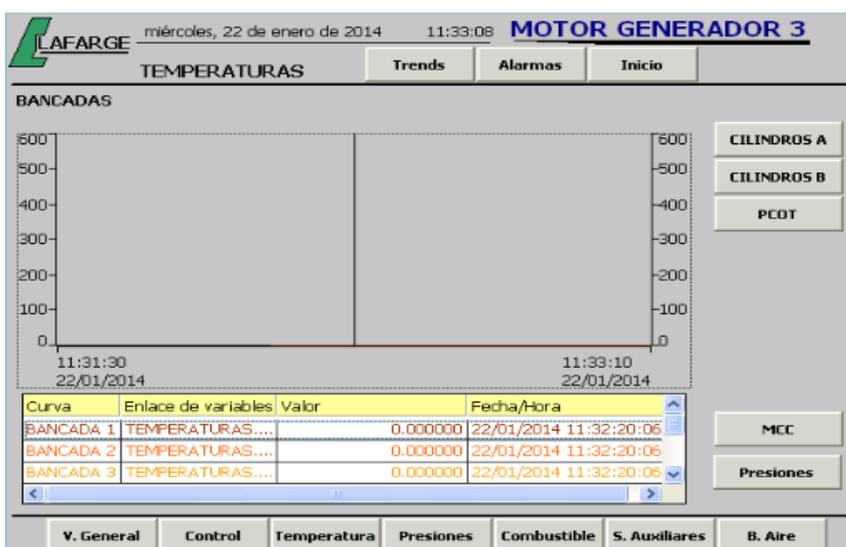


Figura. 69 Trend de Bancadas

4.2.12.3 Presiones

La ventana de presión está dividida en 3 que son las presiones que influyen en la unidad para el arranque del Motor (figura 70), presiones de aire (figura 71), la viscosidad/rpm (figura 72).

Motor

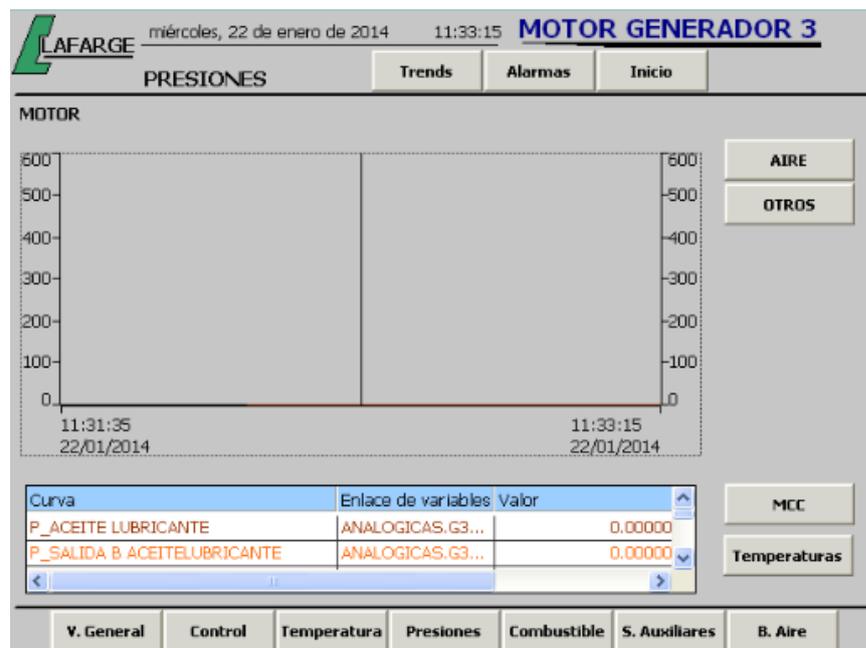


Figura. 70 Trend de Preiones de Motor

Aires

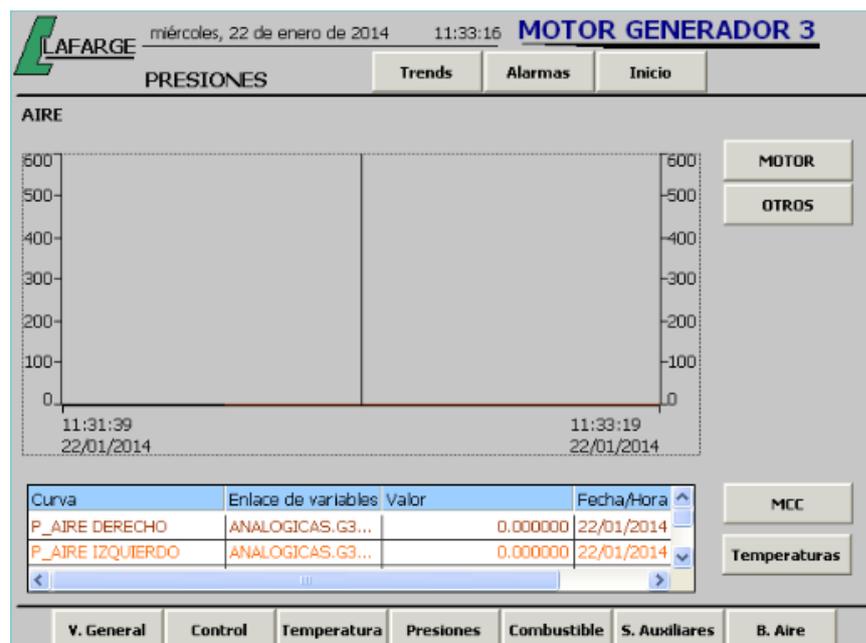


Figura. 71 Trend de presiones de Aires

Viscosidad / RPM

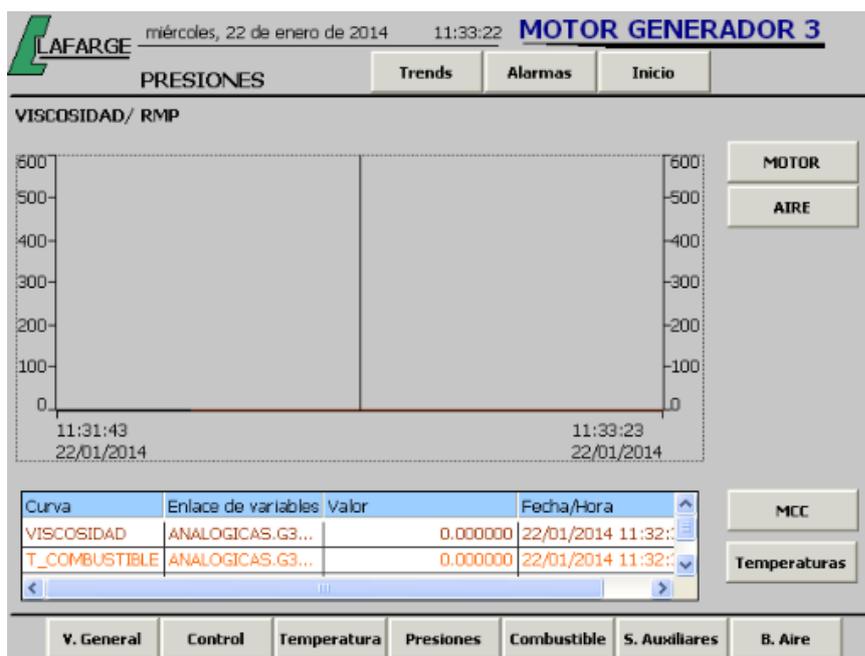


Figura. 72 Trend de presiones de viscosidad y rpm

4.2.13 Alarmas

Las alarmas son las señales o avisos que advierte sobre la proximidad de un peligro. Las alarmas siempre se presentan cuando existe alguna anomalía en el funcionamiento de la unidad 3.

Para prever alguna anomalía en el funcionamiento en la unidad 3 se creó la ventana de alarmas con el fin de dar aviso al operador, de alguna anomalía en la unidad 3 (figura 73).

Las alarmas tiene avisos en todas las ventanas, estos avisos titilaran, las alarmas se representan de dos colores:

- Amarillo ----- alarmas avisos
- Rojo ----- alarmas disparos.

En la figura 73 se muestra la pantalla de alarmas en donde se mostrará los avisos de alarma o disparos que ocurran en el motor generador. En la figura 74 se observa un ejemplo de alarma o disparo.



Figura. 73 Ventana de Alarmas

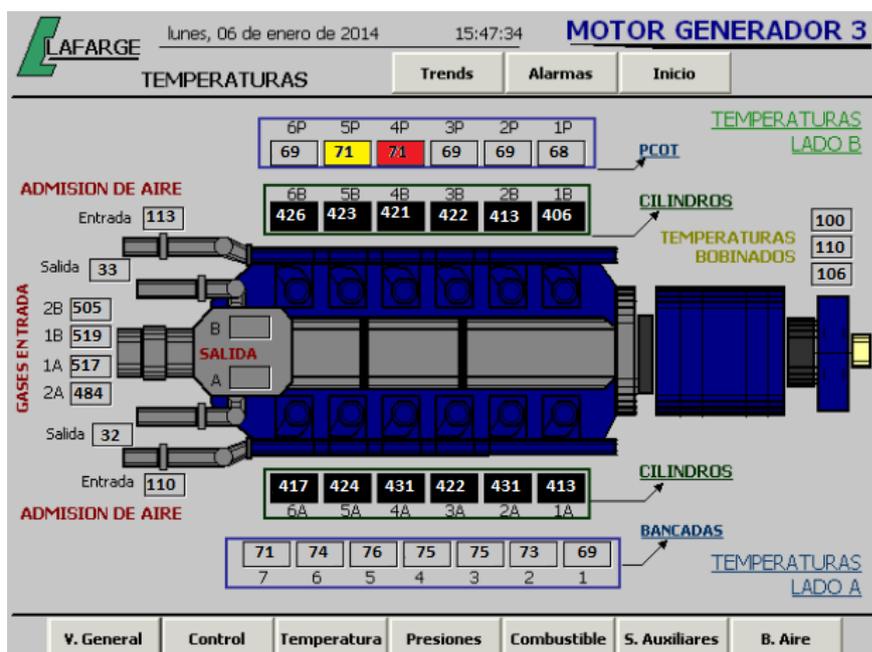


Figura. 74 Avisos de Alarmas

4.3 Diseño y desarrollo del HMI para el sistema SCADA.

Cabe recalcar que el HMI se realizará en tres monitores, esto se logró gracias a la tramera matrox para múltiples pantallas (figura 75). Se presentarán los sistemas auxiliares de la unidad en cada una de las pantallas para facilitar la supervisión de la unidad 3 (figura 76).



Figura. 75 Representación del Sistema SCADA

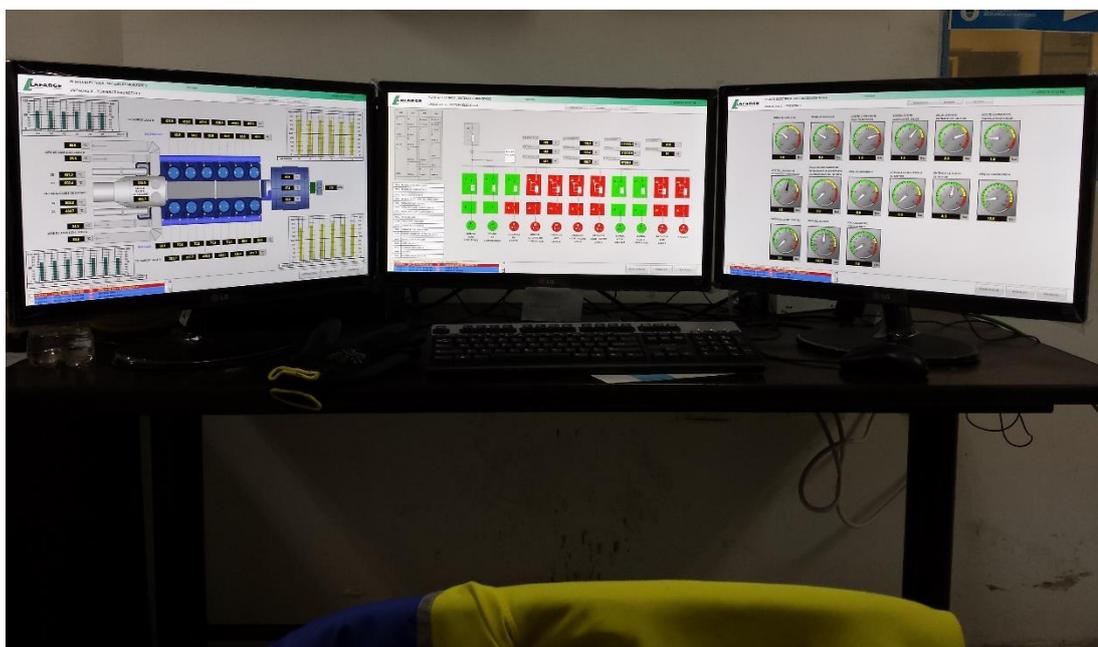


Figura. 76 Representación del Sistema SCADA

Cada una de las pantallas del proceso de generación consta de 2 menús un menú inferior y un superior, cada uno de estos menús, nos ayuda a navegar por las pantallas

del HMI, siempre y cuando tengamos los niveles de usuarios permitidos para la navegación (figura 77).

