

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERÍA**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE
LOS REGULADORES DE VELOCIDAD PARA LAS TURBINAS EN LA
CENTRAL “HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”**

JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2012

AUTORIZACIÓN

Yo, Juan Carlos Paredes Pazmiño portador de la cedula de ciudadanía No.1716543408 estudiante egresado de la facultad de ingeniería electrónica de la escuela politécnica del ejercito de quito autorizó a la ESPE la publicación de mi tesis de grado de titulo "AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD PARA LAS TURBINAS EN LA CENTRAL "HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO" en la biblioteca virtual.

Juan Carlos Paredes

Atentamente

CERTIFICADO

Sr. Ing. Hugo Ortiz T. Sr. Ing. Edwin Aguilar

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado "AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LOS REGULADORES DE VELOCIDAD PARA LAS TURBINAS EN LA CENTRAL "HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO", realizado por el señor Juan Carlos Paredes Pazmiño, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple norma estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Sangolquí, Julio del 2012

Sr. Ing. Hugo Ortiz T.

DIRECTOR

Sr. Ing. Edwin Aguilar

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Un eterno agradecimiento a la Escuela Politécnica del Ejército, al Departamento de Eléctrica y Electrónica, que llevan la dura tarea de formar profesionales útiles para la sociedad, permitiendo un buen desempeño en el campo laboral y siendo un aporte para nuestro país.

Un especial agradecimiento al Ing. Hugo Ortiz director del proyecto de tesis y al Ing. Edwin Aguilar codirector del proyecto de tesis, su valiosa guía en este trabajo permitió culminar con éxito el proyecto de tesis y terminar mi carrera.

Agradezco al personal de la Central “Hidroeléctrica San Francisco”, por el apoyo brindado en la realización de este proyecto.

Un profundo agradecimiento a mis padres, esposa, y a la familia Mora Arias por haberme brindado el apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y por la paciencia demostrada en el tiempo transcurrió hasta la culminación del proyecto de tesis.

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas por ser mis soporte y mi guía espiritual, a mi esposa Emilia e hijo Carlitos por toda la felicidad que le dieron a mi vida, a mi padre por los buenos consejos a lo largo de mi crecimiento, a mi madre por todo su esfuerzo y trabajo realizado con el afán de brindarme los estudios en su anhelo de verme como un profesional, a mis hermanos y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron desinteresadamente con la culminación de este proyecto.

PRÓLOGO

En una Central Hidroeléctrica el tiempo de solución de una falla en el sistema, está relacionado directamente con el conocimiento de los operarios de los elementos concernientes a la falla, por este motivo, si los operarios tienen un acceso limitado a los sistemas de control automático o no poseen la experiencia en estos dispositivos, la detección de una falla en la central se tardaría más de lo previsto.

En este sentido, el objetivo en el cual se fundamenta el presente trabajo consiste en dar solución a uno de estos problemas en la Central Hidroeléctrica San Francisco, el mismo que presenta inconvenientes en lo referente al software de automatización en el sistema de aire comprimido de los reguladores de velocidad, porque al momento consta con un sistema de control automático de software cerrado.

Por lo mismo, la empresa HIDROPASTAZA S.A está obligada a contratar los servicios de la empresa ALSTOM para resolver los problemas que se presentan en el sistema de automatización, siendo que el sistema de aire comprimido es imprescindible para el funcionamiento de las unidades de generación eléctrica.

Como vemos, se justifica plenamente el diseño de un sistema de control automático abierto que nos permita supervisar, controlar y monitorear el sistema de aire comprimido, sin ninguna limitación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| 1.1 MARCO CONCEPTUAL..... | 1 |
| 1.1.1 Centrales hidroeléctricas | 1 |
| 1.1.1.1 Ventajas de las centrales hidroeléctricas | 2 |
| 1.1.1.2 Desventajas de las centrales hidroeléctricas..... | 2 |
| 1.1.2 Turbinas | 2 |
| 1.1.2.1 Turbina hidráulica | 3 |
| 1.1.2.2 Funcionamiento de la turbina hidráulica | 3 |
| 1.1.2.3 Protecciones de las turbinas hidráulicas | 4 |
| 1.1.2.4 Tipos de turbinas hidráulicas | 5 |
| 1.1.3 Turbina Francis | 5 |
| 1.1.3.1 Principio de funcionamiento de las turbinas Francis | 6 |
| 1.1.4 Descripción técnica de las turbinas Francis de la central “San Francisco..... | 7 |
| 1.1.4.1 Cámara espiral | 9 |
| 1.1.4.2 Distribuidor | 11 |
| 1.1.4.3 Rodete..... | 12 |
| 1.1.4.4 Tubo de succión | 13 |
| 1.1.4.5 Eje de la turbina | 14 |
| 1.1.4.6 Equipo de sellado del eje | 15 |
| 1.1.4.7 Cojinetes | 15 |
| 1.2 SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO | 15 |
| 1.3 REGULADORES DE VELOCIDAD DE LAS TURBINAS | 16 |
| 1.3.1 Velocidad de giro de una turbina hidráulica..... | 16 |
| 1.3.2 Reguladores automáticos de velocidad..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 1.3.3 Accionamiento de los reguladores de velocidad | 17 |
| 1.3.4 Componentes fundamentales de un regulador de velocidad..... | 18 |
| 1.3.5 Sistema de aceite de regulación de velocidad | 18 |
| 1.4 CENTRAL “HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO” | 21 |
| 1.4.1 Obras civiles de la central | 22 |
| 1.4.1.1 Túnel de interconexión | 22 |
| 1.4.1.2 Cámara de interconexión y túnel de descarga intermedia..... | 23 |
| 1.4.1.3 Túnel de conducción | 23 |
| 1.4.1.4 Túnel ventana 4..... | 23 |
| 1.4.1.5 Chimenea superior de equilibrio | 23 |
| 1.4.1.6 Tubería de presión | 24 |
| 1.4.1.7 Casa de máquinas..... | 24 |
| 1.4.1.8 Chimenea inferior de equilibrio..... | 26 |
| 1.4.1.9 Túneles de acceso casa de máquinas | 26 |
| 1.4.1.10 Túnel de drenaje / escape | 26 |
| 1.4.1.11 Túnel de restitución y cámara de compuertas..... | 26 |
| 1.4.1.12 Túnel y pozo de cables..... | 27 |
| 1.4.2 Equipo mecánico..... | 27 |
| 1.4.3 Equipo eléctrico..... | 28 |
| 1.4.4 Datos técnicos de equipos y maquinarias | 29 |

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS REGULADORES DE VELOCIDAD DE LAS TURBINAS

| | |
|--|----|
| 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO | 32 |
| 2.1.1 Elementos constitutivos del sistema de aire comprimido | 32 |
| 2.1.1.1 Descripción de las unidades de compresión | 33 |
| 2.1.1.2 Tablero de controlador logico programable | 35 |

| | |
|---|----|
| 2.1.1.3 Display expert..... | 36 |
| 2.2 FUNCIONAMIENTO..... | 37 |
| 2.2.1 Control automático del sistema de aire comprimido..... | 37 |
| 2.2.2 Control manual del sistema de aire comprimido..... | 38 |
| 2.2.3 Mantenimiento del sistema de aire comprimido | 38 |
| 2.2.3.1 Principales fallos del sistema de aire comprimido | 39 |
| 2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA | 40 |
| 2.3.1 Dimensionamiento del sistema de aire comprimido | 40 |
| 2.3.2 Planos eléctrico-electrónicos y descripción | 42 |
| 2.3.3 Simbología eléctrica | 42 |
| 2.3.4 Panel PLC y placa de montaje | 42 |
| 2.3.5 Alimentación de 125VCC | 44 |
| 2.3.6 Entradas digitales..... | 45 |
| 2.3.7 Salidas digitales | 46 |
| 2.3.8 Entrada analógica | 47 |
| 2.3.9 Interconexión PLC - CMP-1..... | 48 |
| 2.3.10 Interconexión PLC - CMP-2..... | 49 |
| 2.3.11 Interconexión sala de control..... | 50 |
| 2.3.12 Entradas y salidas PLC | 51 |
| 2.3.13 Bornes de alimentación barra segura 125VCC | 51 |
| 2.3.14 Bornes de interconexión compresor 1 | 51 |
| 2.3.15 Bornes de interconexión compresor 2 | 52 |
| 2.3.16 Bornes de entrada analógica..... | 52 |
| 2.3.17 Borne de entrada digital | 53 |
| 2.3.18 Bornes de alimentación 125VCC reserva..... | 53 |
| 2.3.19 Bornes de para sala de control..... | 53 |
| 2.3.20 Alimentación y distribución panel compresor 1 | 54 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.21 Comando 110VAC panel compresor 1 | 55 |
| 2.3.22 Alimentación y distribución panel compresor 2 | 56 |
| 2.3.23 Comando 110VAC panel compresor 2 | 57 |
| 2.4 LISTA DE MATERIALES..... | 58 |

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

| | |
|---|-----------|
| 3.1 DISEÑO..... | 59 |
| 3.2 SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA | 60 |
| 3.3 DIAGRAMA E BLOQUES DEL PROCESO..... | 61 |
| 3.4 DIAGRAMA P&ID..... | 62 |
| 3.5 PLANOS ELÉCTRICOS ELECTRÓNICOS..... | 63 |
| 3.5.1 Panel PLC y placa de montaje | 64 |
| 3.5.2 Alimentación 125VCC | 65 |
| 3.5.3 Entradas digitales módulo I | 66 |
| 3.5.4 Entradas digitales módulo II | 67 |
| 3.5.5 Salidas digitales módulo I..... | 68 |
| 3.5.6 Salidas digitales módulo II..... | 69 |
| 3.5.7 Entradas analógicas..... | 70 |
| 3.5.8 Interconexión sala de control..... | 71 |
| 3.5.9 Entradas y salidas de PLC | 72 |
| 3.5.10 Alimentación y distribución panel compresor 1 | 72 |
| 3.5.11 Comando 110VAC panel compresor 1 | 73 |
| 3.5.12 Alimentación y distribución panel compresor 2 | 74 |
| 3.5.13 Comando 110VAC panel compresor 2..... | 75 |
| 3.6 LISTA DE MATERIALES..... | 76 |
| 3.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES A COMPRAR | 76 |
| 3.7.1 PLC | 76 |

| | |
|--|----|
| 3.7.2 Touch panel..... | 77 |
| 3.7.3 Conductor de cobre..... | 77 |
| 3.7.4 Software programación PLC..... | 77 |
| 3.7.5 Software programación HMI..... | 78 |
| 3.8 LÓGICA DE CONTROL..... | 78 |
| 3.9 PARÁMETROS DE BLOQUEO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO..... | 80 |
| 3.10 EQUIPOS SELECCIONADOS PARA PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN .. | 81 |
| 3.10.1 PLC Siemens S7-300 CPU 313C..... | 81 |
| 3.10.1.1 Características de la CPU..... | 82 |
| 3.10.2 Software de programación del PLC siemens S7-300 CPU 313C..... | 83 |
| 3.10.2.1 Lenguajes de programación..... | 84 |
| 3.10.3 Computador portátil (Touch panel)..... | 84 |
| 3.10.4 Software de interfaz gráfica..... | 85 |

CAPÍTULO 4

DESARROLLO SOFTWARE PLC PARA EL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO

| | |
|---|----|
| 4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS PROCESOS..... | 87 |
| 4.1.1 Diagrama de flujo..... | 87 |
| 4.1.2 Diagrama de flujo de mando local..... | 89 |
| 4.1.3 Diagrama de flujo de mando remoto..... | 90 |
| 4.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC..... | 91 |
| 4.2.1 Adquisición entrada analógica..... | 91 |
| 4.2.2 Entradas digitales..... | 92 |
| 4.2.3 Salidas digitales..... | 93 |
| 4.2.4 Operación modo automático o remoto..... | 94 |
| 4.2.5 Operación modo manual o local..... | 94 |
| 4.2.6 Configuración de parámetros operativos..... | 94 |

| | |
|--|------------|
| 4.3 DESARROLLO SOFTWARE HMI | 95 |
| 4.3.1 Pantalla principal para el control del sistema | 95 |
| 4.3.2 Pantalla para monitoreo del sistema (historial)..... | 99 |
| 4.3.3 Pantalla inicio de sesión | 101 |
| 4.3.4 Pantalla de configuración de parámetros | 102 |

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN

| | |
|--|------------|
| 5.1 SIMULACIÓN DEL SISTEMA | 105 |
| 5.1.1 Tablero de pruebas | 105 |
| 5.1.1.1 Entradas Digitales | 107 |
| 5.1.1.2 Entrada Analógica | 107 |
| 5.1.1.3 Salidas Digitales..... | 107 |
| 5.1.2 Simulación creación de variables HMI | 108 |
| 5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 119 |
| 5.2.1 Pruebas en mando local..... | 119 |
| 5.2.1.1 Prueba No.1.- Arranque de compresor C1 y C2..... | 119 |
| 5.2.1.2 Prueba No.2.- Perdida de precondiciones C1 y C2..... | 121 |
| 5.2.1.3 Prueba No.3.- Emergencia C1 y Emergencia sistema | 122 |
| 5.2.2 Pruebas en mando remoto | 123 |
| 5.2.2.1 Prueba No.4.- Nivel bajo de aceite C1 y C2 | 123 |
| 5.2.2.2 Prueba No.5.- Descenso de presión | 124 |
| 5.2.2.3 Prueba No.6.- Incremento de presión..... | 126 |
| 5.2.2.4 Prueba No.7.- Emergencia y Reset historial..... | 127 |

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO

| | |
|--|-----|
| 6.1 INTRODUCCIÓN | 130 |
| 6.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO | 131 |
| 6.3 ANÁLISIS DE RELACIÓN COSTO / BENEFICIO | 132 |
| 6.3.1 Análisis costo/beneficio del sistema implementado..... | 132 |

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------|-----|
| 7.1 CONCLUSIONES..... | 136 |
| 7.2 RECOMENDACIONES | 137 |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

- ANEXO 01: Especificaciones técnicas Premiair 27S
- ANEXO 02: Alimentación 125VCC, plano SFR-DU5ALS-SMBT-001 -3
- ANEXO 03: Alimentación 480VAC-CCMU1, plano SFR-DS5VAT-CMQB-137-3
- ANEXO 04: Alimentación 480VAC-CCMU1, plano SFR-DS5VAT-CMQB-387-3
- ANEXO 05: Datos técnicos PLC S7-300 CPU 313C
- ANEXO 06: Procedimientos básicos para step 7
- ANEXO 07: Sismatic Siemens WIN CC
- ANEXO 08: Programación PLC S7-300
- ANEXO 09: Dimensionamiento Sistema de Aire Comprimido
- ANEXO 10: Especificaciones técnicas display Expert
- ANEXO 11: Especificaciones técnicas transmisor de presión Ashcroft
- ANEXO 12: Especificaciones técnicas motor teco 480V

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

GLOSARIO

HOJA DE ENTREGA

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 MARCO CONCEPTUAL

1.1.1 Centrales hidroeléctricas¹

La función de una central hidroeléctrica es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla, primero en energía mecánica y luego en eléctrica.

Es decir, un sistema de captación de agua provocará un desnivel que origina una cierta energía potencial acumulada, al pasar el agua acumulada por la turbina, desarrolla en la misma un movimiento giratorio que acciona un alternador y produce la corriente eléctrica.

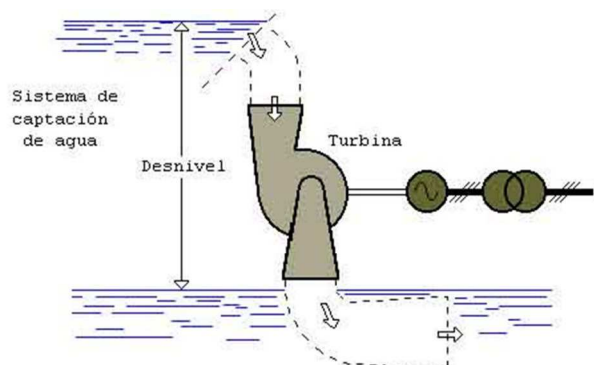


Figura. 1.1. Esquema general de una Central Hidroeléctrica

Ref.: Centrales Eléctricas; Rafael García, 2009

¹ <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/portadaframeset.html>

1.1.1.1 Ventajas de las centrales hidroeléctricas

- No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
- Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos.

1.1.1.2 Desventajas de las centrales hidroeléctricas

- Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.
- El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento
- La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año.

1.1.2 Turbinas

Es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados

alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

1.1.2.1 Turbina hidráulica

La turbina hidráulica es el elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, por esto es de vital importancia saber elegir la turbina adecuada para cada sistema.

1.1.2.2 Funcionamiento de una turbina hidráulica

La energía del agua acumulada, en forma de energía potencial de tipo gravitatorio, se convierte en energía cinética al pasar sucesivamente por el distribuidor y el rodete, debido a la diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida de la conducción. En consecuencia, se provocan cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del fluido, lo que hace que se produzcan fuerzas tangenciales en el rodete, generándose así energía mecánica al girar éste.

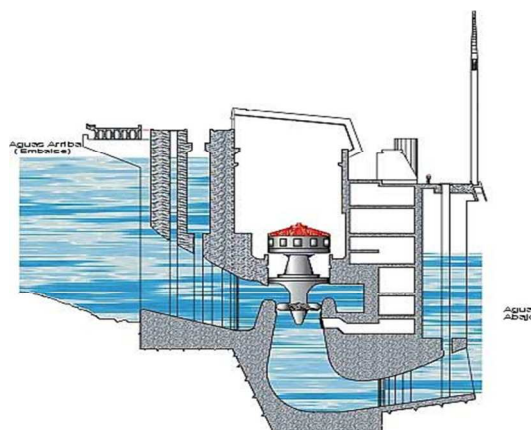


Figura. 1.2. Diferencia de nivel existente entre la entrada y la salida del agua de alimentación a una turbina

El rendimiento de las instalaciones con turbinas hidráulicas, siempre es elevado, pudiendo llegar desahogadamente al 90% o más, después de tener en cuenta todas las pérdidas hidráulicas por choque, caudal, fricción en el generador, mecánicas, etc.

Los **problemas de regulación de velocidad** son importantes, principalmente a causa de las grandes masas de agua que entran en juego, con sus aceleraciones positivas y negativas, que se transforman en ondas de presión. La continuidad de las columnas de agua transmite a las ondas, produciéndose fuertes choques o golpe de ariete que es necesario evitar o por lo menos controlar.

1.1.2.3 Protecciones de las turbinas hidráulicas

La mayoría de las protecciones de una turbina hidráulica, destinadas a proteger indirectamente a la totalidad del grupo, se basan en efectos puramente mecánicos, por lo que, en el argot de las instalaciones, se conocen como faltas mecánicas.

Así tenemos las protecciones que detectan defectos surgidos en constantes como:

- Temperaturas.
- Presiones.
- Niveles.
- Caudales.
- Velocidad.
- Etc.

Los aparatos empleados para estos cometidos, según corresponda, son termostatos, manóstatos o presóstatos, niveles, caudalímetros, y todos aquellos relés y dispositivos que complementan los respectivos circuitos.

La función a ejercer por determinadas protecciones, puede estar controlada por varios aparatos, lo que, según circunstancias, da lugar a un escalonamiento gradual de actuación, comenzando por una alarma, que representa la advertencia de la existencia de una falta, y terminando en el disparo, cuando se alcanzan las limitaciones de seguridad preestablecidas.

1.1.2.4 Tipos de turbinas hidráulicas

Existen tres tipos de turbinas hidráulicas utilizados con mejores resultados en la actualidad.

- Turbinas Pelton
- Turbina **Francis**
- Turbinas Kaplan

Cada tipo de turbina se diferencia en su empleo en función de la altura del salto, aunque técnicamente no hay límites perfectamente definidos que separen los márgenes de utilización de unos tipos respecto de los demás.

1.1.3 Turbinas Francis²

Son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, o de admisión total ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

² www.Spanish/Turbinas/turbinas_hidraulicas.htm

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales entre 2 y 200 m³/s aproximadamente (caudal de la Central San Francisco 58 m³/s y caída neta de 200 m.). Las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal, o vertical, siendo esta última disposición la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia. Para describirlas, nos basaremos en turbinas de eje vertical.



Figura. 1.3. Turbinas Francis

Ref.: Centrales Eléctricas; Rafael García, 2009

Las turbinas Francis, son de rendimiento óptimo, pero solamente entre determinados márgenes, entre 60 % y 100 % del caudal máximo, siendo una de las razones por la que se disponen varias unidades en cada central, al objeto de que ninguna trabaje, individualmente, por debajo de valores del 60 % de la carga total.

1.1.3.1 Principio de funcionamiento de las turbinas Francis

En la mayoría de los casos, la instalación de este tipo de turbinas, se realiza en centrales para cuya alimentación de agua se requiere la existencia de un embalse.

Otra particularidad en la ubicación de estas turbinas, radica en que el conjunto esencial de las mismas, es decir, cámara espiral – distribuidor – rodete – tubo de aspiración, se encuentra, generalmente, a un nivel inferior respecto al

nivel alcanzado por el agua en su salida hacia el cauce del río en dirección aguas abajo.

Podemos considerar, por lo tanto, la presencia de una columna de agua continua, entre los distintos niveles de los extremos mencionados, embalse y salida de agua, deduciendo que la turbina está totalmente llena de agua.

La energía potencial gravitatoria del agua embalsada, se convierte en energía cinética en su recorrido hacia el distribuidor, donde, a la salida de éste, se dispone de energía en forma cinética y de presión, siendo, la velocidad de entrada del agua en el rodete, inferior a la que correspondería por altura de salto, debido a los cambios bruscos de dirección en su recorrido.

El agua a su paso por las palas fijas de la cámara espiral y las palas directrices del distribuidor, disminuye su presión, adquiriendo velocidad y, en tales condiciones, provoca el giro del rodete, al discurrir a través de los álabes de éste, sobre los cuales actúa el resto de la presión existente en las masas de agua dotadas, a su vez, de energía cinética. El tubo de aspiración produce una depresión en la salida del rodete o, dicho en otros términos, una succión.

1.1.4 Descripción técnica de las turbinas Francis de la central San Francisco³

Como las turbinas que se utilizan para el proyecto Hidroeléctrico San Francisco son tipo Francis de eje vertical, el estudio se enfocara en este tipo de turbinas.

Las características técnicas básicas de las turbinas instaladas en la central hidroeléctrica se muestran en la tabla 1.1.

³ VA TECH HYDRO Brasil, análisis de la turbina Francis, Italia 2005

| CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA | |
|-----------------------------------|--|
| Tipo de la Turbina | Francis Simples |
| Cantidad de Turbinas | 2 |
| Diámetro del rotor de la Turbina | 2,45 m |
| Diámetro del rodete en la salida | 3,03 m |
| Número de Alabes del Rodete | 13 álabes |
| Número de Alabes Directrices | 20 álabes directrices |
| Rotación de la Turbina | 327,27 rpm |
| Rotación de disparo | 548 rpm |
| Potencia nominal | 115 MW |
| Caída neta nominal | 213 m |
| Eficiencia máxima | 95,5% |
| Sentido del Giro | Horario (Visto de arriba) |
| Eje | Vertical |
| Número de cojinetes de la turbina | 1 |
| Tipo de cojinete | Cojinete guía autolubricante tipo casquillo. |
| Diámetro de la Válvula Mariposa | 3,0 m |
| Tipo de accionamiento | Accionamiento por los servomotores y cierre por contrapeso |
| Densidad del agua | 0,99985 g/cm ³ |
| Aceleración de la gravedad | 9,777m/s ² |
| Temperatura del agua | 16°C |

Tabla. 1.1. Descripción técnica de las Turbinas Francis

Las turbinas instaladas constan principalmente de:

- Cámara espiral
- Distribuidor
- Rodete
- Tubo de succión
- Eje
- Equipo de sellado del eje de turbina
- Cojinete guía de turbina
- Cojinete de empuje

En la figura 1.4 se detalla los elementos constitutivos de una turbina Francis con su eje vertical, similar a la utilizada en la Central San Francisco

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Rodete | 14. Podio de servicio |
| 2. Anillo en laberinto (giratorio) | 15. Palancas de álabes guía |
| 3. Junta anular de carbono | 16. Bielas |
| 4. Contra-anillo en laberinto (fijo) | 17. Aro de compuerta del distribuidor |
| 5. Tubo de Pitot | 18. Anillo guía del aro de compuerta |
| 6. Cuba de aceite | 19. Tapa del distribuidor |
| 7. Soporte de palier | 20. Palier superior de álabes guía |
| 8. Palier de guía | 21. Caja espiral |
| 9. Orificio compensador, o de descarga | 22. Blindaje del distribuidor |
| 10. Eje de turbina | 23. Alabes guía |
| 11. Pernos de acoplamiento | 24. Palier inferior del distribuidor |
| 12. Tubo de protección | 25. Fondo inferior del distribuidor |
| 13. Eje intermedio | 26. Tubo de aspiración |

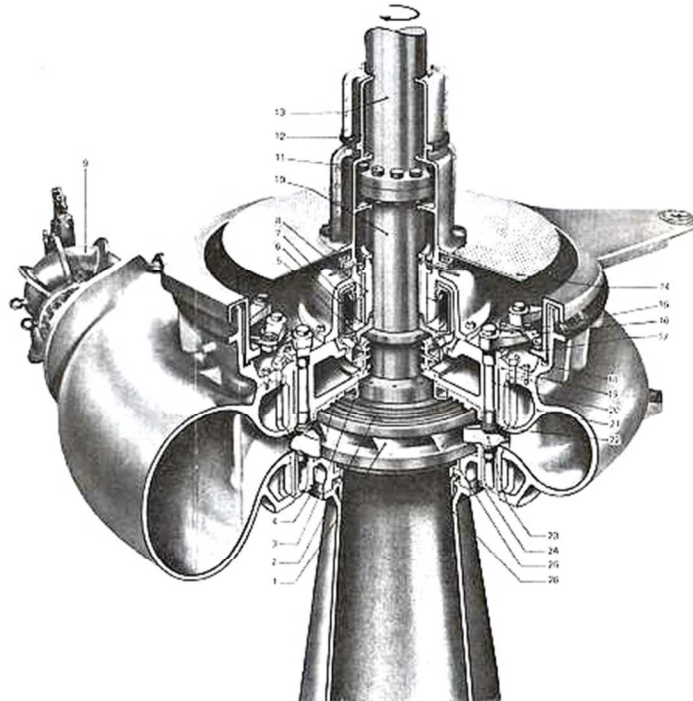


Figura. 1.4. Componentes de una turbina Francis de eje vertical

Ref.: <http://tecnobach.wikispaces.com>

1.1.4.1 Cámara espiral

La cámara espiral o caja espiral que se muestra en la figura 1.4, está en el tramo final de la tubería de presión y después de la válvula mariposa, está constituida por la unión sucesiva de secciones, las mismas que se unen con soldadura de obra y cuyos ejes de las secciones forman un espiral.