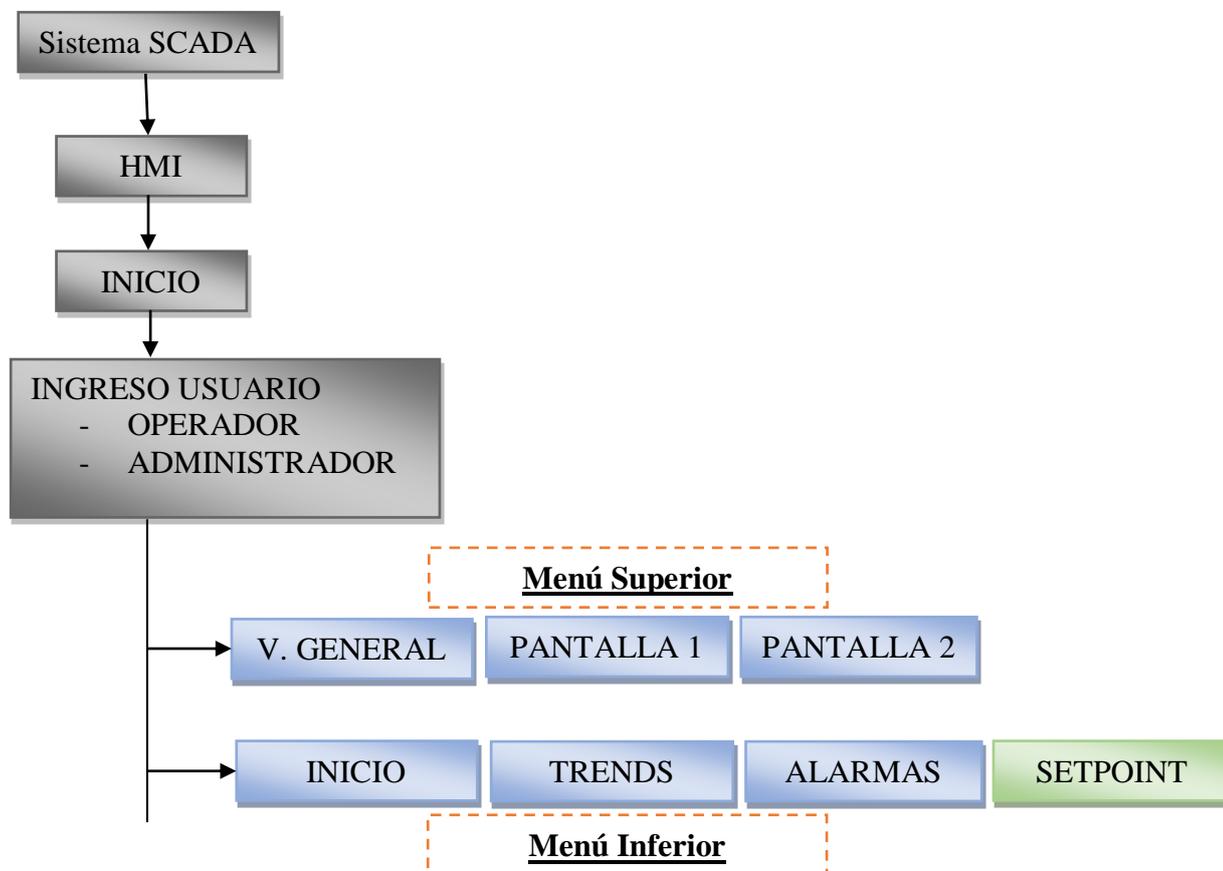


Figura. 77 Representación del Sistema SCADA

En el cuadro de navegación mostrado anteriormente el usuario Operador puede navegar por las pantallas excepto la pantalla de SETPOINT, ya que no tiene los permisos suficientes, si no tiene el nivel de acceso necesario se desplegará el siguiente aviso (figura 78).



Figura. 78 Ventana de aviso con insuficiente permisos de acceso

Para poder navegar por todas las pantallas sin ninguna restricción es obligatorio tener un nivel de usuario mayor, en este caso el usuario por defecto es Administrator, con el cual podemos navegar por todas las pantallas sin ninguna restricción.

4.3.1 Convenciones adoptadas en el sistema

Las ventanas desarrolladas para la visualización de los datos de protección y medida, proporcionan información en tiempo real del valor de las variables de los equipos y del estado de los interruptores que conforman el sistema. Para que esta información se presente de manera amigable y sea fácilmente comprensible para el operador, se usan ciertos colores y representaciones gráficas. Estas gráficas están asociadas con los datos monitoreados y con el estado de operación de los equipos.

El color rojo  Se usa para indicar los siguientes estados:

- Si existe algún disparo en el generador 3.
- Estado de niveles de tanques (muy alto o muy bajo)

El color verde  se usa para indicar lo siguiente:

- Estados de niveles de tanques (buen nivel)

El color amarillo  Se usa para identificar lo siguiente:

- Si existe alguna Alarma en el generador 3
- Estado de niveles de tanques (alto o bajo)

4.3.2 Elementos de las pantallas

El sistema SCADA al contar con 3 monitores, se dividirá en 3 pantallas en las cuales cada pantalla contara con un proceso de la Unidad 3 y todas llevaran el mismo formato (figura 79), es decir, un menú superior, menú inferior, sello de Lafarge, nombre de la

pantalla, nombre de la Unidad, nombre de usuario, hora, fecha, registro de alarmas y un indicador de alarmas.

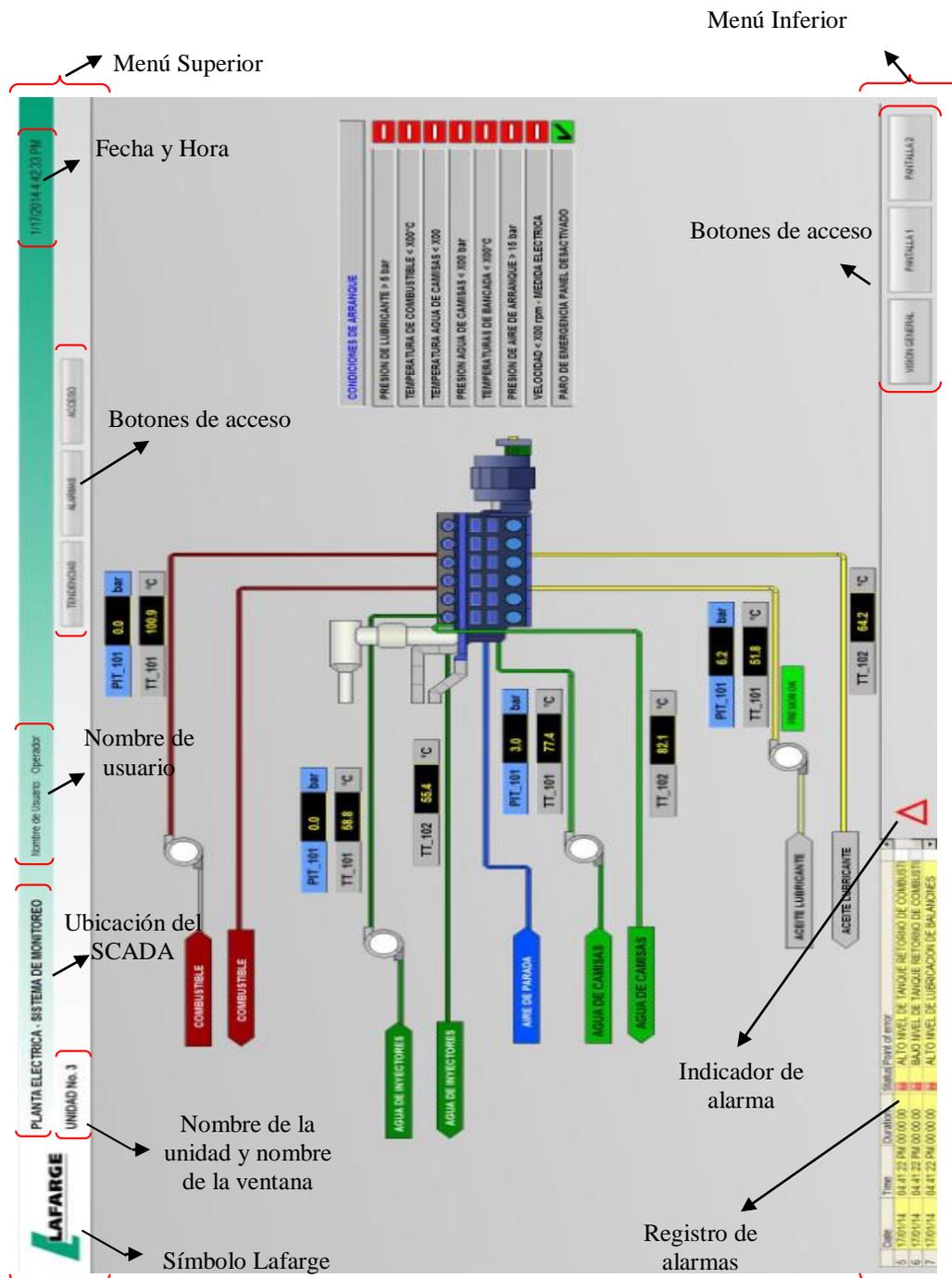


Figura. 79 Representación de menú superior e inferior

4.3.3 Navegación

Mediante los menús de navegación se puede direccionar a los diferentes procesos, alarmas, tendencias y setpoint.



Figura. 80 Menú superior

En el menú superior (figura 80), muestra el nombre de usuario, nombre de la pantalla, sello de Lafarge, fecha y la hora, además se puede navegar por las pantallas:

- Tendencias.
 - Presiones.
 - Temperaturas
 - Velocidad.
 - Viscosidad.
- Alarmas.
 - Setpoint.
- Inicio.

Date	Time	Duration	Status/Point of error
5	17/01/14	04:41:22 PM 00:00:00	ALTO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTI
6	17/01/14	04:41:22 PM 00:00:00	BAJO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTI
7	17/01/14	04:41:22 PM 00:00:00	ALTO NIVEL DE LUBRICACION DE BALANCIOS

Figura. 81 Menú Inferior

En el menú Inferior (figura 81) se ha nombrado a los Botones como Visión General, Pantalla 1 y Pantallas 2 y no con un nombre específico ya que cada uno de estas pantallas contiene 3 sistemas diferentes, en el menú inferior se puede navegar por las pantallas:

- Visión General
 - Visión General de la unidad 3
 - Sistema de suministro de combustible
 - Sistema de aceite lubricación.
- Pantalla 1
 - Sistema de aire comprimido

- Sistema de agua refrigeración.
- Sistema de gases de escape y gases de carga.
- Pantalla 2
 - Temperaturas motor 3.
 - Sistema eléctrico.
 - Presiones.

4.3.4 Inicio



Para el arranque el HMI se debe hacer clic en icono  ubicado en el escritorio de Windows, al hacer doble clic en el icono el Runtime se inicia automáticamente mostrándonos la siguiente ventana (figura 82).

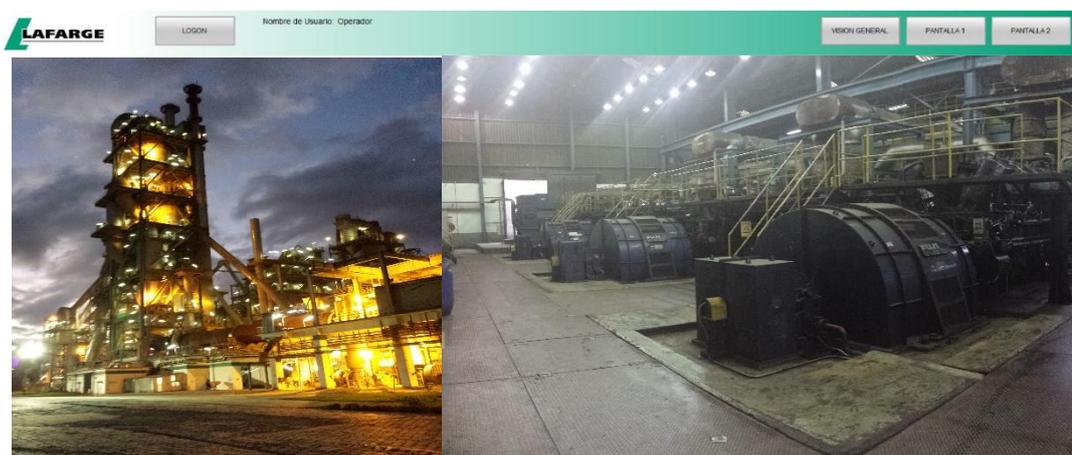


Figura. 82 Ventana de Inicio

Para tener la autorización de navegar por el menú es necesario tener un nombre de usuario y su clave, para ingresar se debe hacer clic en el botón LOGON y aparecerá una ventana para ingresar el nombre de usuario y su clave (figura 83), se ha creado 2 tipos de usuario globales con sus respectivas restricciones:

- **Operador** .- el usuario Operador tiene acceso a la mayoría de las ventanas, excepto a la ventana de los Setpoint.
- **Administrator** .- el usuario Administrator tiene acceso a todas las ventanas, además tiene la opción de entrar a los setpoint para poder modificar su valor.

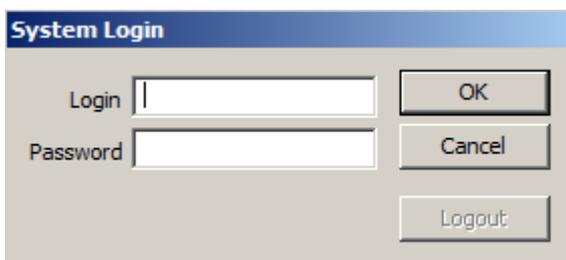


Figura. 83 Ventana para el ingreso de Usuario y clave

Si el ingreso de usuario y su clave son correctas el nombre de usuario aparecerá en la parte derecha del botón LOGON (figura 84).