En este sentido, desde el acoplamiento con la tubería forzada, donde el diámetro interior de la sección correspondiente alcanza su valor máximo, la sección interior va decreciendo paulatinamente hasta que se realiza el cierre de la cámara sobre sí misma, cuyo diámetro interior se reduce considerablemente.

Esta disposición de las secciones se conoce como el caracol de la turbina, en el que, debido a su diseño, se consigue que el agua circule con velocidad aparentemente constante y sin formar torbellinos, evitándose pérdidas de carga.

En la zona periférica interna, totalmente concéntrica con el eje de la turbina, y siguiendo planos paralelos, perpendiculares a dicho eje, se encuentra una abertura circular, formando un anillo, cuyos extremos están enlazados perpendicularmente por una sucesión de álabes fijos, situadas equidistantemente unas de otras, a lo largo del contorno de la circunferencia descrita por dicho anillo, a través del cual, y por toda su periferia, fluirá el agua, cubriendo la totalidad de los orificios así formados. La zona mencionada, se suele denominar pre distribuidor y se muestra en la figura 1.5.

El número de alabes fijos es variable de acuerdo con el diseño de la turbina, para el caso de central Hidroeléctrica San Francisco el número de álabes es de 13. El pre distribuidor permite orientar el flujo de agua para los álabes directrices e introducir un mínimo de pérdida de carga. Dada la curvatura y orientación de los álabes fijos, se consigue que la proyección del agua salga dirigida casi radialmente, hacia el centro del espacio circular limitado por el anillo mencionado. Para acceso a la caja espiral existe un agujero llamado man hold. La tapa del man hold posee soportes, sellos y pasadores, tornillos de fijación y está articulada para abrir hacia afuera de la caja espiral.

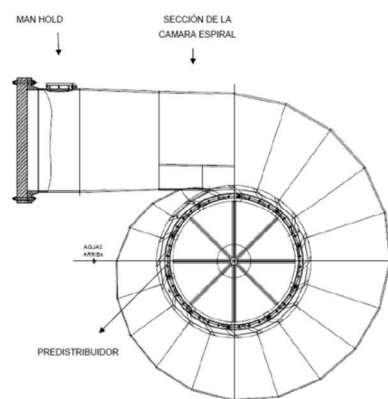


Figura. 1.5. Vista superior de la cámara espiral

Ref.: <http://tecnobach.wikispaces.com>

1.1.4.2 Distribuidor

El distribuidor está formado por un determinado número de álabes móviles que se muestra en la figura 1.6, cuyo conjunto constituye un anillo que está situado concéntricamente y entre las mismas cotas en altura que el predistribuidor, siendo, en definitiva camino continuado del agua en su recorrido hacia el centro de la turbina. Su función es la de distribuir, y regular o cortar totalmente, el caudal de agua que fluye hacia el rodete.

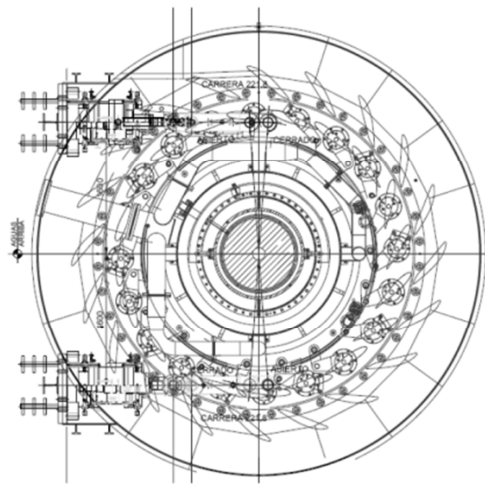


Figura. 1.6. Vista superior del distribuidor

Ref.: <http://tecnobach.wikispaces.com>

- **Álabes directrices**

Los álabes directrices que se muestran en la figura 1.7, sirven para regular el caudal de agua que entra en el rodete. Cada uno de los álabes directrices, al unísono con los demás, puede orientarse, dentro de ciertos límites, al girar su eje respectivo, pasando de la posición de cerrado total, cuando están solapadas unas palas sobre otras, a la de máxima apertura que corresponde al desplazamiento extremo. El conjunto de álabes directrices del distribuidor se acciona por medio de un anillo móvil, al que están unidos todos los álabes directrices, y este anillo móvil a su vez esta accionada por el regulador de velocidad de la turbina.



Figura. 1.7. Alabe directriz

Ref.: <http://tecnobach.wikispaces.com>

- **Servomotores**

Los álabes son girados por medio del mecanismo de regulación con anillo de regulación actuado por dos servomotores trabajando en direcciones paralelas y opuestas, cada uno de los cuales es accionado por aceite a presión según órdenes recibidas del regulador.

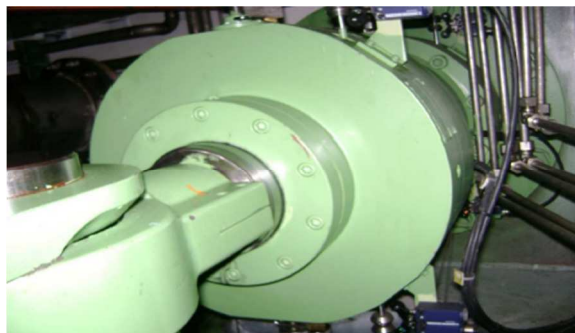


Figura. 1.8. Servomotor

Ref.: <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-Francis-i/>

1.1.4.3 Rodete

Se trata de la pieza fundamental donde se obtiene la energía mecánica deseada. Está unido rígidamente a la parte inferior del eje de la turbina, en situación perfectamente concéntrica con el distribuidor, ocupando el espacio circular que éste delimita. Consta de un núcleo central, alrededor del cual se encuentra dispuesto un número determinado de palas de superficie alabeada, aproximadamente entre 12 y 21, equidistantemente repartidas y solidarias al mismo.



Figura. 1.9. Rodete de la turbina

Ref.: <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-Francis-i/>

El rodete que se utiliza en la central San Francisco es de acero inoxidable tipo ASTM A743 grado Ca6Mn, cuyo diámetro en la salida es 3,03 m., posee 13 álabes.

El diseño permite el movimiento vertical del conjunto, sin desarme del eje, lo suficiente para permitir la aplicación de los gatos de freno del generador, y prevé aún más que el rodete pueda soportar el peso del eje. Algo que hay que tener muy en cuenta es que experimentalmente, se ha establecido que el número de álabes del rodete debe de ser diferente al de álabes directrices, ya que, en caso contrario, se producirían vibraciones al coincidir en el espacio ambos conjuntos de álabes. El número de álabes del distribuidor suele ser primo, respecto al de álabes del rodete.

1.1.4.4 Tubo de succión

Consiste en una conducción, normalmente acodada, que une la turbina propiamente dicha con el canal de desagüe como se muestra en la figura 1.10. Tiene como misión recuperar al máximo la energía cinética del agua a la salida del rodete o, dicho de otra forma, aprovechar el salto existente entre la superficie libre del agua y la salida del rodete. En su inicio, partiendo de la unión circular con la turbina, se trata de un conducto metálico que, en la mayoría de los casos, va

aumentando gradualmente de diámetro, tomando forma tronco-cónica, tramo conocido como cono de aspiración.

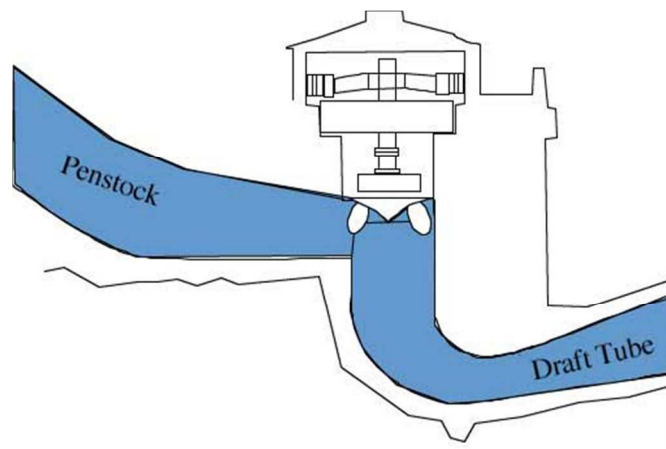


Figura. 1.10. Situación del tubo de aspiración en la turbina

Ref.: <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-Francis-i/>

1.1.4.5 Eje de la turbina

El eje de la turbina que muestra la figura 1.11, está fabricado en acero forjado tipo ASTM A668 clase D, tiene bridas integralmente forjadas en ambos extremos para acople directo al rodete de la turbina y eje generador por medio de pernos pre-tensados y aplicación de carburo de silicio para proporcionar transmisión de momento de fuerza por fricción.



Figura. 1.11. Eje de la turbina

Ref.: <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-Francis-i/>

1.1.4.6 Equipo de sellado del eje

Como su nombre indica, está destinado a sellar, en definitiva, a cerrar e impedir el paso de agua que pudiera fluir desde el rodete hacia el exterior de la turbina, por el espacio existente entre la tapa de la misma y el eje.

1.1.4.7 Cojinetes

- **Cojinete guía.**- Está situado lo más cerca posible del rodete, sobre la tapa superior de turbina, inmediatamente por encima del cierre estanco o sellado del eje. Consta de un anillo dividido radialmente en dos mitades o bien de una serie de segmentos, que asientan con perfecto ajuste sobre el eje.
- **Cojinete de empuje.**- Este elemento, conocido también como soporte de suspensión, pivote, rangua o quicio, característico y necesario en todos los grupos de eje vertical, se ha considerado como un componente propio de dichos grupos en sí y no de las turbinas hidráulicas que responden a tales condiciones de instalación. Su situación, respecto al eje del grupo, varía según los tipos de turbinas.

1.2 SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO ⁴

El aire comprimido se requiere para el frenado de los generadores, para los interruptores de máquina, **la presurización del acumulador aire aceite del regulador de velocidad** y para mantenimiento. La disminución del nivel de agua del tubo de aspiración, puede ser requerida para operar turbinas de reacción en modo condensador sincrónico, o para mantenimiento, lo cual se logra con aire comprimido. El aire comprimido se almacena en tanques acumuladores desde los cuales se toma cuando es requerido.

⁴ http://www.rodaindustria.com/fotos/090407194321_es_clean_compressed_air.pdf

1.3 REGULADORES DE VELOCIDAD DE LAS TURBINAS ⁵

En las turbinas hidráulicas la magnitud objeto de regulación es la velocidad o número de revoluciones por minuto a que ha de girar el rodete de la turbina, con el fin de que, por medio del eje se transmita el giro uniforme que debe de existir y mantenerse entre dicho rodete y el rotor del alternador.

Cuando se produce una variación en la carga solicitada a la maquinaria (grupo), es decir, según aumente o disminuya el par resistente que actúa sobre la turbina, esta tenderá respectivamente a reducir o aumentar el número de revoluciones con que estuviese en funcionamiento normal antes de producirse la variación de carga. En tales condiciones, el funcionamiento de la turbina sería totalmente inestable, llegando a pararse al aumentar la carga y a embalsarse cuando ésta disminuyese.