Figura. 84 Nombre de usuario ingresado y habilitado

Si el nombre de usuario o su clave son incorrectas nos mostrará el siguiente error o el usuario desea ingresar sin tener ningún permiso saldrás las siguientes figuras;



Figura. 85 Error con usuario con insuficientes permisos

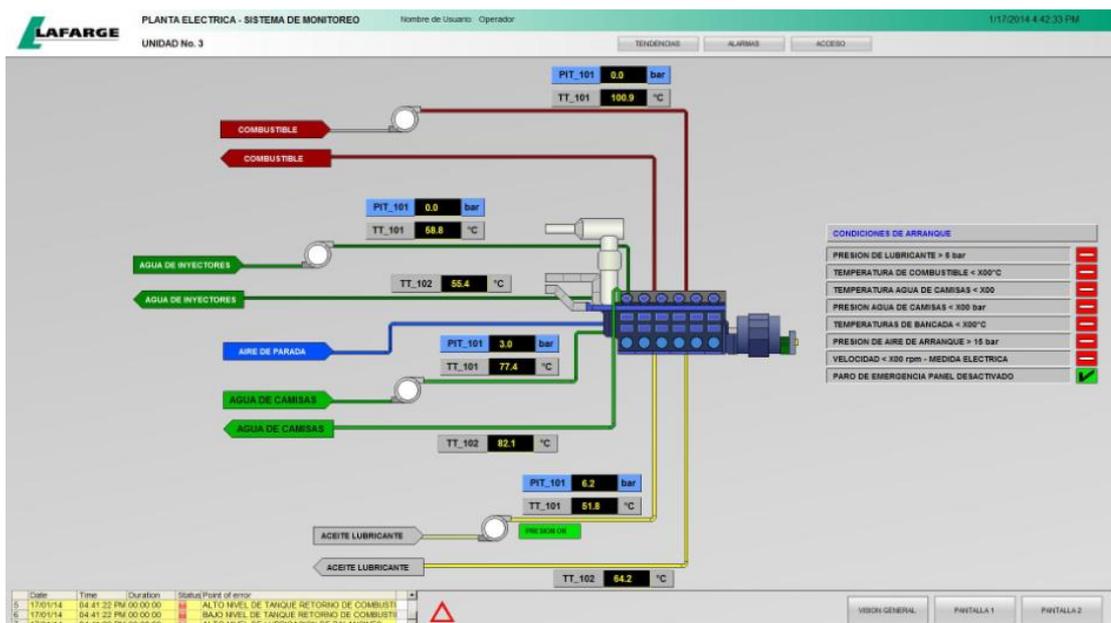


Figura. 87 Visión General

Sistema de suministro de combustible

Sistema de suministro de combustible (figura 88) nos muestra un esquema de los tanques, tanques centrifugados, tanques no centrifugados, las bombas, separador y los tanques diarios de diésel como de crudo.

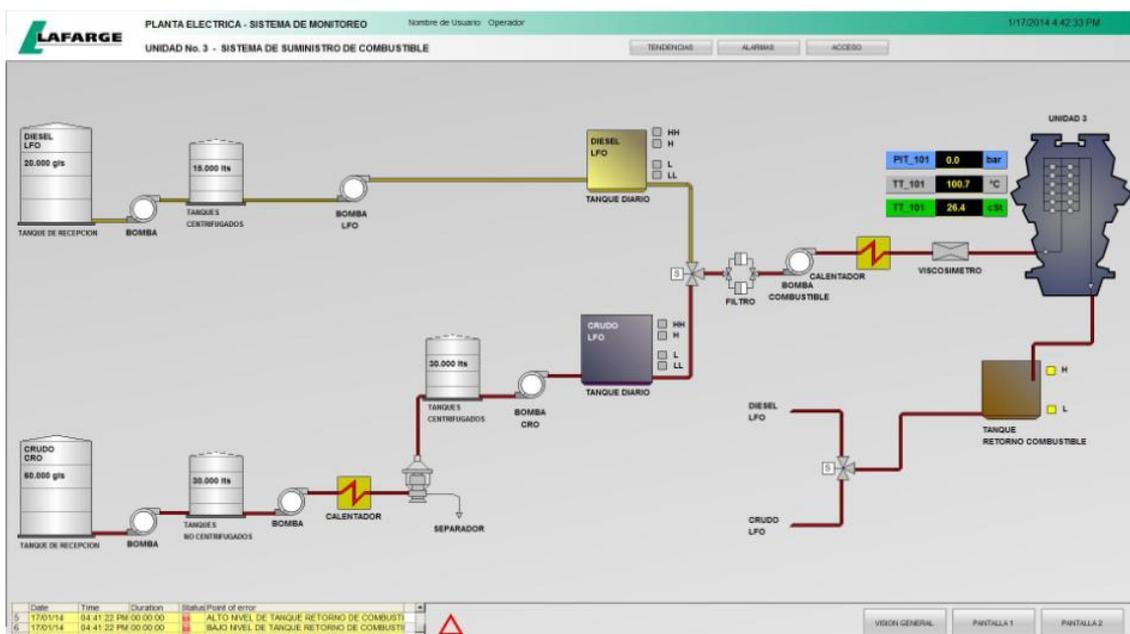


Figura. 88 Sistema de suministro de combustible

Sistema de aceite lubricante

El sistema de aceite lubricante (figura 89) muestra la presiones, temperaturas y niveles del tanque de aceite lubricante, además muestra un esquema de cómo se encuentra el sistema de aceite lubricante.

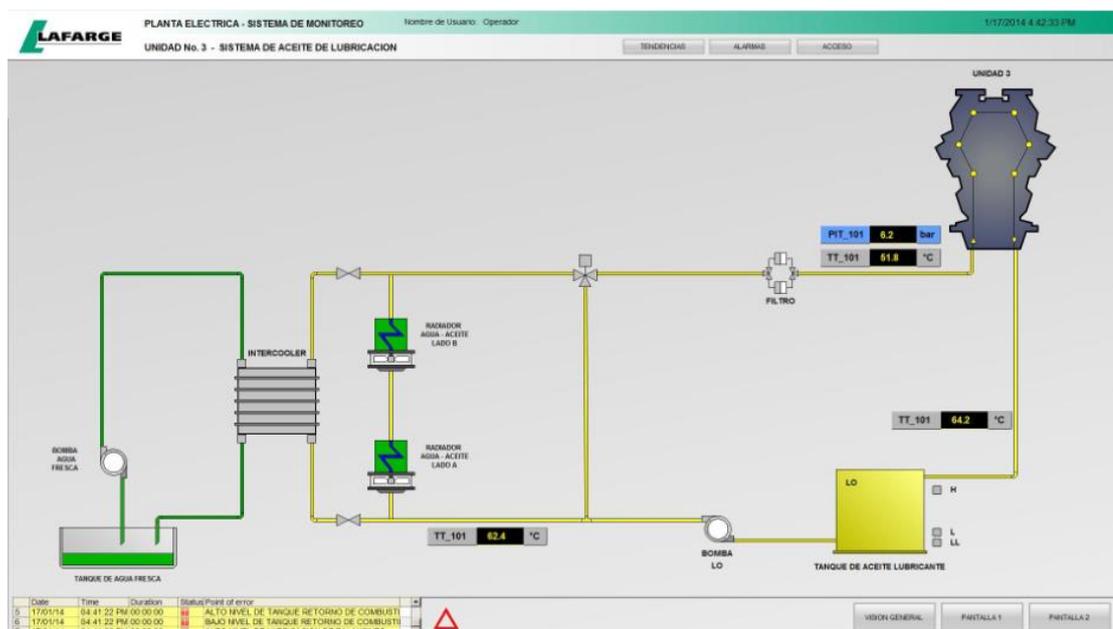


Figura. 89 Sistema de aceite lubricante

4.3.6 Pantalla 1

En el botón pantalla 1, muestra el mismo formato se encuentra dividido en 3 pantallas:

- Sistema de aire comprimido (figura 90).
- Sistema de agua refrigeración (figura 91).
- Sistema de gases de escape y gases de carga (figura 92).

Los siguiente sistemas tienen la característica que si existe alguna alarma muestra animaciones en el recuadro donde se produjo la anomalía, además muestra el indicador

de alarma en la parte inferior izquierda en forma de un triángulo de advertencia, este informativo de alarma muestra en todas las pantallas.

Sistema de aire comprimido

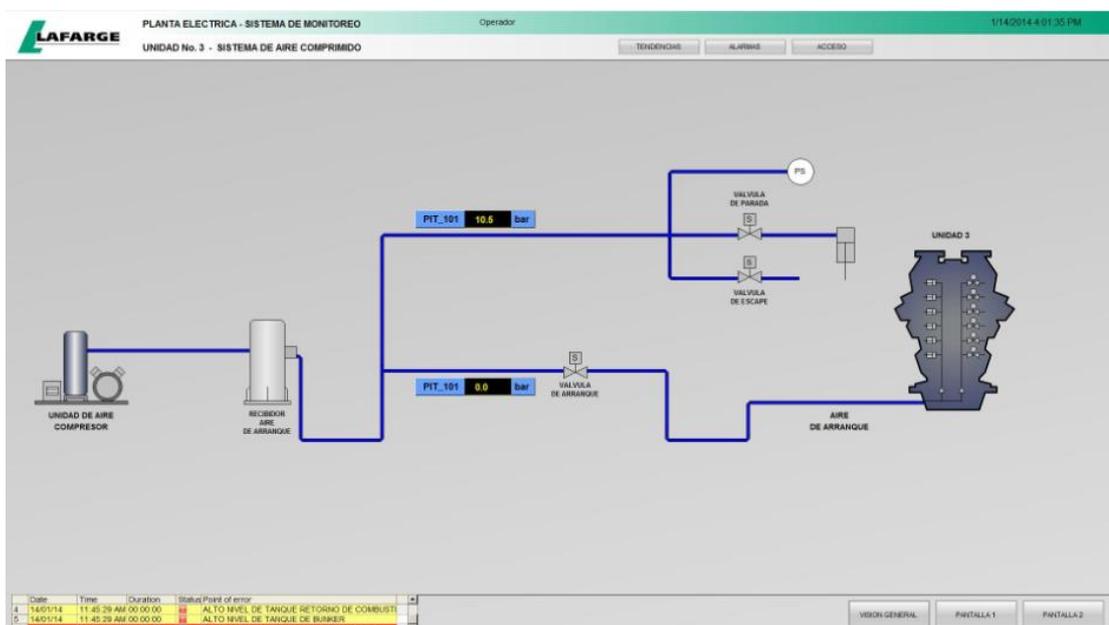


Figura. 90 Sistema de aire comprimido

Sistema de agua refrigeración

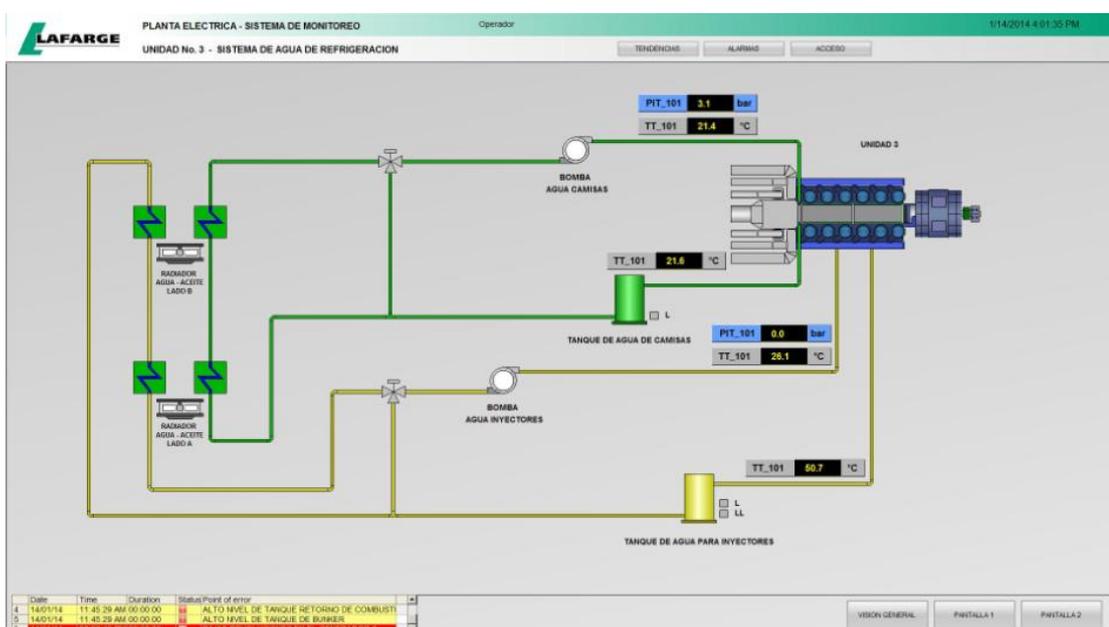


Figura. 91 Sistema de agua de refrigeración

Sistema de gases de escape y gases de carga

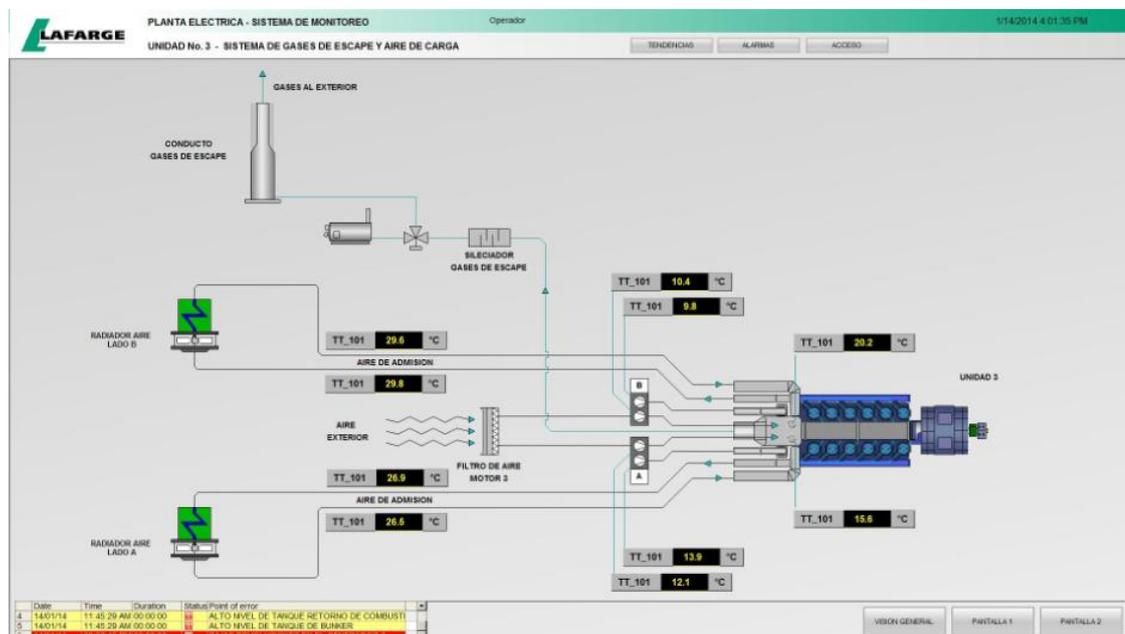


Figura. 92 Sistema de gases de escape y gases de carga

4.3.7- Pantalla 2

En la pantalla 2 se encuentra dividido en 3 pantallas:

- Temperaturas motor 3 (figura 93).
- Sistema eléctrico (figura 94).
- Presiones (figura 95).

La ventana de Pantalla2 muestra temperaturas, sistema eléctrico y presiones esta pantalla vendría a ser la ventana más importante ya que muestra la mayoría de las variables del proceso, además indica si existe alarmas o disparos en la parte inferior izquierda y por animación (figura 102).

Otro punto que vale recalcar en esta pantallas es que tiene ayuda grafica para observar las variables de temperaturas y presiones.

Temperaturas unidad 3

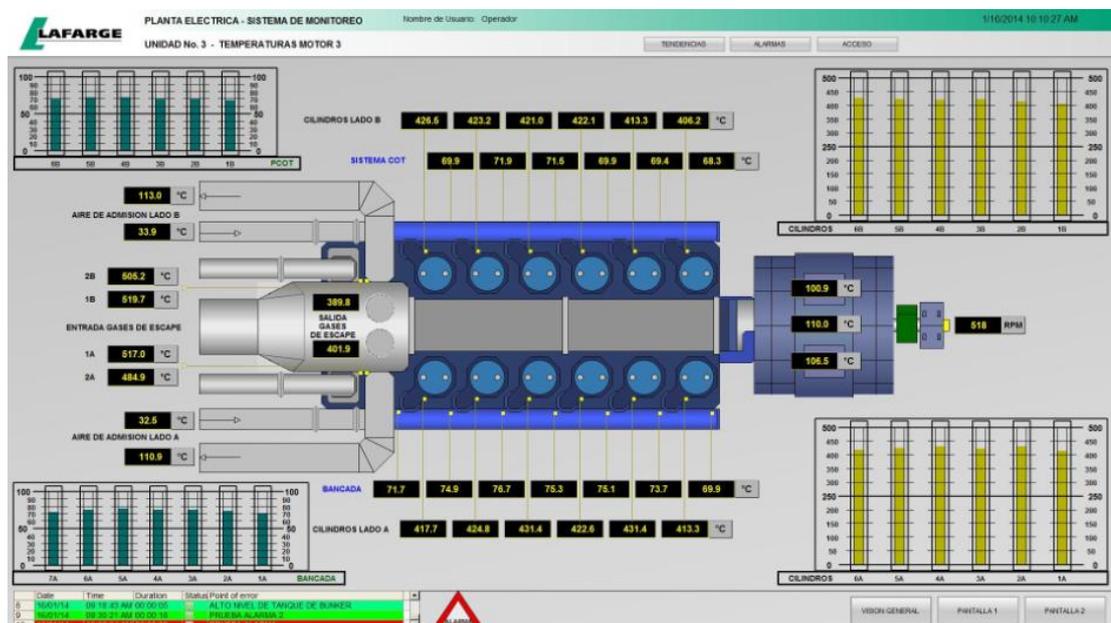


Figura. 93 Temperaturas del motor

Sistema eléctrico

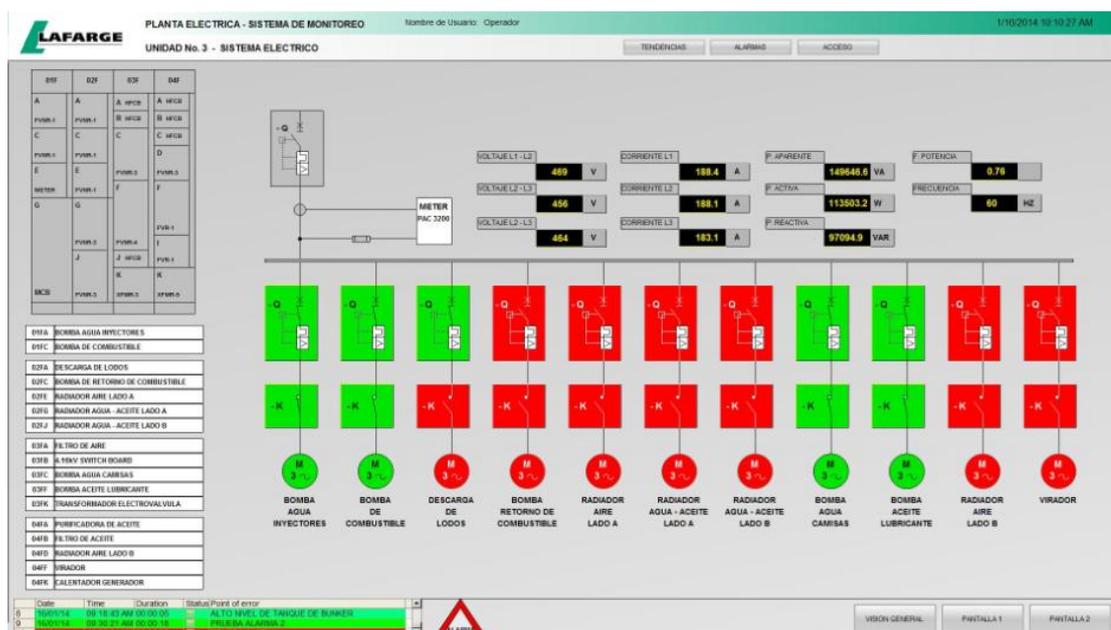


Figura. 94 Sistema Eléctrico

Presiones



Figura. 95 Pantalla de presiones

4.3.8 Tendencias

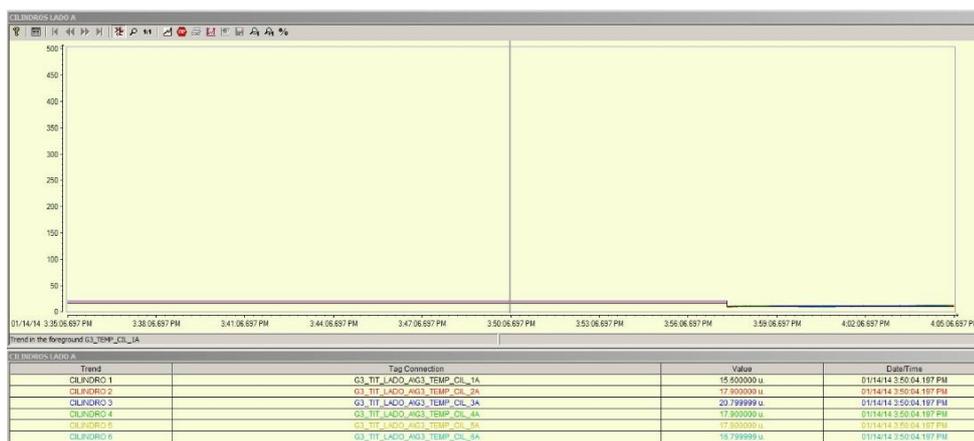


Figura. 96 Pantalla de tendencias



.- Ayuda



. – Configuraciones se recomienda que solo el programador utilice esta opcion.



.- Adelantar y Retroceder el area del medicion, esta opcion se habilita cuando se presiona el boton de Stop.



.- Tablas, ubica las tablas de medidas en la parte de inferior del trends.



.- zoom aplia una parte seleccionada



.- vuelve al zoom normal



.- seleccionar trends permite habilitar o deshabilitar trends



.- stop y start del trends



.- Imprimir



.-



.- hace un zoom por -1



.- hacer un zoom por +1



.- los valores se hacen porcentaje

En la ventana de tendencias (figura 96) se dividió en:

- Pantalla de temperaturas lado A
- Pantalla de temperaturas lado B
- Pantalla de presiones

Cada una de estas pantallas tiene un radio-box (figura 97) para seleccionar las tendencias que se necesiten ser observadas en el trends.

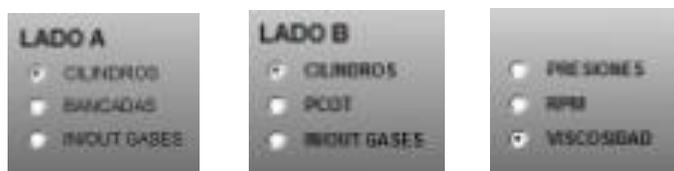


Figura. 97 Radio-Box de la pantalla de tendencias

4.3.9 Alarmas

Las alarmas son las señales o avisos que advierte sobre la proximidad de un peligro. Las alarmas siempre se presentan cuando existe alguna anomalía en el funcionamiento de la unidad 3.

Para prever alguna anomalía en el funcionamiento de la unidad 3 se creó la ventana de alarmas (figura 98) con el fin de dar avisos al operador, de alguna anomalía en la unidad 3.

Date	Time	Status	Duration	Message text	Point of error	ALAEVE-GRS
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	PRESION ACEITE LUBRICANTE	DISPARO
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	SECAUSO MECANICO DEL MOTOR	DISPARO
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	ENGARNE ROTA	DISPARO
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	ALTO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTIBLE	ALARMA
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	BAJO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTIBLE	ALARMA
01/14	04:41:22 PM	■	00:00:00	GENERADOR 3	ALTO NIVEL DE LUBRICADOR DE BALANCONES	ALARMA

Figura. 98 Ventana de alarmas

En la ventana de alarmas se tendrá 3 colores:

- Azul.- Eventos
- Amarillo .- Alarmas avisos
- Rojo .- Alarmas disparo

En todas las pantallas del sistema SCADA mostrara un indicador en la parte del menú inferior junto al registro de alarmas (figura 99).

	Date	Time	Duration	Status	Point of error
5	17/01/14	04:41:22 PM	00:00:00		ALTO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTI
6	17/01/14	04:41:22 PM	00:00:00		BAJO NIVEL DE TANQUE RETORNO DE COMBUSTI
7	17/01/14	04:41:22 PM	00:00:00		ALTO NIVEL DE LUBRICACION DE BALANCINES

Figura. 99 Indicador de alarma

Quando aparezca el indicador de alarma, tenemos que dirigirnos a la ventana de alarmas a reconocerlas, con el botón reconocer (figura 100).

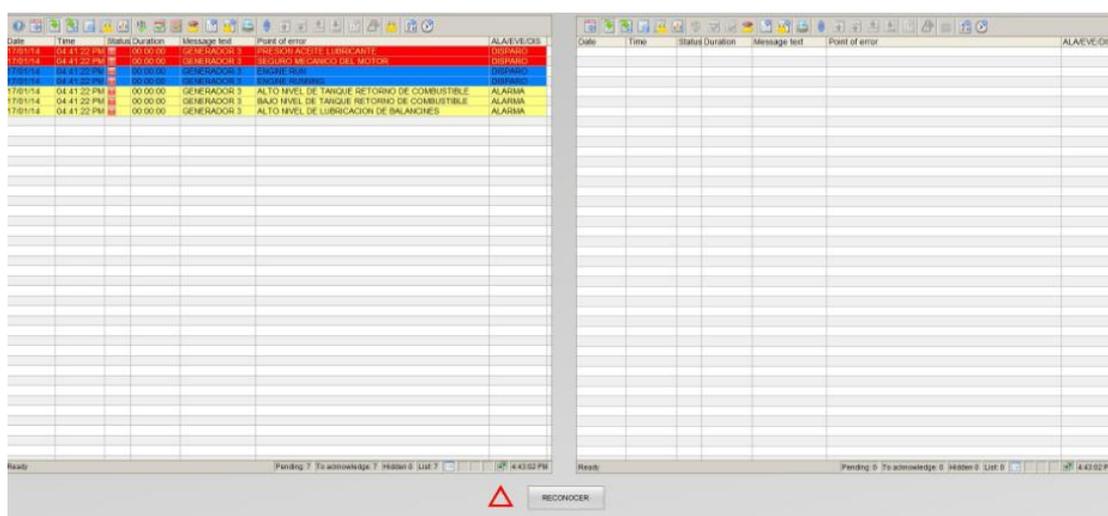


Figura. 100 Botón Reconocer ventana de alarmas

Quando presionemos el botón reconocer el indicador de alarma desaparecerá (figura 101), este proceso servirá para que el operador este forzado a ver la pantalla de alarmas.