Dado que en la realidad las cargas solicitadas varían constantemente, es necesario adaptar el trabajo motor al resistente, y esto se consigue graduando adecuadamente el paso de agua hacia el rodete. Al regular el caudal de agua preciso para cada valor de carga en cada instante se dispondrá de la potencia requerida debiéndose obtener al mismo tiempo el número de revoluciones de funcionamiento normal de la turbina.

1.3.1 Velocidad de giro de una turbina hidráulica

La velocidad de giro, conocida también como velocidad nominal, velocidad sincrónica de la turbina o velocidad de sincronismo del grupo, depende fundamentalmente de la frecuencia a que ha de ser suministrada la corriente eléctrica, y del número de pares de polos del alternador, además de otros factores que determinan precisamente las características de éste último, como son altura del salto de agua, potencia, tensión generada, etc.

⁵ <http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-9.5.htm>

La variación o acomodación del caudal de agua, que incide sobre el rodete de la turbina, se consigue actuando sobre el distribuidor en los alabes directrices de las turbinas.

En instalaciones grandes y que están expuestas a variaciones de carga entre límites muy amplios, el distribuidor es gobernado, controlado y regulado mediante el **equipo de regulación** según las órdenes recibidas de un regulador automático de velocidad, disponiendo todo el conjunto, para cumplir su misión, de un sistema de aceite a presión, del cual nos ocuparemos oportunamente.

1.3.2 Reguladores automáticos de velocidad

No se debe confundir estos dispositivos con los reguladores de tensión de los alternadores, pues si bien actúan al unísono sobre el grupo, como elementos reguladores que son, sus funciones, aunque relacionadas, están perfectamente delimitadas. Todo regulador de velocidad es el mecanismo, de distinta índole, destinado a conseguir, en cualquier circunstancia, el equilibrio de los trabajos motor y resistente presentes en una turbina, manteniendo, sensiblemente constante, la velocidad de sincronismo del grupo ante todas las cargas solicitadas, protegiéndole, además, contra velocidades excesivas que pudieran surgir.

1.3.3 Accionamiento de los reguladores de velocidad ⁶

Al regulador, y concretamente a su dispositivo tacométrico, se transmite continuamente la velocidad del grupo, al objeto de que detecte las variaciones que puedan surgir en cada instante. En definitiva, entre el grupo y el regulador, existe una conexión que acciona al tacómetro, de forma más o menos directa.

Hemos de considerar los modernos reguladores de velocidad constituidos por equipos electrónicos, con los que se consigue una regulación mucho más rápida y exacta, a la vez que sus dimensiones son más reducidas. La transmisión del número de revoluciones del eje hacia el regulador, se logra mediante un circuito conectado al denominado generador de impulsos (pick-up), componente

⁶ <http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/T-9.5.htm>

electromagnético, instalado en una determinada zona del eje del grupo adecuada a las características del mismo, que capta y transfiere, al componente electrónico que hace las veces de tacómetro del regulador, las revoluciones del grupo en cada instante, en forma de impulsos de corriente.

1.3.4 Componentes fundamentales de un regulador de velocidad

Aparte de los componentes como tacómetro, válvula piloto, válvula distribuidora, etc., todo regulador cuenta con mecanismos para realizar funciones parciales muy definidas, que complementan la regulación.

- **Control del límite de apertura.-** Su denominación más usual es la de limitador de carga. Consiste en un mecanismo que, accionado por motor, bloquea el movimiento de la válvula piloto, estableciendo el límite de carga que debe proporcionar el grupo, en relación con el límite de apertura permitido al distribuidor. Puede ser maniobrado a distancia o localmente.

1.3.5 Sistema de aceite de regulación de velocidad

En una central, cada grupo dispone del apropiado sistema de aceite a presión, destinado al correcto funcionamiento tanto del regulador en sí como del equipo de regulación que esta última gobierna, controla y regula.

Es necesario disponer de grandes esfuerzos, para accionar los servomotores que, a su vez, regulan la posición del distribuidor. Ello se logra mediante la aplicación de elevadas presiones en el circuito de aceite que recorre las válvulas y mecanismos mencionados, presiones que se consiguen con bombas de gran potencia. Ahora bien, además de éstas, son varios los elementos que integran el sistema de aceite a presión para un solo grupo, estando reflejados en la siguiente relación los más significativos.

- **Grupos moto-bombas.-** En las grandes instalaciones, normalmente se montan varios grupos motobombas, a fin de que unos mantengan el servicio de forma continua y otros entren en funcionamiento cuando la presión,

necesaria en el circuito, descienda por debajo de unos valores preestablecidos. Periódicamente se alternan las funciones encomendadas a dichos grupos, para equilibrar el número de horas de trabajo de los mismos. Un conjunto de válvulas de cambio, permite que el aceite pase del sumidero o depósito colector al tanque de presión aire-aceite y, por consiguiente, al circuito del regulador y equipo de regulación, o descargue al sumidero, sin presión, donde están ubicadas las bombas de aceite.

- **Filtros de aceite.**- En cada entrada de bomba, se instala un filtro que retiene las impurezas que pueden estar en suspensión en el aceite, evitando que las mismas pasen a los delicados mecanismos de precisión del regulador impidiendo posibles fallos en los mismos como consecuencia de obstrucciones, agarrotamientos, etc.
- **Refrigeradores.**- Para que el aceite no adquiera temperaturas elevadas, lo cual podría repercutir desfavorablemente en su correcta utilización y conservación (grado de viscosidad, descomposición, etc.), se colocan convenientemente equipos de refrigeración. Los refrigeradores están diseñados de tal modo, que el agua de refrigeración no puede acceder nunca al circuito de aceite, en caso de rotura de los conductos del serpentín de agua, por encontrarse esta a menor presión que el aceite. Cuando las bombas están paradas, grupo fuera de servicio, se debe de cerrar el paso de agua. El agua de refrigeración del aceite de regulación puede ser tomada de la tubería de agua de refrigeración del cojinete guía de la turbina, o de otra conducción de la instalación propia para este cometido.
- **Tanque de presión de aire-aceite.**- Se denomina **tanque de regulación o calderín**. En él, se acumula y mantiene el aceite, a una presión elevada y estable, mediante una cámara de aire a presión, suministrado por un **sistema de compresores**. Dicha cámara, además de permitir utilizar gran cantidad de aceite sin pérdida de presión, hace función de amortiguador, manteniendo el nivel de aceite de manera reposada, evitando borboteo, torbellinos y su posible gasificación. Dispone de presostatos adecuados, los cuales accionan los contactos respectivos para provocar señales de alarma o de

desacoplamiento del grupo, en caso de anomalías, tanto por exceso o defecto en el nivel de aceite del tanque aire-aceite, como por variaciones sensibles del valor idóneo de la presión de aceite.

- **Tanque de presión de aire.** Destinado, sólo y exclusivamente, a almacenamiento de aire a presión, para servir de suministro directo a la cámara de aire en el calderín de regulación. Así mismo, y dentro del equipo de regulación, conviene destacar los circuitos y electro-válvulas pertenecientes a los dispositivos conocidos como cerrojos, master y seguridad. Todos ellos intercalados adecuadamente en el sistema de aceite, y cuyas misiones respectivas son:
 - ✓ **Cerrojos.-** Enclavar o desenclavar los servomotores de accionamiento del distribuidor al parar o poner en servicio el grupo.
 - ✓ **Master.-** Conocido también como cierre de emergencia, solenoide o electro de seguridad, el cual, en el momento de arranque de la turbina, y una vez desenclavados los cerrojos, permite el paso de aceite a presión hacia la válvula distribuidora del regulador, situándola en la posición intermedia. Cuando el master es actuado por alguna de las protecciones del grupo, que sobre él intervienen, hace que la válvula distribuidora se coloque en posición que posibilite el cierre inmediato del distribuidor. Cerrado totalmente éste, se enclavan los cerrojos.
 - ✓ **Seguridad.-** Tiene como misión hacer funcionar a los servomotores en el sentido de cierre del distribuidor, una vez que anula la acción que sobre éstos ejerce la válvula distribuidora del regulador. Ello sucede cuando interviene alguna de las protecciones del grupo, provocando la desconexión del mismo respecto de la red. Se dispone de un circuito de seguridad, para el abastecimiento de aceite a presión, independiente del circuito de regulación. Está alimentado por un grupo motobomba, y cuenta con los correspondientes calderines de aceite y aire. Dicho circuito puede ser común a más de un grupo. Es característico de grupos con unas exigencias de seguridad muy estrictas. Las electro-válvulas que controlan

los dispositivos descritos, pueden ser accionadas, voluntariamente, a distancia o localmente en sus emplazamientos.

1.4 CENTRAL “HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO” ⁷

La Central “Hidroeléctrica San Francisco” se encuentra localizada en la región central del Ecuador, en la provincia de Tungurahua, en la cuenca media del río Pastaza como se observa en la figura 1.12, está ligada a la Central Agoyán por estar ubicada aguas abajo y recibir directamente todas las aguas turbinadas.



Figura. 1.12. Ubicación de la Hidroeléctrica San Francisco

Ref.: www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

La Central Hidroeléctrica San Francisco tiene una potencia instalada de 230 MW para la producción de energía hidroeléctrica y la demanda del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.

La central San Francisco se construyó desde febrero de 2004 y dio inicio a la generación comercial la primera unidad (Unidad 02) el 03 de mayo del 2007, la otra Unidad U1 a principios de Junio -07. La central San Francisco tiene dos unidades generadoras de 115 MW cada una, con 230 MW de potencia instalada. El caudal de diseño de la central es de $116 \text{ m}^3/\text{s}$ y una caída neta de 200 metros.

⁷ Documentación interna de la Central “Hidroeléctrica San Francisco”

Las principales obras de ingeniería civil son subterráneas, debido a las características topográficas de la zona.

1.4.1 Obras civiles de la central ⁸

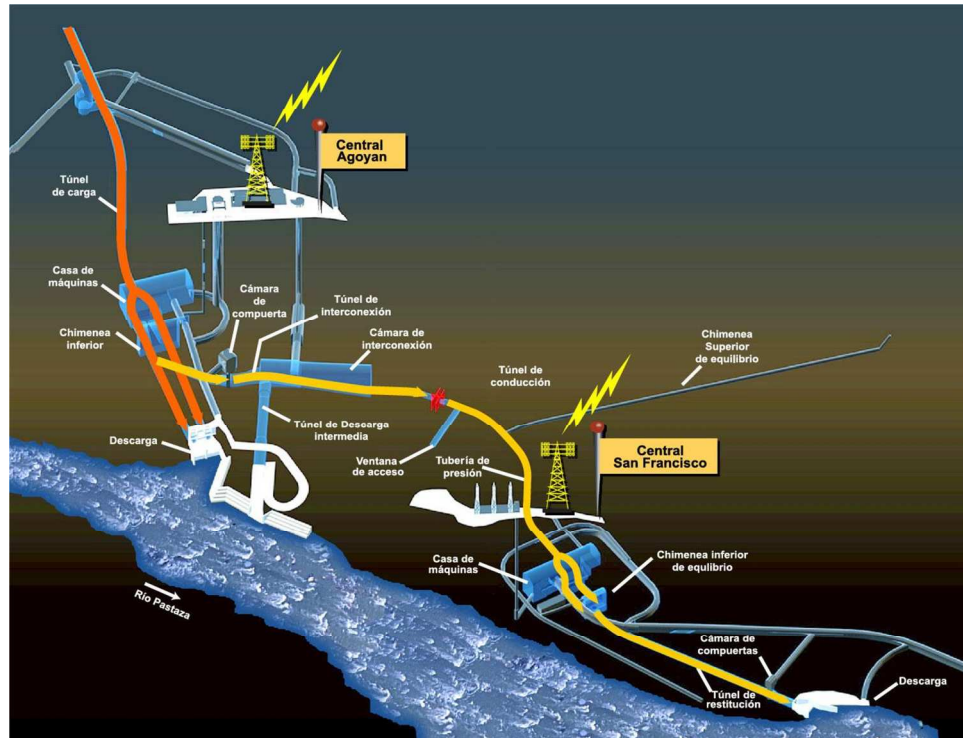


Figura. 1.13. Descripción de la Central Hidroeléctrica San Francisco

Ref.: www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

1.4.1.1 Túnel de interconexión

Se inicia en la descarga de las aguas turbinadas por la Central Agoyán que antes descargaban al río Pastaza. Estos túneles fueron conectados entre sí y su caudal combinado es conducido por el Túnel de Interconexión, con una sección de 62.07 m de longitud, hasta la Cámara de Interconexión. Cerca de la mitad del Túnel, hay una cámara de compuerta que controla el paso del agua hacia la Cámara de Interconexión.

⁸ www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

1.4.1.2 Cámara de interconexión y túnel de descarga intermedia

La Cámara de Interconexión es una caverna subterránea y permite albergar un volumen de compensación tal que permita controlar y absorber las fluctuaciones de nivel y los potenciales efectos transitorios generados por las operaciones de partida y parada de las unidades tanto de Agoyán como de San Francisco.

1.4.1.3 Túnel de conducción

Se origina en la Cámara de Interconexión (aguas arriba) y atraviesa el macizo rocoso a lo largo de 11.099.28 m aproximadamente, de manera paralela al curso del río Pastaza, hasta llegar al codo vertical superior de la Tubería de Presión (aguas abajo).

El Túnel de Conducción tiene una ligera pendiente que oscila entre 0,39% y 0,30% en sentido del flujo, permitiendo su drenaje adecuado tanto durante la construcción como en la etapa de operación, cuando deba ser ocasionalmente vaciado para inspecciones o limpiezas.

1.4.1.4 Túnel ventana 4

Consiste en un Portal y un Túnel de Acceso de 649.30 m de longitud, denominado Ventana 4, ubicado en el extremo oriental del Campamento Central Ventana 4, el mismo que hace posible el ingreso hasta el Túnel de Conducción

1.4.1.5 Chimenea superior de equilibrio

La Chimenea Superior de Equilibrio se inicia en el Túnel de Conducción antes de llegar al tramo horizontal superior de la tubería de presión.

Tiene una longitud de 783.04 m y se compone principalmente de 3 tramos: uno inclinado, uno horizontal y uno vertical.

- El tramo inclinado tiene 712.45 m de longitud, se prolonga en forma inclinada con una pendiente de 11% hasta alcanzar la cota 1.499,28.
- El tramo horizontal, con una longitud de 30.93 m hasta la intersección con el tramo vertical.
- El tramo vertical, con una longitud de 39.66 m, asciende hasta alcanzar la cota 1.547,00. Se comunica a la superficie a través del tramo horizontal. Los tramos inclinado y horizontal se unen al tramo vertical a través de un ramal o bifurcación.

1.4.1.6 Tubería de presión

La Tubería de Presión se compone de tres tramos bien diferenciados:

- Tramo Horizontal Superior: Transición con 58.17 m de longitud y Codo Superior, de 6,60 m de diámetro interno con revestimiento de hormigón armado que se inicia en la cota 1.439,58 y concluye en la cota 1.422,47.
- Tramo Vertical total de la tubería de presión, comprende de una excavación vertical con revestimiento se prolonga desde la cota 1422.47 hasta la cota 1295.50 (L=126.97 m) donde inicia la transición blindada. Entre las cotas 1441.53 a 1422.47 (L=19.06 m) se desarrolla el codo superior que conecta a tramo horizontal superior y entre las cotas 1295.50 a 1276.44 (L=19.06 m) se desarrolla el codo inferior que se enlaza con el tramo horizontal inferior. Estos tres tramos conforman el tramo Vertical, con una longitud total de 165.09 m.
- Tramo Horizontal Inferior: Codo con revestimiento de hormigón, tramo inferior horizontal con 54.83 m de longitud, y los dos túneles bifurcador que suman 67.40 m, que llegan hasta la cota 1.268.45, revestimiento de hormigón armado y blindaje de acero.

1.4.1.7 Casa de máquinas

La Casa de Máquinas está localizada en la margen izquierda del río Pastaza en sentido del flujo y se encuentra embebida en una formación de granito.

Tiene las siguientes dimensiones: longitud = 76.20 m, ancho = 19.20 m y altura = 45.65 m.

La Casa de Máquinas cuenta se compone de cuatro niveles:

- Nivel 1: Donde fueron instaladas las dos unidades de generación alimentadas por el Bifurcador, turbinas, valvulas mariposa y la descarga a los túneles de succión, que a su vez se conectan con la Chimenea Inferior de Equilibrio.
- Nivel 2: Contiene la subestación, turbinas y equipos asociados, transformadores principales.
- Nivel 3: Alberga los generadores, transformadores auxiliares y sistema de frenado de las unidades.
- Nivel 4: En el nivel superior que se conoce como área de montaje/desmontaje durante la construcción y la operación de la Central. El Túnel de Acceso Principal y el Túnel de Cables se originan en este nivel, también alberga las oficinas y sistemas de control de la Central, distribuidos en cuatro pisos como se observa en la figura 1.14.



Figura. 1.14. Casa de Maquinas

Ref.: www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

1.4.1.8 Chimenea inferior de equilibrio

Su finalidad es absorber las variaciones de caudal decurrentes de las operaciones de entrada y salida de las unidades generadoras.

1.4.1.9 Túneles de acceso casa de máquinas

- Túnel de Acceso Principal, cuya finalidad es permitir el acceso a la Caverna de la Casa de Máquinas tanto durante la construcción y montaje de los equipos electromecánicos, así como durante la operación de la Central San Francisco;
- Túnel de Acceso 1, sirve como acceso a la Estructura de Descarga de Restitución;
- Túnel de Succión 1 y 2, permite el flujo del agua turbinada hasta la Chimenea Inferior de Equilibrio.
- Túnel de Construcción, sirve de acceso para la excavación de los Túneles Bifurcador y Tubería de Presión.

1.4.1.10 Túnel de drenaje / escape

El Túnel de Drenaje tiene una longitud de 448.28 m. Su finalidad es drenar todo el macizo rocoso alrededor de la Casa de Máquinas. Adicionalmente, en conjugación con el Túnel de Escape, sirve como ruta de fuga en caso de accidente en la Caverna de Casa de Máquina. El Túnel de Escape tiene una longitud de 30.30 m. Su finalidad es conectar el Edificio de Control con el Túnel de Drenaje en caso de emergencia.

1.4.1.11 Túnel de restitución y cámara de compuertas

El Túnel de Restitución de 221.81 m de longitud. Es la estructura por donde se descarga el agua turbinada de la central San Francisco al Río Pastaza, es decir conecta la Chimenea de Equilibrio Inferior a la Cámara de Compuertas la misma que permitirá el cierre de este túnel para trabajos de mantenimiento, o para proteger a las unidades en caso de crecidas del río.

1.4.1.12 Túnel y pozo de cables

El Túnel de Cables tiene 71.57 m de longitud. Su función es conectar la salida de cables de alta tensión desde la Subestación SF6 hasta el Pozo de Cables. El Pozo de Cables tiene 168.31 m de profundidad. Su función es conectar el Túnel de Cables con el Pórtico Salida de Línea, donde saldrán las líneas en alta tensión hacia la Subestación Totoras.

1.4.2 Equipo mecánico

- Dos turbinas hidráulicas tipo Francis de eje vertical de 115 MW de potencia hidráulica individual, generando 212 MW de potencia eléctrica nominal de la Central.
- Dos reguladores de velocidad tipo PID, electrohidráulica.
- Dos válvulas tipo mariposa biplana de 3000 mm de diámetro.
- Un puente grúa de 210 Ton., de capacidad en el gancho principal y 15 Ton., para el gancho auxiliar.
- Sistemas auxiliares para el enfriamiento, sellos, drenaje, agua potable, ventilación, aire acondicionado, aire comprimido, sistema contra incendio.

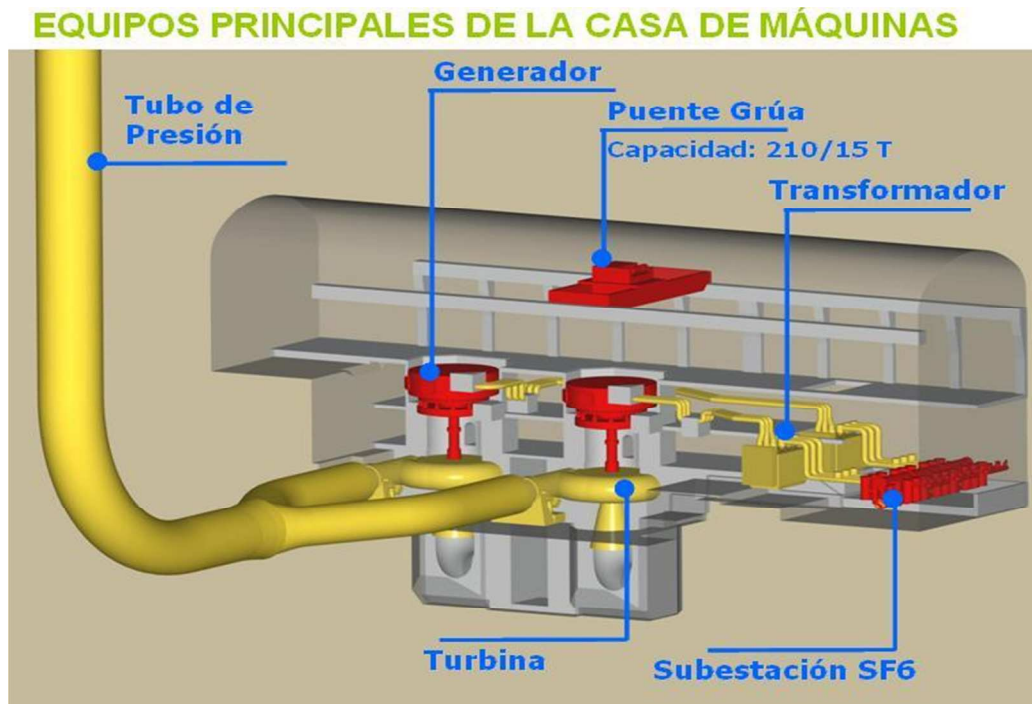


Figura. 1.15. Equipos Mecánicos, eléctricos e hidromecánicos
 Ref.: www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

1.4.3 Equipo eléctrico

- Dos generadores sincrónicos trifásicos con factor de potencia inductivo de 0.9, 13.8 kV, 60Hz, incluidos sistemas de excitación, regulación de tensión, enfriamiento y contra incendios.
- Dos transformadores trifásicos elevadores, 13,8Kv/230 Kv y accesorios, incluyendo sistema contra incendios.
- Una subestación de 230 Kv, en SF6, esquema de doble barra, completa, con accesorios.
- Dos circuitos trifásicos de cables de 230 Kv, con aislamiento de XLPE (Polietileno reticulado estrujado), en accesorios y los elementos de anclaje, fijación y soporte.
- Dos posiciones de arranque de líneas de transmisión de 230 Kv y accesorios
- Instrumentación de mando, supervisión, medición y protección convencionales para las dos unidades generadoras, la subestación de 230 Kv, las líneas de transmisión y sus equipos auxiliares; y el equipo de control remoto a instalarse en la Central Agoyán.

- Sistema de Telecontrol consistente en computadoras de proceso en tiempo real, con periféricos respectivos, estaciones terminales remotas y equipos auxiliares, incluido el sistema de transmisión digital por fibra óptica.
- Equipos y dispositivos para la alimentación de equipos auxiliares, en corriente alterna y continua, incluido el grupo diesel de emergencia (750KVA, 480VAC, 60Hz), de la Casa de Máquinas; y los sistemas de iluminación, comunicación y telemando.
- Cableado eléctrico para los circuitos de fuerza y para los sistemas de mando, supervisión, protección, señalización, comunicación, iluminación y tomacorrientes, soportes, ductos.
- Sistemas de telecomunicación, teletransmisión de datos, busca personas.
- Sistema de conexión a tierra de neutros y cubiertas de equipos.