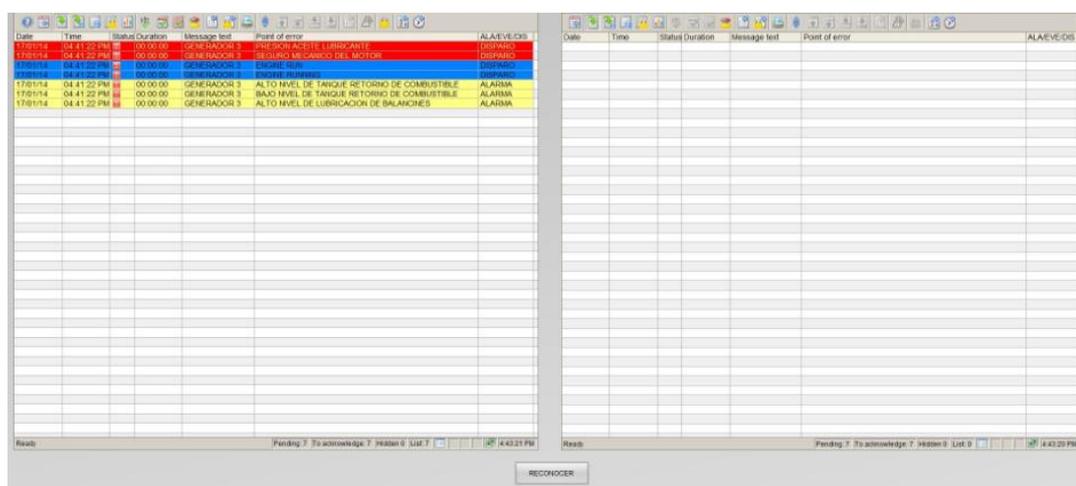


Figura. 101 Indicador de alarmas

Como indican las Figuras anteriores para que una alarma sea reconocida debemos utilizar el botón reconocer para que desaparezca el indicador de alarma.

Existen también otros tipos de indicadores cuando existe alguna alarma avisos (figura 103) o alarma disparo (figura 102), por ejemplo cuando existe una elevada temperatura en alguno cilindro de la unidad 3.

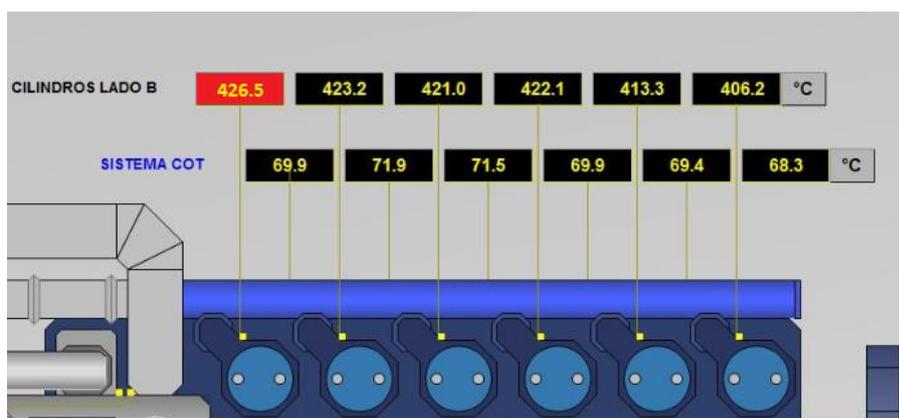


Figura. 102 Indicador de Alarma con disparo

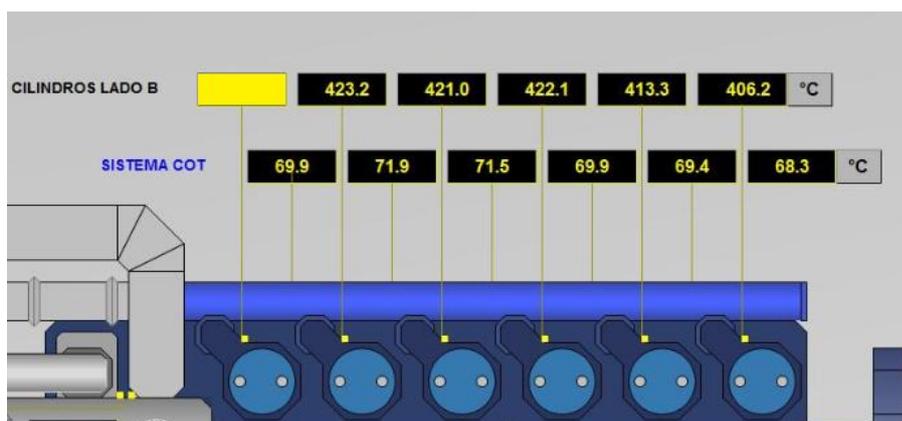


Figura. 103 Indicador de alarma aviso.

Como muestra las Figuras anteriores cuando se presentan los indicadores tanto para las alarmas con disparos como para las alarmas con avisos, este color parpadea hasta que la temperatura en este caso se restablezca dentro de los límites.

Al igual que la temperatura también se muestran en los niveles de los tanques (figura 104):

- HH rojo

- H amarillo
- L amarillo
- LL rojo



Figura. 104 Indicador de alarmas, disparos y avisos para los niveles

4.3.10 Setpoint

La ventana de setpoint (figura 105) tiene una características de protección ya que el usuario operador no podrá ingresar a la ventana de setpoint, para poder ingresar necesitas un nivel alto de acceso por lo cual solo el usuario Administrator podrá ingresar.



Figura. 105 Ventana de Setpoint

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

5.1 Generalidades.

La implementación del sistema de supervisión, control y protección de la unidad 3 existen dos formas de poner en marcha el motor generador, encendido automático que consiste una secuencia de encendido de las bombas principales, mientras que el encendido manual es directamente desde el MCC.

En el tablero eléctrico se instalarán selectores, pulsadores, luces indicadoras para el encendido semiautomático, las cuales ayudaran para seleccionar distintos métodos de funcionamiento, dar inicio o detener el motor generador e indicar el proceso o la etapa en la que se encuentra la unidad 3.

En el mismo tablero se dispondrán avisos ya sean mediante sonido o visual para advertir al operador de alguna anomalía de funcionamiento de la unidad 3.

Al momento de la implementación hay que tomar en cuenta que los software de programación sean compatibles con el PLC y los sistemas de HMI, la compatibilidad debe estar entre la versión del software STEP 7 con el PLC y Wincc Flex con la versión de la terminal de operador, mientras que en el sistemas SCADA la compatibilidad es entre el software Wincc con el sistemas operativo de Windows 2008.

Por lo tanto para tener todas las versiones del software (STEP 7, Wincc Flex y Wincc) compatibles con el PLC, terminal de operador y el PC existen actualizaciones que se realizan por medio del software (Wincc Flex) para la terminal de operador, mientras que para el software (Wincc) de la PC existen matriz de compatibilidad.

5.2 Selección de componentes.

5.2.1 Especificaciones

De acuerdo a la distribución de los equipos y las señales provenientes de la unidad 3, se utilizará un solo controlador lógico programable, con él lograremos controlar, proteger y supervisar la unidad 3.

Además, en el tablero de control se instaló una terminal de operador, la cual está transmitiendo datos y receptando datos mediante el protocolo Profinet, también se instaló una interface de HMI en la sala de control que constará con 3 pantallas con una resolución 1600 x 900 cada una de ellas, de igual manera esta se comunicara con el PLC mediante el protocolo Ethernet industrial, hacer referencia en la figura 106.

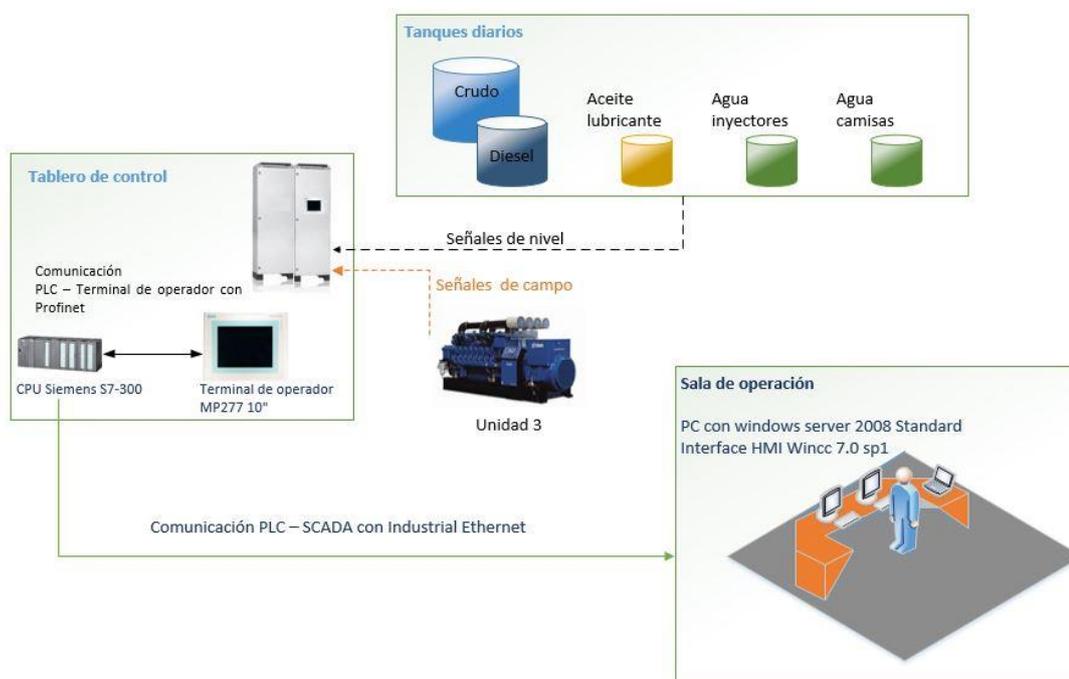


Figura. 106 Diagrama del sistema de control y comunicaciones

Para la selección del controlador lógico programable se debe tomar en cuenta el número de entradas y salidas digitales como analógicas que maneja el controlador

lógico programable en el sistema de control mencionado anteriormente, el controlador manejará lo que es comunicación Master – Slave para la transmisión de datos.

Tabla. 7

Cantidad de señales para el sistema de protección

Ubicacion	Señales	Cantidad
Tablero de control Unidad 3	Entradas analógicas de 4 - 20 ma	3
	Entradas analógicas con configuración a RTD PT100	8
	Entradas analógicas con configuración a termocupla	5
	Entradas digitales	4
	Salidas digitales	3

De allí el controlador lógico programable debe poseer altas prestaciones para manipular las señales de la unidad 3, así como las comunicaciones con los mismos y con el HMI (terminal de operador y sistema SCADA).

El controlador lógico programable debe tener la característica de ser modular, para colocar los distintos módulos de entradas y salidas ya sean discretas o analógicas.

En cuanto a las redes de datos deben tener un gran desempeño con el fin de manipular todos los datos de forma rápida y segura. Además, deben ser de tipo industrial ya que el entorno en el que van a ser colocadas así lo amerita.

5.2.2 Selección de componentes.

Antes de dimensionar y seleccionar los elementos dentro del tablero de hay que tomar en cuenta ciertas especificaciones.

- La válvula de cambio de combustible es alimentada a 220 Vac.
- Los elementos de control y los circuitos de control electromecánicos correspondientes se alimentan a 24 Vdc.

Para los controladores lógicos programables de acuerdo a las especificaciones anteriormente mencionadas se procederá a utilizar un controlador lógico programable

de marca Siemens ya que es una marca corporativa, el modelo a utilizar será S7-300 ya que es modular para el control y supervisión de la unidad 3.

El controlador lógico programable S7-300 proporciona una solución adecuada para todas las necesidades del sistema mediante una amplia gama de productos de control compatibles y de altas prestaciones. Su arquitectura es modular, por lo que puede configurarse para satisfacer los máximos requisitos de prestaciones del sistema.

- El S7-300 de Siemens es el autómeta de gama media, basada en el sistema modular para la configuración de hardware.
- Posee un amplio abanico de módulos I/O para una adaptación óptima a la tarea de automatización que se desee realizar.
- De aplicación flexible gracias a la posibilidad de realizar fácilmente estructuras descentralizadas y a la versátil conectividad a distintas redes de comunicación.