1.4.4 Datos técnicos de equipos y maquinarias

Turbinas y equipos asociados

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Cantidad | 2 unidades |
| Tipo | Francis |
| Eje | Vertical |
| Potencia nominal | 115 MW |
| Caudal nominal por unidad | 58,00 m ³ /s |
| Salto neto | 213,4 m |
| Rendimiento | 95,50 % |
| Fabricante /Suministro | VATECH |

Generadores y equipos asociados

| | |
|---------------------|----------------|
| Cantidad | 2 unidades |
| Tipo de fabricación | SAV 535/149/22 |
| Potencia nominal | 125700 Kva. |
| Tensión nominal | 13800 Vac |

| | |
|--|-------------------------|
| Corriente nominal | 5259 A |
| Factor de potencia | 0,90 |
| Frecuencia nominal | 60 Hz |
| Rotación nominal | 327,3 rpm |
| Rotación de disparo | 560 rpm |
| Sentido de rotación desde LNA | Horario |
| Tipo de excitación | Estática |
| Tensión de excitación nominal | 230 Vcc |
| Corriente de excitación nominal | 1.100 Acc |
| Estator | |
| Tipo de bobinado | Imbricado |
| Sistema de Aislamiento | Micadur |
| Clase de Aislamiento | F |
| Secuencia de fase T1-T2-T3 | ABC |
| Máxima elevación de temperatura | 80 °C |
| Diámetro externo | 6.120 mm |
| Diámetro interno | 5.350 mm |
| Altura del núcleo | 1.490 mm |
| Número de ranuras | 240 |
| Rotor | |
| Número de polos | 22 |
| Clase de Aislamiento | F |
| Máxima elevación de temperatura | 80 °C |
| Características Eléctricas | |
| Resistencia devanado del estator a 75°C | 0,003025 Ω /fase |
| Resistencia del devanado del rotor a 75°C | 0,1807 Ω |
| Capacitancia devanado del estator/fase | 0,46 μ F |
| Capacitancia del devanado del rotor | 0,09 μ F |
| Reactancia síncrona de eje directo no saturada | 1,10 pu |
| Reactancia síncrona de eje directo saturada | 0,98 pu |
| Relación de corto-circuito | 1,05 |

| | |
|-------------------------|--------|
| Fabricante / Suministro | ALSTOM |
|-------------------------|--------|

Transformadores de Excitación

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Cantidad | 2 unidades |
| Tensión | 13,8 kV / 585 V |
| Potencia | 1.100 kVA |
| Tipo | Seco (AN) |
| Fabricante / Suministro | WALTEC/ ALSTOM |

Tubería de Presión

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| Longitud total | 319,48 m |
| Longitud revestida en hormigón | 192,60 m |
| Longitud revestida en acero | 126,88 m |
| Material | A 537 Cl. 2 |
| Diámetro inicial | 5.700 mm |
| Diámetro final | 3.000 mm |
| Fabricante / Suministro | moeller /vatech |

Válvulas Mariposas

| | |
|--------------------------------|--------------|
| Cantidad | 2 unidades |
| Diámetro interior | 3.000 mm |
| Tiempo de apertura | 180 s |
| Tiempo de cierre normal | 180 s |
| Tiempo de cierre de emergencia | 120 s |
| Tiempo de abertura del By Pass | 20 s |
| Fabricante / Suministro | CIE / VATECH |

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS REGULADORES DE VELOCIDAD DE LAS TURBINAS

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido está ubicado en el piso de turbinas, en el nivel 1273 m.s.n.m entre el recinto turbina U1 y turbina U2. Este equipo tiene 5 años de funcionamiento en el sistema, es decir está en la etapa de fallos normales, con una tasa de errores menores y constantes.

Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas, en este sentido la principal falla presente, es un error de funcionamiento en la programación del PLC, al activarse la alarma de temperatura alta o emergencia de los compresores, sin que se presente esta condición de paro, por lo señalado actualmente estas señales están desconectadas.

2.1.1 Elementos constitutivos del sistema de aire comprimido

El sistema consta de dos compresores y un tanque de presión para almacenamiento del aire comprimido y un tablero de control lógico programable como se muestra en la figura 2.1. Los compresores son controlados de forma automática o de forma manual mediante el PLC y un display que permite visualización, modificación de parámetros de funcionamiento de los compresores y visualización de alarmas.

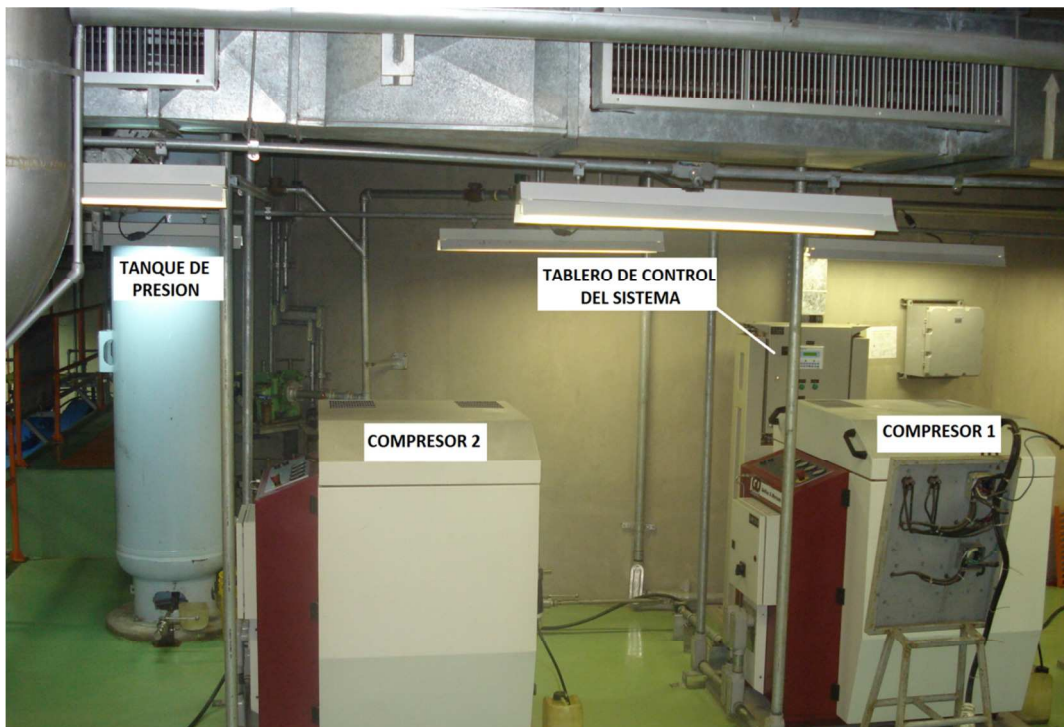


Figura. 2.1. Disposición de los compresores

2.1.1.1 Descripción de las unidades de compresión

Las unidades de compresión PREMIAIR 27S están constituidas por compresores de émbolo oscilante, este tipo de compresores son apropiados para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 1 .100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa (bar).

Para poder obtener el aire a presiones elevadas, estas unidades constan de varias etapas compresoras. El aire aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. El volumen de la segunda cámara de compresión es, en conformidad con la relación, más pequeño. Durante el trabajo de compresión se forma una cantidad de calor, que tiene que ser evacuada por el sistema refrigeración.

Estas unidades de compresión PREMIAIR 27S están proyectadas para comprimir aire entre 100 y 414 bar como presión máxima de trabajo para aplicaciones industriales, esta y otras especificaciones técnicas de los compresores podemos observar en el ANEXO 1.

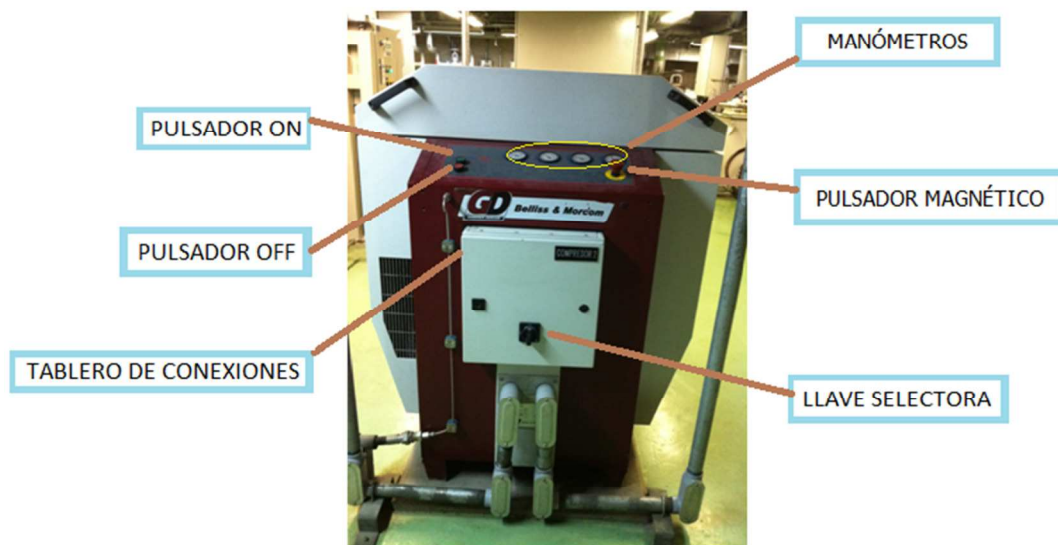


Figura. 2.2. Compresor premiair 27s

A continuación se detallan los elementos dispuestos en la figura 2.2 los mismos que permiten energizar/desenergizar, realizar un paro de emergencia y visualización de las etapas de compresión.

Pulsador ON.- Energiza el compresor en modo de operación manual.

Pulsador OFF.- Desenergiza el compresor en modo de operación manual.

Manómetros.- 4 manómetros que permiten visualizar la 4 etapas de compresión.

Llave selectora.- Energiza/desenergiza el tablero de conexiones del compresor.

Pulsador magnético.- Activa la parada de emergencia del compresor.

Tablero de conexiones.- En él se disponen la conexiones de fuerza y control del compresor y sirve como interconexión con el tablero del controlador lógico programable descrito en la figura 2.2.

2.1.1.2 Tablero de controlador lógico programable

En el tablero del PLC mostrado en la figura 2.3 se disponen algunos elementos que se detallan a continuación, los cuales permiten realizar el control automático del sistema de aire comprimido, configurar parámetros operativos y el monitorear el sistema.

Indicador C1.- Muestra el estado del compresor C1

Indicador C2.- Muestra el estado del compresor C2.

Display EXPERT.- Permite visualizar el estado del sistema, configurar parámetros de presión, tiempos de purga y elegir la prioridad del compresor

Sirena.- Emite una alarma sonora al momento si el PLC detecta alguna falla en el sistema.

Llave selectora.- Energiza/desenergiza el tablero.

Pulsador magnético.- Activa la parada de emergencia del sistema completo evitando el trabajo de los compresores.

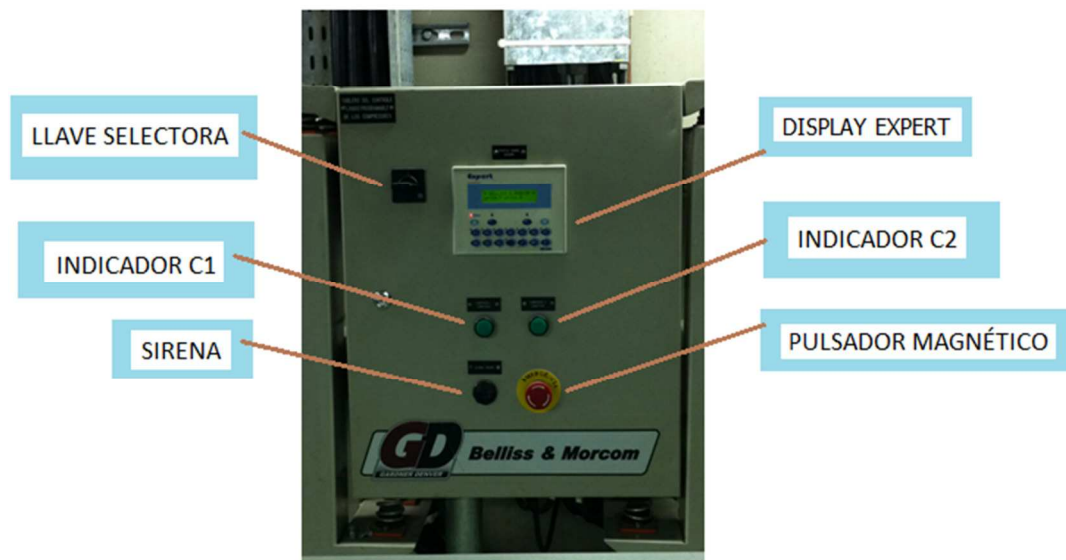


Figura. 2.3. Tablero de controlador lógico programable

2.1.1.3 Display expert

Permite la comunicación hombre máquina ya que nos permite configurar parámetros operativos como presiones de arranque del sistema, seleccionar prioridad de los compresores, seleccionar modo de operación, energiza/desenergiza sistema, tiempos de operación de electroválvula de purga, silenciar alarma sonora, resetear alarmas y visualizar el estado actual del sistema como se muestra en la figura 2.4.



Figura. 2.4. Diplay expert

Señal de estado.- Muestra el estado del sistema energizado/desenergizado

Display.- Pantalla de cristal líquido que permite observar los parametro de funcionamiento del sistema.

Botones.- Los botones K muestran las diferentes pantallas y opciones que tiene cada una de ellas y se detalla a continuación, S1 y S2 permiten desplazarte por las opciones, selección y enter configura el sistemas.

K1.- Local/ remoto - modo funcionamiento del sistemas.

K2.- liga/desliga - energiza o desenergiza el compresor elegido como prioridad.

K3.- Comp 1/ Comp 2 - selecciona la prioridad de trabajo.

K4.- Pantalla para configuracion de tiempos de actuacion valvula de purga C1 y C2.

K5.- No configurado.

K6.- No configurado.

K7.- Silencia la alarma sonora presente en el tablero del PLC que se muestra en la figura 2.3.

K8.- Reset de alarmas.

K9.- No configurado.

K0.- No configurado.

S1.- Permite movilizarse por las opciones de las pantallas.

S2.- Permite movilizarse por las opciones de las pantallas.

ESC.- Regresa a la pantalla principal.

LOCK.- Bloque los botones para evitar que sean manipulados por personal no autorizado.

SELECCION.- Selecciona los parametros dentro de las pantallas.

ENTER.- Configura el parametro seleccionado presión, tiempo, prioridad, etc.

2.2 FUNCIONAMIENTO

2.2.1 Control automático del sistema de aire comprimido

El control automático del sistema de aire comprimido esta comandado por una serie de relés, el PLC y un display.

El arranque y parada automática de los compresores en el sistema esta comandado por la presión del tanque, prioridad del compresor y la selección del modo de operación.

El funcionamiento automático del sistema de aire comprimido debe cumplir condiciones de presión de acuerdo a la configuración inicial y cumplir las condiciones citadas a continuación.

- ✓ No deben responder al accionamiento manual ON/OFF ubicados en cada compresor y que se muestran en la figura 2.2.
- ✓ El sistema se deshabilita desde la llave selectora CH1 o desde el pulsador de parada de emergencia ubicado en el tablero de PLC y mostrado en la figura 2.3.
- ✓ El sistema deshabilita a los compresores en las siguientes condiciones:
 - ❖ Señal activa de pulsadores de emergencia.
 - ❖ Nivel bajo de aceite.
 - ❖ Temperatura alta.

2.2.2 Control manual del sistema de aire comprimido

El funcionamiento manual del sistema es independiente de la presión del tanque y de la prioridad.

- ✓ Se energizar/desenergizar desde los pulsadores dispuestos en el compresores que se muestran en la figura 2.2, o desde el display según las configuraciones en las pantallas K1, K2 y K3 que se muestra en la figura 2.4.
- ✓ El sistema se deshabilita desde la llave selectora CH1 o desde el pulsador de parada de emergencia ubicado en el tablero de PLC y mostrado en la figura 2.3.
- ✓ El sistema deshabilita a los compresores en las siguientes condiciones:
 - ❖ Señal activa de pulsadores de emergencia.
 - ❖ Nivel bajo de aceite.
 - ❖ Temperatura alta.

2.2.3 Mantenimiento del sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido es mantenido regularmente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

- ❖ *El mantenimiento rutinario*, implica que siempre el sistema debe estar limpio, eliminando las capas de aceite, suciedad y condensado que se hayan depositado en el equipo. Además, es necesario un examen visual diario del conjunto, asociado al registro de las horas de funcionamiento y del mantenimiento, identificando futuras fallas.

- ❖ *El mantenimiento preventivo*, es planificado eficazmente a partir de las hojas de registro del sistema. Principalmente este tipo de mantenimiento está dividido en mantenimiento trimestral, semestral y anual.

2.2.3.1 Principales fallos del sistema de aire comprimido

El sistema de aire comprimido durante este último año presenta fallos importantes, con una tasa de errores constantes, entre los que se puede mencionar:

- ❖ *Error en el funcionamiento de electroválvula*, con lo cual deja fuera de funcionamiento el compresor # 1, porque este elemento permite el paso del aire hacia el tanque de presión y permite la purga del condensado.
- ❖ *Desconfiguración del PLC*, uno de los problemas importantes que se ha presentado en el sistema, porque se produjo el colapso total dejando de funcionar los dos compresores.
- ❖ *Activación errónea de la señal de temperatura alta de los compresores*, es el mayor problema actualmente, porque desenergiza uno de los compresores, no permitiendo ponerlo en funcionamiento ni manual ni automático, en

definitiva queda un solo compresor en funcionamiento. Estadísticamente podemos mencionar que este problema se presenta por dos ocasiones en el Compresor 1 y por tres ocasiones en el compresor 2, siempre antes de desconectar la señal.

Se debe mencionar que para poder solucionar estos problemas, fue necesario contactarse con personal de la empresa ALSTOM, los mismos que enviaron personal de Brasil a solucionar los inconvenientes.

2.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA

Para poder aplicar una reingeniería al sistema, es necesario realizar un levantamiento de información del sistema para poder entender el funcionamiento del regulador de velocidad, además para poder saber cuándo y porque su utilización.

2.3.1 Dimensionamiento del sistema de aire comprimido⁹

Sistema de regulación de velocidad

| Regulador de Velocidad | |
|--|--------------------|
| Cantidad | 2 unidades |
| Tipo | Electro-hidráulico |
| Fabricante/Suministro | REIVAX / VATECH |
| Tanque Almacenamiento de Aceite | |
| Cantidad | 2 unidades |

⁹ Memoria de calculo Sistema de aire comprimido, alstom, pag 2

| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Fabricante/Suministro | REIVAX / VATECH |
| Tanque Aire - Aceite a Presión | |
| Cantidad | 2 unidades |
| Volumen | 1400 litros |
| Fabricante/Suministro | REIVAX / VATECH |
| Compresores | |
| Cantidad | 2 unidades |
| Rotación | 1.300 RPM |
| Máxima presión de Trabajo | 7,4 Mpa |
| Fabricante/Suministro | BELLIS & MORCOM/ VATECH |

Tabla. 2.1. Características de sistema de regulación de velocidad

Ref.: www.hidropastaza.gob.ec/sf.html

Sistema de aire comprimido

Pr = Presión de regulación = 61 bar = 62 bar abs.

Máxima pérdida de carga = 5 bar

Pv = Variación de presión = 5 bar

Pa = Presión del aire comprimido = 71 bar = 72 bar abs.

Vacum = Volumen del acumulador = 1400 litros

Vo = Volumen de óleo = 534 litros

Var = Volumen de aire = 866 litros

Vi = Volumen de inyección de aire en el acumulador aire/óleo = 40 litros

Vt = Volumen del tanque

Q = Caudal unitaria

T = El Tiempo de llenado de aire = 12 horas

N de compresores = 2

Dimensionamiento del tanque de aire:

$$Vt = \frac{Vi \times Pr}{Pv} =$$

$$Vt = \frac{40 \times 62}{5} = 372 \text{ litros}$$

El volumen seleccionado es **500** litros.

Cálculo de los compresores de aire:

$$Q = \frac{(Pr \times Var) + (Pa \times Vt)}{2 \times T} =$$

$$Q = \frac{(62 \times 866) + (72 \times 500)}{2 \times 12 \times 1000} = 3,74 \text{ Nm}^3 / h$$

El caudal seleccionado por compresor es **5,00 Nm³/h**. **N**: condiciones normales del aire (0°C, 1atm=1.01325 bar, aire seco 0% de humedad relativa)

2.3.2 Planos eléctrico-electrónicos y descripción

Dentro de el levantamiento de la información se realizo los planos eléctricos-electrónicos del sistema de aire comprimido para poder realizar un estudio sobre un rediseño del proyecto para corregir las **fallas que presenta el sistema** en la actualidad y obtener un software propio de la empresa que nos permita realizar un mantenimiento al 100% del sistema sin depender de la empresa constructora del proyecto ALSTOM.

2.3.3 Simbología eléctrica

En el plano No.5 se detalla los elementos utilizados en el proyecto con la simbología y nomenclatura utilizada por el constructor.

2.3.4 Panel PLC y placa de montaje

El plano No. 3 nos muestra las características del tablero en su vista frontal, vista lateral, la distribución de las regletas internas en el tablero y la placa de montaje.

Vista frontal.- Se detalla las medidas del tablero y elementos montados en el mismo:

1. Membrete de tablero
2. Display EXPERT
3. H1 Luminaria de estado de C1
4. H2 Luminaria de estado de C2
5. Sirena sonora
6. Pulsador magnético (parada de emergencia)
7. Cerradura

Placa de montaje.- Se detalla las medidas de la placa, distribución de canaletas y los rieles A, B y C para disponer los elementos eléctricos-electrónicos.

Riel A

Borneras de conexión

X0

X1

X2

X3

X4

X6

Riel B

Relés de protección desde R1 a R17, Matriz de diodos y B1

Riel C

Mini-disyuntores

DJ1

DJ2

DJ3

DJ4




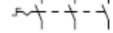
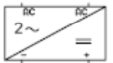
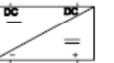



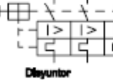
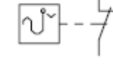
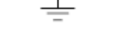


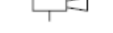










Fuentes de voltaje G1 y G2

Borneras X7 y X8.

Vista lateral.- Se detalla las medidas del tablero y el borne de conexión a tierra R1.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

SIMBOLOGÍA ELECTRICA CONFORME UTILIZADA EN EL PROYECTO

| | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|--|--|
|  Conductor de fuerza y comando W |  Contacto NA H |  Luminaria de Señalización H |  Seccionador abertura con carga Q |  Fuente bipolar U |  Fuente bipolar PS2 | | |
|  Conductor de tierra (PEN) W |  Contacto NF S |  Llave selectora S |  Disyuntor Termomagnético QM |  Termoestado B1 | | | |
|  Tierra (PGH) PE |  Botón Pulsador NA B |  Fin de curso NA no actuado SL |  Sirena QM | | | | |
|  Borne de fuerza y comando X1 |  Luminaria H |  Válvula solenoide Y |  Transformador T | | | | |
|  Fusible F |  Botón Pulsador con traba NA BT |  Mini-disyuntor DJ | | | | | |
|  Conexión del conductor K |  Bobina de red K |  Motor de Inducción trífase M | | | | | |

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

5

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

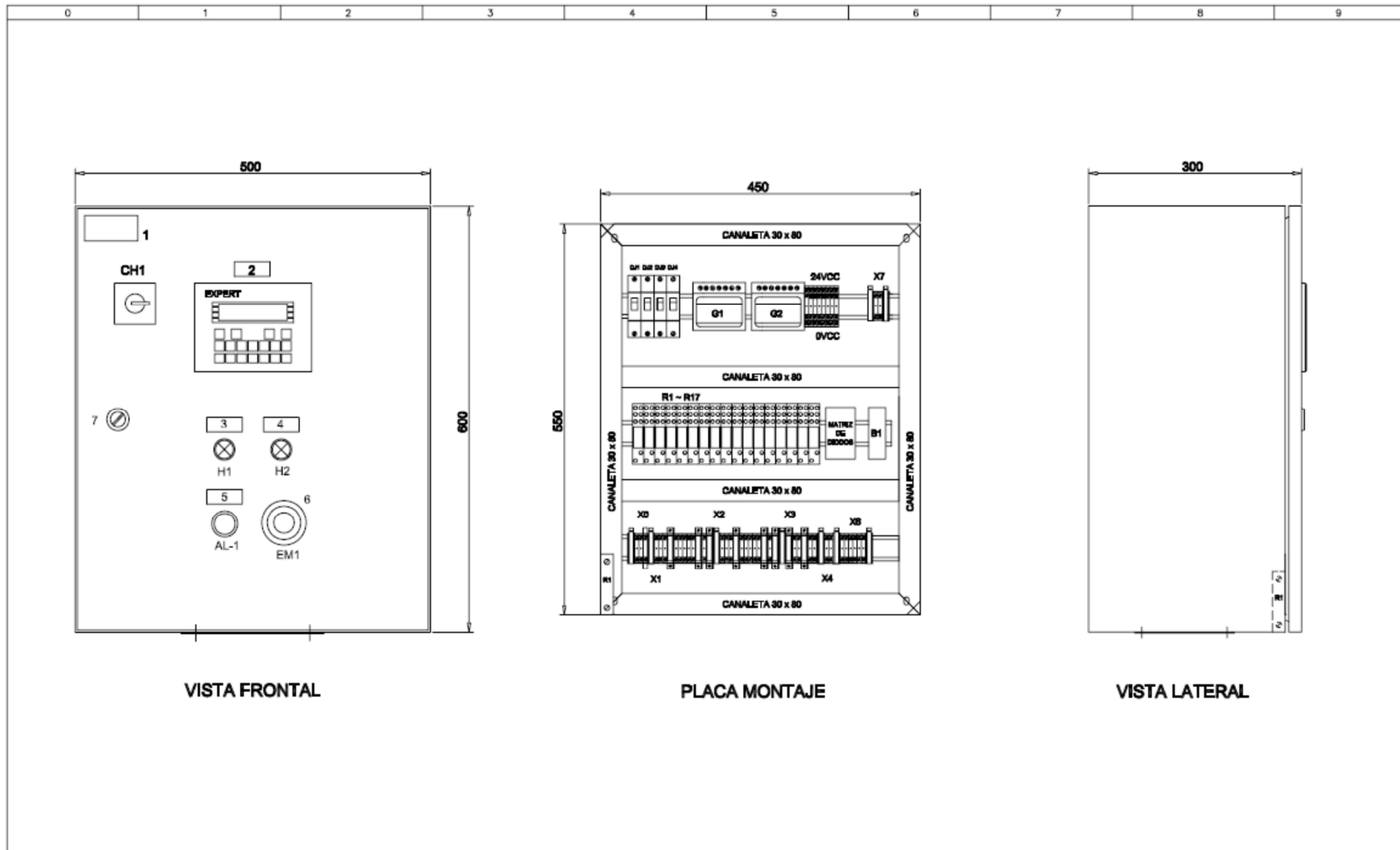
CONTIENE: SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 28



VISTA FRONTAL

PLACA MONTAJE

VISTA LATERAL

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

3

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: PANEL PLC Y PLACA DE MONTAJE

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 28

2.3.5 Alimentación de 125vcc

En el plano No.6 se observa dos circuitos, alimentación auxiliar y alimentación de 125VCC.