Tabla. 8
Características y datos técnicos del controlador

Datos técnicos	
Memoria	
Memoria de trabajo	
• Integrada	128 KB
• Ampliable	No
Memoria de carga	
Insertable mediante Micro Memory Card (máx. 8 MB)	
Conservación de datos en la Micro Memory Card (tras la última programación)	
Mínimo 10 años	
Respaldo	
Garantizado por la Micro Memory Card (libre de mantenimiento)	
Configuración	
Bastidores	máx. 4
Módulos por cada bastidor	8
Estado/forzado variables	
• Variable	Entradas, salidas, marcas, DB, temporizadores, contadores
• Cantidad de variables	30
– De ellas, estado de variables	30
– De ellas, forzado de variables	14
Forzado permanente	

Continúa →

• Variable	Entradas / salidas
• Cantidad de variables	máx. 10
Datos técnicos	
Funciones de comunicación	
Comunicación PG/OP	Sí
Comunicación de datos globales	Sí
• Cantidad de círculos GD	8
• Cantidad de paquetes GD	máx. 8
– Emisor	máx. 8
– Receptor	máx. 8
Comunicación básica S7	Sí
• Como servidor	Sí
• Como cliente	Sí (a través de CP y FB cargables)
Funcionalidad	
• MPI	Sí
• PROFIBUS DP	No
• Acoplamiento punto a punto	No
MPI	
Servicios	
• Comunicación PG/OP	Sí
• Routing	Sí
• Comunicación de datos globales	Sí
• Comunicación básica S7	Sí
• Comunicación S7	Sí
– Como servidor	Sí
– Como cliente	no (pero vía CP y FBs cargables)
• Velocidades de transferencia	187,5 Kbit/s
Tipo de interfaz	Interfaz RS 485 integrada
Física	RS 485
Programación	
Lenguaje de programación	KOP/FUP/AWL
Dimensiones	
Dimensiones de montaje A x A x P (mm)	40 x 125 x 130
Peso	290 g
Tensiones, intensidades	
Tensión de alimentación (valor nominal)	24 V c.c.
• Rango admisible	20,4 V a 28,8 V
Consumo de corriente (en marcha en vacío)	60 mA
Intensidad al conectar	2,5 A
Consumo de corriente (valor nominal)	0,8 A
Protección externa para líneas de alimentación (recomendación)	Mín. 2 A
Potencia disipada	2,5 W

Fuente: (Siemens, Manual del producto S7-300, 2008)

Los módulos para entradas analógicas serán para las señales de presión, temperatura y viscosidad, por lo cual se considerara al siguiente módulo SM331 (figura 107).

El módulo nos permite configurar los canales ya sean para entradas analógicas de corriente, voltaje y resistencia. El número y tipo de entradas requeridas para controlar la unidad, son de 3 tipos:

- Entradas análogas de 4-20mA, para lectura de presiones.
- Entradas análogas tipo RTD (PT100) para lectura de temperaturas.
- Entradas análogas tipo termocupla tipo K para lectura de variables de temperatura.

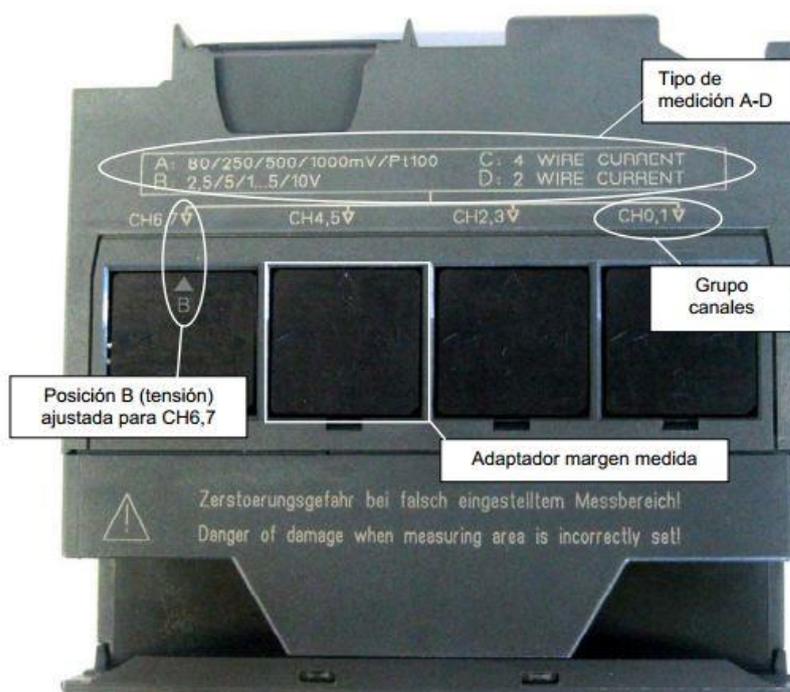


Figura. 107 Adaptadores de margen de medida ajustados de fábrica en B
Fuente: (Siemens, Manual del producto S7-300, 2008)

La configuración que se utilizó para el módulo SM331 es para las termocuplas y PT100 (posición A en todos los canales) y para las entradas de 4 -20mA (posición D en todos los canales). Mientras que para las entradas y salidas digitales se utilizó los módulos SM321 y SM322 respectivamente.

Con respecto a la comunicación del PLC CPU 315-2 DP (6ES7 315-2AG10-0AB0) será el master de comunicación Profibus, mientras que los módulos de comunicación de periferia descentralizada ET200M IM 153-1 (6ES7 153-1AA03-0XB0) se constituirán como esclavos de la CPU.

El módulo CP 343-1 Lean (6GK7 343-1CX10-0EX0) soporta comunicación Profinet como industrial Ethernet, este módulo nos ayudará para la comunicación con la HMI (Wincc V5.5) y con la terminal de operador MP 277 10”.

La terminal tiene las características de ser táctil (touch screen) y se puede programar varias pantallas con elementos gráficos de diferentes tipos, además que se caracteriza por tener un alto rendimiento y una alta frecuencia de refresco.

5.3 Implementación del sistema eléctrico.

5.3.1 Descripción General

Se consideró un tablero de 2 cuerpos, el mismo que contiene los elementos y equipos necesarios tanto para control, protección y señalización de la respectiva unidad de generación (figura 108).



Figura. 108 Vista exterior e interior del Tablero de Control Unidad 3

5.3.2 Equipos de control y señalización

Como se puede apreciar en la Figura 108, el tablero cuenta con equipos y elementos de mando y señalización que facilitarán tanto el control así como el monitoreo de variables importantes involucradas con el funcionamiento de la unidad.

Sistema de control (PLC y relés auxiliares)

El sistema de control del motor de la unidad comprende una parte electromecánica (relés auxiliares) y una electrónica (PLC) (figura 109).

Para el caso, el sistema electromecánico está encargado de las tareas de pre-lubricación, arranque y paro (normal o de emergencia) del motor, protección redundante (presóstatos) y el PLC del monitoreo de variables del sistema, como presiones y temperaturas, control y generación de alarmas y disparos del motor, controles complementarios de la unidad así como de la comunicación correspondiente tanto al sistema HMI como del terminal de operador (TS1).

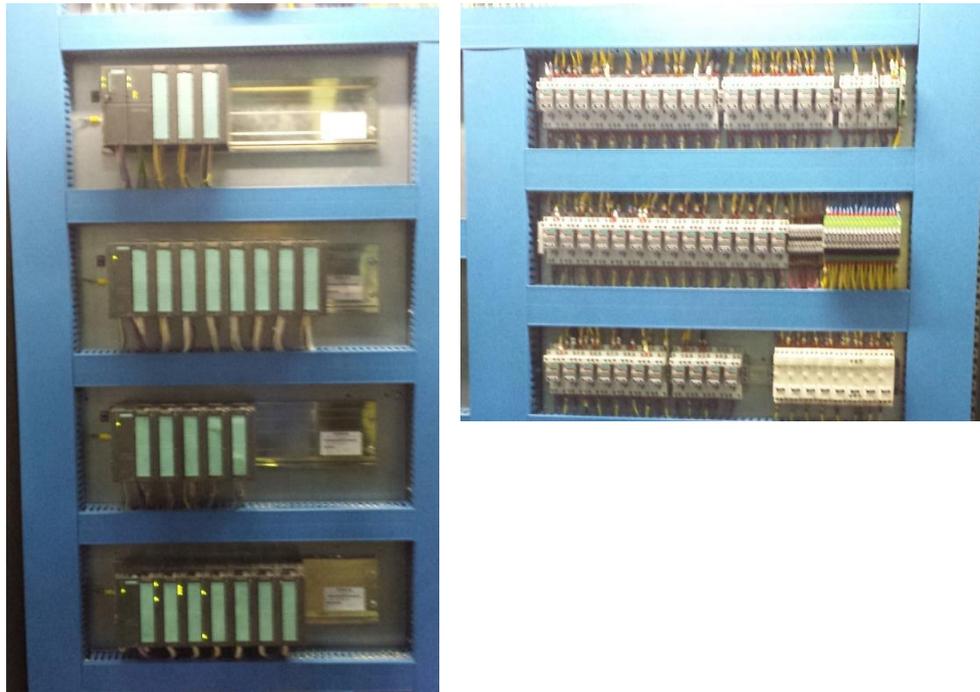


Figura. 109 PLC (Control electrónico) y Relés (Control Electromecánico)

A pesar de que el PLC monitorea las variables claves para el funcionamiento del sistema, y en caso de falla leve o grave, realiza tareas de protección para el motor, se tiene un sistema de control redundante que lo conforman presóstatos ubicados en la parte posterior del tablero de control así como externos al tablero de control que conformaban parte del control antiguo de la unidad.

Panel de mando y monitoreo

Los mandos se realizan desde el tablero de control, el mismo cuenta con selectores y pulsantes destinados a funciones específicas (figura 110).

La visualización de magnitudes de las variables del sistema, se dispone de un terminal de operador (figura 110), el cual despliega a través de distintas pantallas, los procesos que componen la unidad de generación, así como de históricos de las variables y ver de esta manera, su comportamiento en el transcurso del tiempo.



Figura. 110 Panel de mando y monitoreo (TS1)

5.3.3 Equipos de protección

El tablero de control cuenta con elementos de protección para los equipos que integran el mismo. Se han dispuesto de un supresor de transientes, breakers y portafusibles para el caso (figura 111).

Además de ello, el tablero está sólidamente aterrizado (figura 112), garantizando la protección tanto personal como de los equipos que integran el mismo.

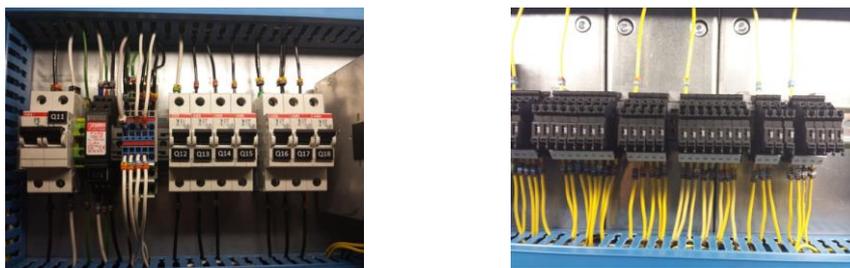


Figura. 111 Equipos de protección: breakers y portafusibles



Figura. 112 Barra de Tierras

5.3.4 Niveles de voltaje de alimentación

Para poner en funcionamiento los distintos sistemas que integran el tablero de control de la unidad se ha dispuesto de los siguientes voltajes de operación:

Corriente Alterna: 440 VAC, 220 VAC y 120 VAC.

Corriente Continua: 120 VCC y 24 VCC

Voltaje 440 VAC

Este voltaje se lo lleva hacia el tablero desde el MCC correspondiente a la unidad. El mismo a través de un transformador de control (T1) se lo reduce a 120 VAC, que es el utilizado tanto para alimentación de equipos así como circuitos de control que requieran dicho voltaje.

Voltaje 220 VAC

Este voltaje se lo lleva hacia el tablero desde el MCC correspondiente a la unidad. El mismo se lo utiliza para el control de la electroválvula de cambio de combustible, electroválvula de combinado y electroválvula de diesel de tanque diario.

Voltaje 120 VAC

Este voltaje resulta como anteriormente se mencionó, de la reducción de la alimentación de 440 VAC.

Este se lo utiliza para la alimentación de equipos de control así como de sistemas auxiliares del tablero (ventilación e iluminación).

Voltaje 120 VCC

Este voltaje se lo lleva hacia el tablero desde el tablero de banco de baterías ubicado en el cuarto eléctrico de la planta eléctrica. El mismo luego se lo reduce a 24 VCC.

Voltaje 24 VCC

El voltaje de 120 VCC se lo reduce a 24 VCC a través de una fuente de alimentación (PS1).

Este voltaje es utilizado para la alimentación de equipos de control, así como de los circuitos de control electromecánicos correspondientes.

5.3.5 Presostatos internos tablero de control

Como se indicó anteriormente, los presóstatos instalados en el tablero de control así como los externos al tablero, realizan un control de protección redundante sobre la máquina y generarán una alarma así como un disparo de ser el caso (figura 113).

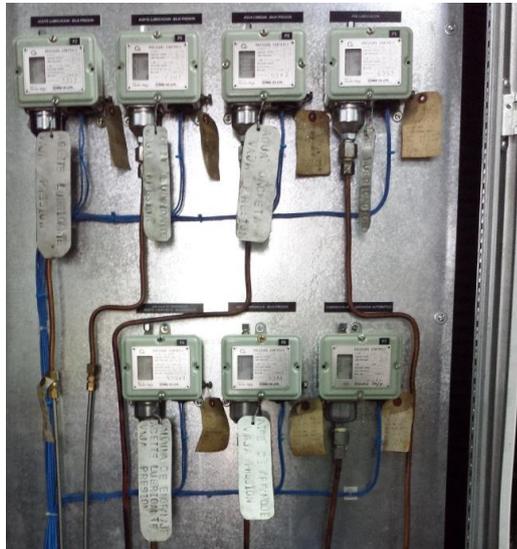


Figura. 113 Presóstatos para control redundante (Tablero de Control)

A estos se les ha realizado tareas de mantenimiento y recalibración para que de ésta manera no generen señales falsas que podrían en cierta manera causar confusión al operador.

Los presóstatos que indican condición de funcionamiento son:

- Presión Aceite Lubricante (P1).
- Arranque Automático Aire Compresor (P7).
- Los presóstatos que indican condición de alarma son:
- Baja Presión Válvula Engrane Aceite Lubricante (P4).
- Baja Presión Aceite Lubricante (P5).
- Baja Presión Aire de Arranque (P6).

Los presóstatos que generan un disparo de la unidad son:

- Baja Presión Aceite Lubricante (P2).
- Baja Presión Agua Camisas (P3).

5.3.6 Presostatos externos tablero de control

A más de los presóstatos mencionados en el apartado anterior, hay otros externos al tablero de control, que de la misma manera, generan condiciones de alarma o falta ligera ante un inconveniente que se ha presentado en un lugar puntual en la máquina.

Los mismos son:

- Pérdida Flujo Agua Camisas.
- Alta Diferencia Presión Filtro Combustible.
- Alta Diferencia Presión Filtro Aceite Lubricante
- Baja Presión Inyector Combustible CW

5.3.7 Control redundante con presostatos.

El control principal de protección para la máquina lo realizará el PLC en su momento. Pero a pesar de ellos se ha considerado un complementario y que se lo realiza con los presóstatos mencionados en los anteriores apartados.

En este caso el control redundante se lo realiza tanto para generación una alarma así como de un disparo.

Para la generación de una alarma se han considerado los siguientes presóstatos:

- Baja Presión Aceite Lubricante (P5). (Interno del Tablero Control).
- Pérdida Flujo Agua Camisas. (Externo del Tablero Control).

Para la generación de un disparo se han considerado los siguientes presóstatos:

- Baja Presión Aceite Lubricante (P2). (Interno del Tablero Control).

- Baja Presión Agua Camisas (P3). (Interno del Tablero Control).

5.4 Implementación del sistema de control.

5.4.1 Sistema semiautomático.

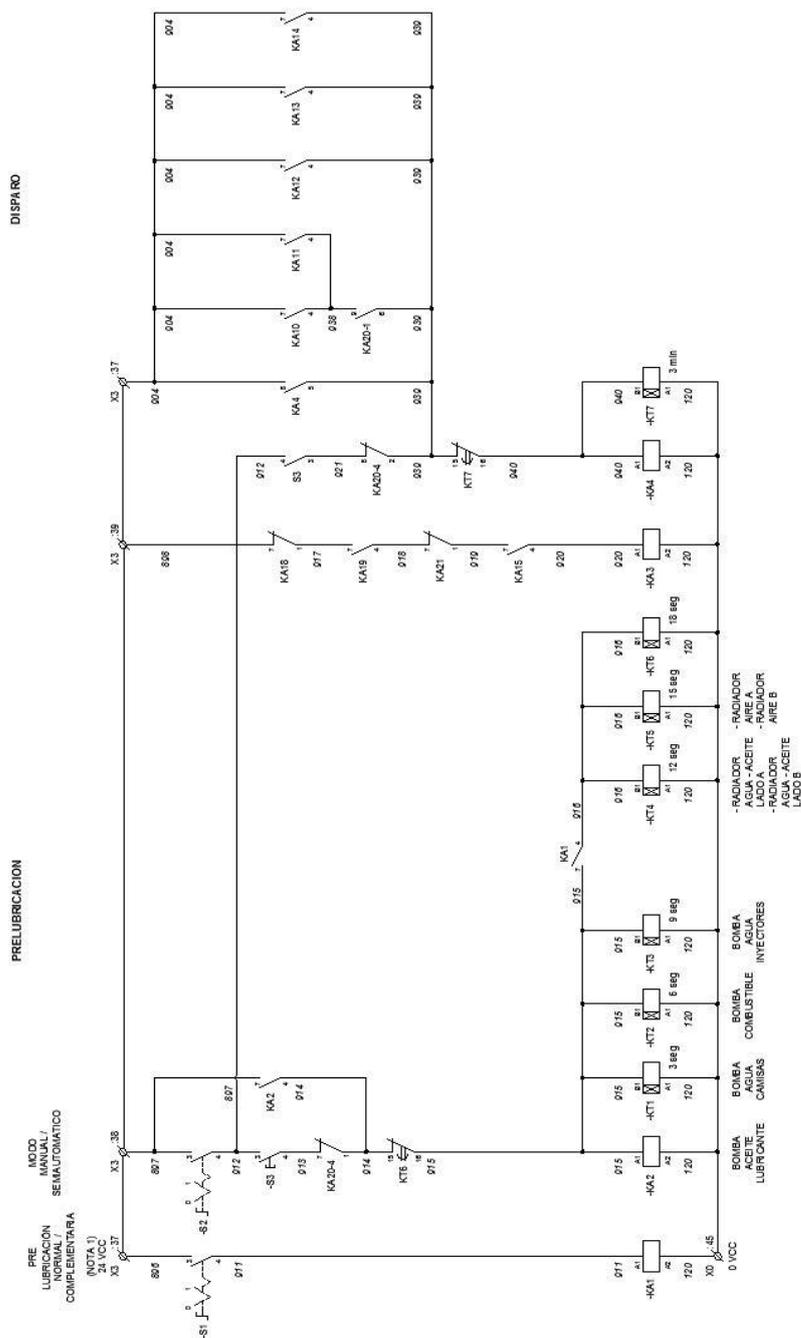


Figura. 114 Circuito de control

El control semiautomático se diseñó para el arranque de las bombas principales de forma secuencial, esto es para evitar el pico de corriente al encender todas las bombas a mismo instante, para esto se necesita temporizar los tiempos de encendido de las bombas en el proceso de pre-lubricación

Para el control semiautomático se utilizaron relés de 24 V, temporizadores para que el encendido secuencial de las bombas durante el arranque de la pre-lubricación, pulsadores para el inicio de secuencia, selectores para los modos de operación y luces indicadoras (figura 115).

Para iniciar con el proceso de pre-lubricación, se está asumiendo que las bombas del MCC están apagadas y por tal el motor también. Dentro de este proceso se considerarán 2 alternativas de encendido: “Normal” y “Complementaria” y 2 modos de control: “Manual” y “Semi-automático”.

Pre-lubricacion normal

Con el motor frío y en condiciones eléctricas y mecánicas para arrancar, poner el selector (S1) correspondiente en posición “Normal”. La luz piloto correspondiente (H1) estará encendida (figura 115).

Colocar el selector de modo de control (S2) en semi-automático. Si el mismo está en posición manual, quiere decir, que las bombas se encenderán manualmente desde el MCC. Es decir, no se podrán encender las bombas desde el tablero de control (figura 115).

Presionar el pulsante “Pre-lubricación” (S3). La luz correspondiente (H3) se encenderá (figura 115).

Las bombas del MCC se comenzarán a prender en el siguiente orden:

- Bomba Aceite Lubricante.

- Bomba Agua Camisas.
- Bomba Combustible.
- Bomba Agua Inyectores.

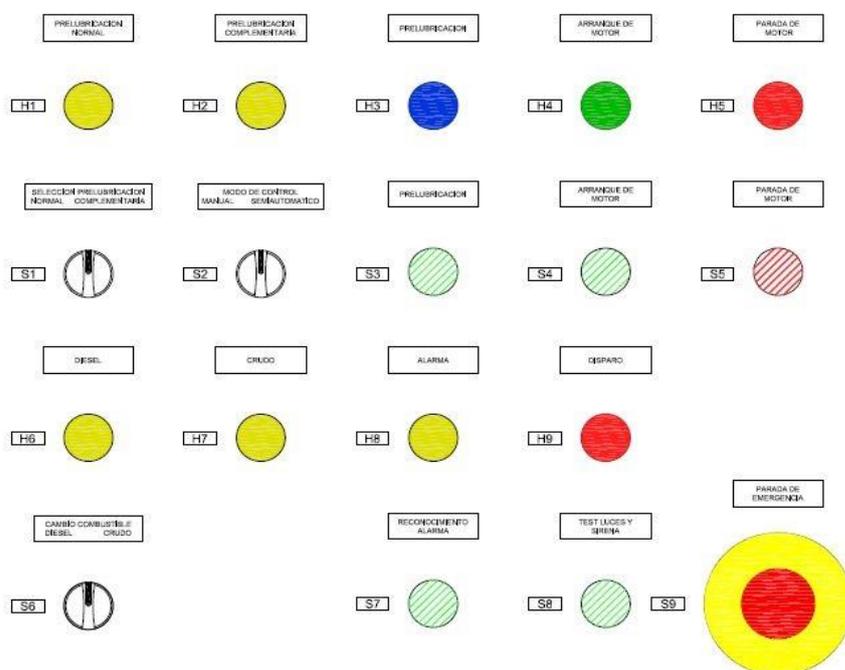


Figura. 115 Selectores, botones y luces indicadoras del tablero de control

El encendido de las bombas descritas es secuencial, para de esta manera, evitar un pico de corriente al encender todas a la misma ves.

Al iniciarse el proceso de pre-lubricación, también arranca un tiempo de espera de 3 minutos, durante el cual no se podrá encender el motor, así las bombas mencionadas ya estén en funcionamiento. Esto se debe a que el tiempo antes mencionado permite al sistema estabilizarse en cuanto a valores de presión. Una vez concluidos los 3 minutos o cuando el operador considere adecuado se podrá encender el motor.

Asumiendo que ya se ha encendido el motor y cuando las condiciones de temperatura lo requieran, se procederá a encender los sistemas complementarios de refrigeración.

Pasar el selector S1 a la posición “Complementaria”. La luz piloto correspondiente (H2) se encenderá. H1 se apaga (figura 115).

Se encenderán los siguientes equipos:

- Radiador Agua – Aceite Lado A
- Radiador Agua – Aceite Lado B
- Radiador Aire A
- Radiador Aire B

El encendido de estos equipos será de la misma manera secuencial.

Como se ha concluido con el proceso de pre-lubricación, iniciando en modo “Normal”, la luz piloto correspondiente (H3) se apagará y se reseteará todo circuito de control correspondiente (figura 115).

Se debe cerciorar que las bombas se enciendan mirando la respectiva luz piloto en cada celda correspondiente en el MCC o que las presiones vayan estabilizándose previo al arranque del motor.

Pre-lubricacion complementaria

Esta condición obedece al hecho que el motor estando en funcionamiento, se ha detenido y las bombas de pre-lubricación están de la misma manera, apagadas.

Con el motor ya entrado en temperatura y en condiciones eléctricas y mecánicas para arrancar, poner el selector (S1) correspondiente en posición “Complementaria”. La luz piloto correspondiente (H2) estará encendida (figura 115).

Colocar el selector de modo de control (S2) en semi-automático. Si el mismo está en posición manual, quiere decir, que las bombas se encenderán manualmente desde el MCC. Es decir, no se podrán encender las bombas desde el tablero de control (figura 115).

Presionar el pulsante “Pre-lubricación” (S3). La luz correspondiente (H3) se encenderá (figura 115).

Las bombas del MCC y sistemas complementarios se comenzarán a prender en el siguiente orden:

- Bomba Aceite Lubricante.
- Bomba Agua Camisas.
- Bomba Combustible
- Bomba Agua Inyectores
- Radiador Agua – Aceite Lado A
- Radiador Agua – Aceite Lado B
- Radiador Aire A
- Radiador Aire B

Al iniciarse el proceso de pre-lubricación, también arranca un tiempo de espera de 3 minutos, durante el cual no se podrá encender el motor, así las bombas y sistemas complementarios ya estén en funcionamiento. Esto se debe a que el tiempo antes mencionado permite al sistema estabilizarse en cuanto a valores de presión. Una vez concluidos los 3 minutos o cuando el operador considere adecuado se podrá encender el motor.

Como se ha concluido con el proceso de pre-lubricación, iniciando en modo “Complementaria”, la luz piloto correspondiente (H3) se apagará y se reseteará todo el circuito de control correspondiente.

Se debe cerciorar que las bombas se enciendan mirando la respectiva luz piloto en cada celda correspondiente en el MCC o que las presiones vayan estabilizándose previo al arranque del motor.

Para el mencionado control de pre-lubricación, se ha considerado que desde el Tablero de Control, solo se realicen tareas de encendido tanto de bombas como de sistemas complementarios. El apagado de los mismos no se lo podrá hacer desde el mismo, es decir, esta acción se la podrá realizar sólo desde el respectivo MCC.

5.4.2 Sistema de control HMI.

Para sistema SCADA se instaló 3 pantallas con una resolución de 1600 x 900 las cuales suman 4800 x 900, lo cual la resolución del sistema SCADA es muy buena. La idea de tener los 3 monitores es de presentar los sistemas auxiliares en cada pantalla y así tener mejor monitoreo de la unidad 3.

En el sistema SCADA (figura 116) lo que se debe tomar en cuenta es que el diseño que se realizó en Wincc tenga un auto reinicio, es decir por si algún motivo la computadora donde se desarrolló el HMI se reinicia, el diseño desarrollado en Wincc también debe reiniciarse automáticamente con tan solo dar un clic en la aplicación colocada en el escritorio.