Alimentación auxiliar

La sección 0 y 1 del plano No.6, muestra la alimentación de la resistencia de calefacción R1 de 50W-220V la misma que es activada mediante el termistor B1 y para protección del circuito está el disyuntor DJ1-6A.

Alimentación 125VCC

La sección 2 y 3 del plano No.6, muestra la alimentación de 125VCC para las fuentes PS1 y PS2 la misma que proviene desde TD1-125VCC y TD2-125VCC (tablero de distribución 2 de 125VCC) proveniente del plano SFR-DU5ALS-CMBT-001 que se muestra en el ANEXO 2, en esta misma sección se encuentra la llave interruptor CH1 que habilita o deshabilita la alimentación.

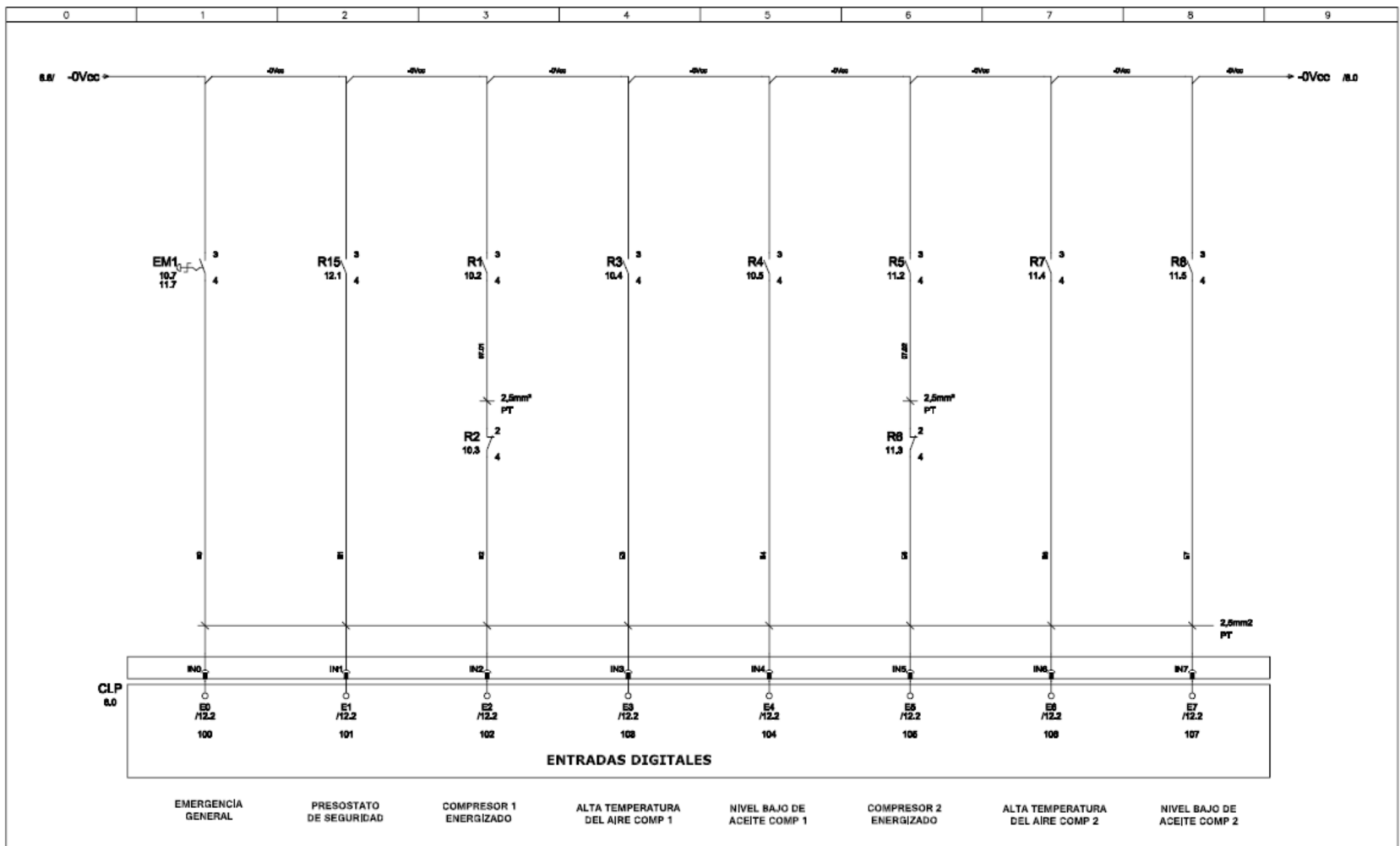
Los disyuntores DJ2-2A y DJ4-2A como se observa en la sección 5 y 6 del plano No.6 respectivamente permiten proteger las fuentes PS1 y PS2, los relés R16-24VCC y R17-24VCC actúan si las fuentes de voltaje dejan de emitir 24VCC.

La sección 5 del plano No.6. muestra el disyuntor DJ3-2A a la salida de las fuentes PS1 y PS2 el cual permite proteger la alimentación al PLC 1752P43R.

2.3.6 Entradas digitales

El plano No.7 detalla las entradas digitales recibidas por el PLC y que permiten actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático. Estas entradas se detallan según las secciones del plano No.7 a continuación.

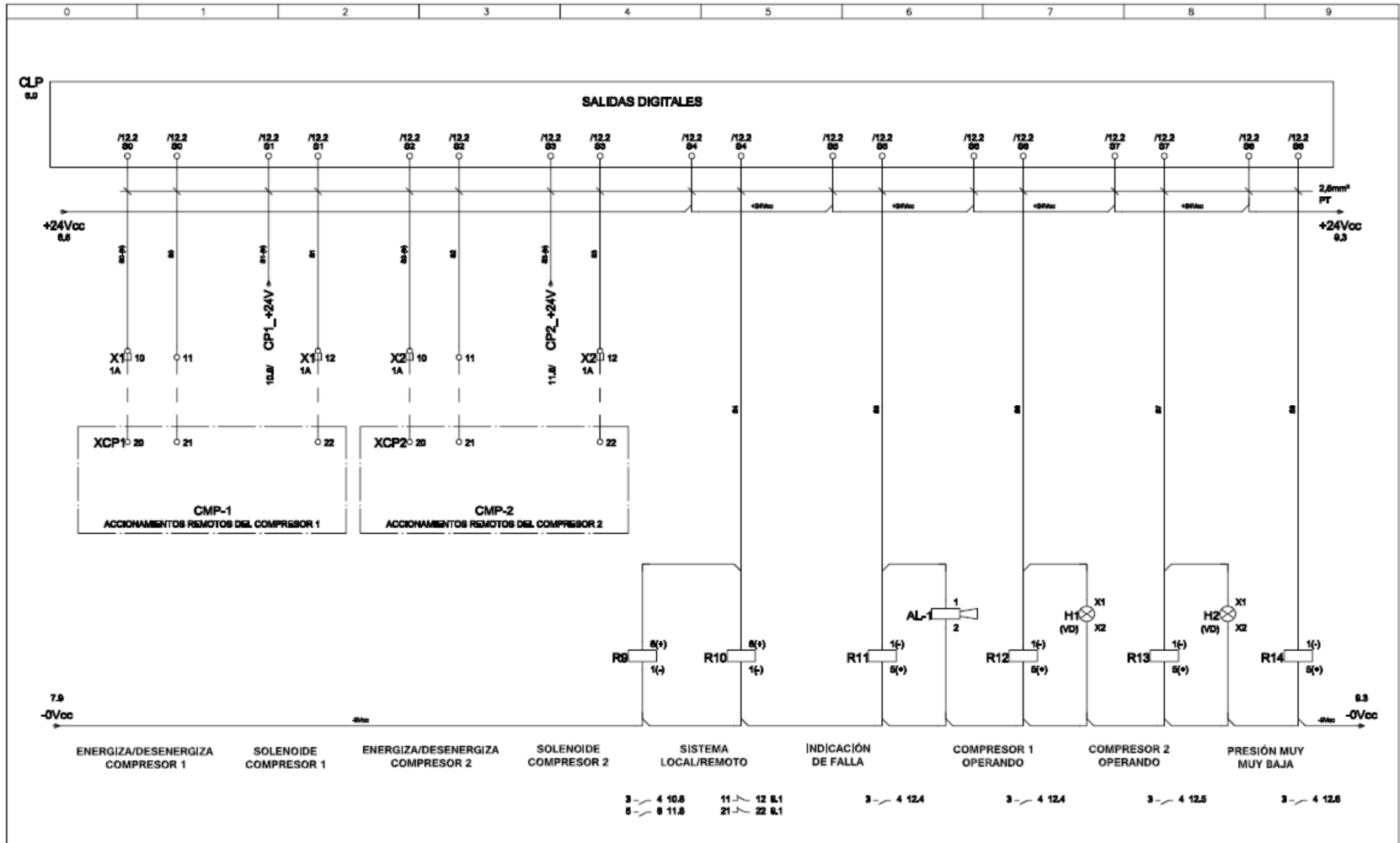
- ❖ Sección 0 muestra las líneas de alimentación de 24VCC proveniente del plano No.6 sección 6.
- ❖ Sección 1 corresponde a la entrada E0 EMERGENCIA GENERAL y la actuación del contacto NA comandado por el pulsador magnetico EM1.
- ❖ Sección 2 corresponde a la entrada E1 PRESOSTATO DE SEGURIDAD y la actuación del contacto NA comandado por el relé R15.
- ❖ Sección 3 corresponde a la entrada E2 COMPRESOR 1 ENERGIZADO, la actuación del contacto NA comandado por el relé R1 y la actuación del contacto NC comandado por el relé R3.
- ❖ Sección 4 corresponde a la entrada E3 TEMPERATURA ALTA C1 y la actuación del contacto NA comandado por el relé R3.
- ❖ Sección 5 corresponde a la entrada E4 NIVEL DE ACEITE BAJO C1 y la actuación del contacto NA comandado por el relé R4.
- ❖ Sección 6 corresponde a la entrada E5 COMPRESOR 2 ENERGIZADO la actuación del contacto NA comandado por el relé R5 y la actuación del contacto NC comandado por el relé R6.
- ❖ Sección 7 corresponde a la entrada E6 TEMPERATURA ALTA C2 la actuación del contacto NA comandado por el relé R7.
- ❖ Sección 8 corresponde a la entrada E7 NIVEL DE ACEITE BAJO C2 y la actuación del contacto NA comandado por el relé R8.



2.3.7 Salidas digitales

El plano No.8 detalla las salidas digitales enviadas por el PLC y que permiten actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático. Estas salidas se detallan según las secciones del plano No.8 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra la procedencia de las líneas de alimentación de 24VCC que provienen del plano No.6 sección 5, 0VCC provienen del plano No.7 sección 9.
- ❖ Sección 1 muestra la salida S0 ENERGIZA/DESENERGIZA COMPRESOR 1 y las conexiones con el tablero CMP-1.
- ❖ Sección 2 muestra la salida S1 SOLENOIDE COMPRESOR 1 y las conexiones con el tablero CMP-1.
- ❖ Sección 3 muestra la salida S2 ENERGIZA/DESENERGIZA COMPRESOR 2 y las conexiones con el tablero CMP-2.
- ❖ Sección 4 muestra la salida S3 SOLENOIDE COMPRESOR 2 y las conexiones con el tablero CMP-2.
- ❖ Sección 5 muestra la salida S4 SISTEMA EN LOCAL/REMOTO junto con la activación de los relés R9 y R10 en los planos No.9 sección 1 y plano No.10 sección 8.
- ❖ Sección 6 muestra la salida S5 INDICACIÓN DE FALLA junto con la activación del relé R11 en el plano No.12 sección 4 y la activación de AL-1 alarma sonora.
- ❖ Sección 7 muestra la salida S6 COMPRESOR 1 OPERANDO junto con la activación del relé R12 en el plano No.12 sección 4 y la activación de H1 luminaria de estado de compresor 1.
- ❖ Sección 8 muestra la salida S7 COMPRESOR 2 OPERANDO junto con la activación del relé R13 en el plano No.12 sección 5 y la activación de H2 luminaria de estado de compresor 2.
- ❖ Sección 9 muestra la salida S8 PRESIÓN MUY BAJA junto con la activación del relé R14 en el plano No.12 sección 6.
- ❖ Sección 9 muestra también la continuación de las líneas de alimentación 24VCC y 0VCC al plano No.9 sección 3.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

8

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: SALIDAS DIGITALES

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