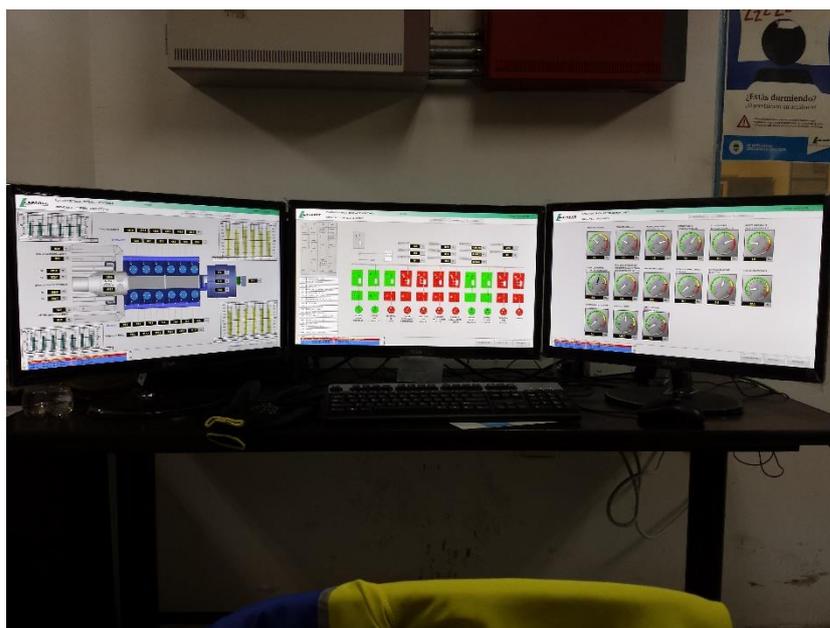


Figura. 116 Distribución de los monitores en el cuarto de control.

Las multi-pantallas fue por medio la tarjeta Matrox Triplehead 2GO (figura 117), esta tarjeta tiene la posibilidad de expandir hasta 3 monitores, es fácil de configurar mediante el software Matrox PowerDesk.



Figura. 117 Tarjeta Matrox TripleHead2G.

El sistema SCADA cuenta con las 3 pantallas, las cuales mostraran las variables en tiempo real, además en cada pantalla estará representado el proceso con el cual cumple en la unidad 3, las siguientes pantallas se detallan a continuación:

Pantalla 1

- Sistema de monitoreo.
- Sistema de suministro de combustible.
- Sistema de aceite lubricante.

Pantalla 2

- Sistema de aire comprimido.
- Sistema de agua de refrigeración.
- Sistema de gases de escape y aire de carga.

Pantalla 3

- Temperaturas motor 3.
- Sistema eléctrico.
- Presiones.

Además de la distribución antes mencionada también existirán pantallas para los históricos, alarmas.

5.4.3 Sistema de control terminal de operador.

La terminal de operador se ubicó en el tablero de control junto al motor generador 3, con esto el operador tendrá la facilidad de tener los datos y actuar rápidamente si existe alguna anomalía (figura 118).



Figura. 118 Terminal de operador.

En la terminal de operador se implementó dos menús un superior e inferior que se representan en todas las pantallas para su fácil navegación, esta tiene un diseño basado en las descripciones de los operadores y lo que se ha observado físicamente.

La terminal de operador muestra pantallas de mucha ayuda para el operario de la unidad 3, por esta razón está dividida en secciones que son familiares al operador para su fácil monitoreo y control.

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas.

El procedimiento para las pruebas aplicadas en el sistema de protección se resume en los siguientes aspectos:

- Operación de los equipos del sistema de control previo al montaje. Se realizó a nivel de laboratorio con el fin de evitar contratiempos con el funcionamiento de los equipos. Estas pruebas sirvieron para familiarizarse con la configuración y operación de los equipos a ser instalados.
- Funcionamiento del software para el controlador lógico programable, sistema SCADA y terminal de operador. Se realizó la prueba del funcionamiento del software mediante una máquina virtual, en ellas se instaló el software que se utilizarán en el proyecto, con el fin de realizar pruebas con el software.
- Operación de equipos montados en el tablero de control. Para comenzar se tiene la verificación de operación de los equipos montados en el tablero de control. Esta prueba se puede realizar a nivel de laboratorio ya que parte del control se realiza tanto a 24 VCC y 120 VAC, esto sirve para descartar algún elemento en caso que alguno lo tenga.
- Funcionamiento de la terminal de operador. La comprobación de la terminal de operador se la realizó en laboratorio, mediante el software de configuración ya instalado y comprobado su funcionamiento, esto permite saber si la versión del software con la terminal de operador sean las correctas.

- Verificación del cableado de señales de campo de la unidad 3. La verificación de la señales de campo se la debe realizar con todas las señales ya montadas mediante el software de programación del controlador lógico programable.
- Funcionamiento de la red Profinet. Esta prueba se la debe realizar en campo ya que toda la arquitectura de control debe estar ya ensamblada, para esta prueba debe estar operativo la terminal de operador y PLC, para crear una pantalla de pruebas de comunicación.
- Funcionamiento de la red Ethernet industrial. Con esta prueba conoceremos que las direcciones de los equipos están correctas y si está correctamente implementada la red.
- Verificación de la lógica de control para supervisión y protección de la unidad 3 en el PLC. Esta verificación permite ajustar pequeños detalles de la protección y supervisión de la unidad 3. Con esta prueba se verificó el cableado de los elementos hacia el PLC, la configuración de los módulos de entradas y salidas del mismo.
- Verificación de la lógica de control para el arranque de la unidad 3. Las pruebas de la lógica de control permite tener más seguridad de la secuencia de encendido de las bombas, ya que después de las pruebas se considera que esta listo para el arranque de las bombas.
- Verificación de las mediciones de temperaturas, presiones y niveles. Para las pruebas de las mediciones se realizaron cuando el motor generador ya se encontraba en funcionamiento, esto se realizó mediante sensores que nos certifique la medida y comparar con el sistema SCADA y la terminal de operador.

6.2 Resultados.

Durante las diferentes pruebas se deben realizar minuciosamente garantizando un error mínimo en el arranque y durante el funcionamiento de la unidad 3, y con esto tener unos resultados satisfactorios y respaldar su funcionamiento.

- Operación de los equipos del sistema de control previo al montaje. Durante las pruebas todos los equipos funcionaron correctamente, ya que los equipos vienen probados de fábrica.

Tabla. 9

Prueba del PLC

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
PLC	ok	Funcionó correctamente

- Funcionamiento del software para el controlador lógico programable, sistema SCADA y terminal de operador. Las pruebas realizadas fueron exitosas, logrando prever los posibles errores en la instalación y tener la garantía que todos los software sean compatibles con los elementos de control.

Tabla. 10

Prueba de Software

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Wincc	ok	Funcionó correctamente
Wincc Flex	ok	Funcionó correctamente
Step 7	ok	Funcionó correctamente

- Operación de equipos montados en el tablero de control. Las pruebas se realizaron tanto en laboratorio como en campo, estas pruebas fueron exitosas ya que se probó la señal de la válvula de cambio de combustible, el transformador, fuente de 24 VCC, relés.

Tabla. 11

Pruebas de equipos a 24 VCC

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Válvula	ok	Funcionó correctamente
Transformador	ok	Funcionó correctamente
Fuente 24VCC	ok	Funcionó correctamente
Relés	ok	Funcionó correctamente

- Funcionamiento de la terminal de operador. Durante las pruebas se debió actualizar la terminal de operador ya que al momento de realizar la descarga del programa a la terminal, esta no la reconocía, por esta razón se la actualizó mediante el software Wincc flex, por otro lado no existió otra novedad.

Tabla. 12

Prueba de la terminal de operador

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Terminal de operador	ok	Sé actualizó el software mediante Wincc Flex

- Verificación del cableado de señales de campo de la unidad 3. El resultado fue efectivo ya que los cables tuvieron una distribución correcta por las canaletas plásticas.

Tabla. 13

Verificación del cableado del tablero de control

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Verificación del cableado	ok	Ninguna novedad

- Funcionamiento de la red Profinet. En la prueba realizada en la comunicación Profinet fue positivo.

Tabla. 14

Verificación de red Profinet

RED	ESTADO	OBSERVACIONES
Red Profinet	ok	Ninguna novedad

- Funcionamiento de la red Ethernet industrial. De igual manera que las pruebas Profibus, estas pruebas fueron satisfactorias.

Tabla. 15

Verificación de red Profibus

RED	ESTADO	OBSERVACIONES
Red Profibus	ok	Ninguna novedad

- Verificación de la lógica de control para supervisión y protección de la unidad 3 en el PLC. Este proceso fue extenso por la cantidad de variables que ingresan al PLC y la delicada programación de las protecciones, se debió realizar pocas modificaciones, pero se garantizó un correcto funcionamiento.

Tabla. 16

Prueba de lógica de control PLC

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Lógica de control PLC	ok	Ninguna novedad

- Verificación de la lógica de control para el arranque de la unidad 3. De igual forma que la prueba anterior es un poco larga por la cantidad de cables que se utilizan para realizar el control de arranque, por esta razón esta prueba se la realizó minuciosamente a lo que nos llevó a resultados positivos en el funcionamiento.

Tabla. 17

Prueba de lógica de control relés

EQUIPO	ESTADO	OBSERVACIONES
Lógica de control Relés	ok	Ninguna novedad

- Verificación de las mediciones de temperaturas, presiones y niveles. Para esta prueba se realizó con ayuda del personal eléctrico, para que garanticen la

medida tomada por ellos con la medida que marca en el sistema SCADA como en la terminal de operador.

Tabla. 18

Prueba de mediciones temperaturas, presiones y niveles

MEDICIONES	ESTADO	OBSERVACIONES
TEMPERATURA	ok	Sé realizó cambios de direccionamiento
PRESIONES	ok	Ninguna novedad
NIVELES	ok	Ninguna novedad

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

- Mediante el sistema SCADA se logró mejorar el control la supervisión de las presiones, temperatura y niveles de todos los sistemas auxiliares del motor generador.
- Se realizó el diseño de la interface HMI acorde con lo detallado por el operador y lo inspeccionado en campo, con esto se obtuvo una mejor interpretación y navegación del sistema SCADA por parte de los operadores.
- La implementación tanto de la terminal de operador como del sistema SCADA ofrece una visualización global de la unidad 3, con esto se logra tener un monitoreo total, esto facilita a localizar rápidamente el problema y el lugar de localización con la visualización de animaciones para alarmas y disparos.
- Se estableció una comunicación estable, segura y fácil de configurar, ya que todos los softwares son de un mismo propietario, consiguiendo tener una transmisión limpia, segura sin pérdida de datos.
- El desempeño de la red Industrial Ethernet fue óptimo, ya que fue capaz de manejar el tráfico desde el PLC hacia la terminal de operador y la Interface HMI ubicada en el cuarto de control. Cabe recalcar que el PLC también transmite y recibe datos de los módulos de periferia descentraliza (ET 200M), mediante el protocolo Profibus, con esto se aprovechó al máximo el PLC.
- El software STEP 7 tiene una interface de ingeniería intuitiva y homogénea lo que facilita altamente la manipulación del software permitiendo realizar una

lógica de programación ordenada, entendible y fácil de modificar por cualquier programador.

- Mediante el protocolo de pruebas se comprobó todos los parámetros de funcionamiento para el control y protecciones del motor. En las pruebas se corrigieron algunas fallas alcanzando un rendimiento eficiente del motor generador.
- Los resultados obtenidos en las pruebas fueron un apoyo para garantizar un correcto funcionamiento en el arranque y durante el funcionamiento de la unidad 3. Los resultados de las pruebas lograron que el operador pueda tener confiabilidad en el sistema SCADA.

7.2 Recomendaciones.

- La implementación del proyecto con la tarjeta Matrox de multi pantallas permitirá que a futuro se pueda utilizar las 3 pantallas instaladas para la monitorización de cada unidad en un monitor, es decir, supervisar los 3 motores a la vez.
- El encendido del motor se realiza a través de la lógica de control por relés. Este encendido se podría cambiar para realizarlo directamente desde la interfaces HMI.
- Para un mantenimiento eléctrico o montaje de equipos nuevos en el tablero de control se recomienda utilizar los planos.
- Para comprender mejor la forma de navegar por las pantallas del sistema SCADA, se recomienda utilizar los manuales de usuario del sistema HMI así como al manual de usuario de la Touch Panel (Terminal de Operador).

- Se recomienda utilizar históricos, ya que con estos podemos tener en una base de datos de todas las variables que influyen en el sistema, logrando realizar un análisis más detallado de las fallas.

BIBLIOGRAFIA

- Alvaro. (2014, 24 3). Ciclos Termodinámicos y Operativos. Ciclos Termodinámicos y Operativos, 17. Retrieved from Ciclos Termodinámicos y Operativos:
https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf
- Ángel, J. (2013). <https://sites.google.com/site/tecnologiaindustrialiesazuer>. Retrieved from <https://sites.google.com/site/tecnologiaindustrialiesazuer/home>.
- Etitudela-Celula. (2013). PANELES DE OPERADOR. PANELES DE OPERADOR, 6.
- Jesús Bausá Aragonés, C. G. (2013). SENSORES DE TEMPERATURA. 51.
- Joan, M. (2011). Sistema SCADAS y PLC. SCADA, 5.
- José, E. S. (2012). Desarrollo de un sistema HMI. Madrid: 2012.
- Martínez, A. L. (2013). <http://wikispaces.com>. Retrieved from <http://fieldbus.wikispaces.com/profibus>.
- Siemens. (2008). Manual del producto S7-300. Alemania: NÜRNBERG.
- Siemens. (2014). Panel de operador MP 277. Alemania: NÜRNBERG.

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, _____ de 2015

ELABORADO POR:

CARLOS LEONARDO GALLEGOS CORREA

171911270-6

AUTORIDAD

Ing. Luis Orozco MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL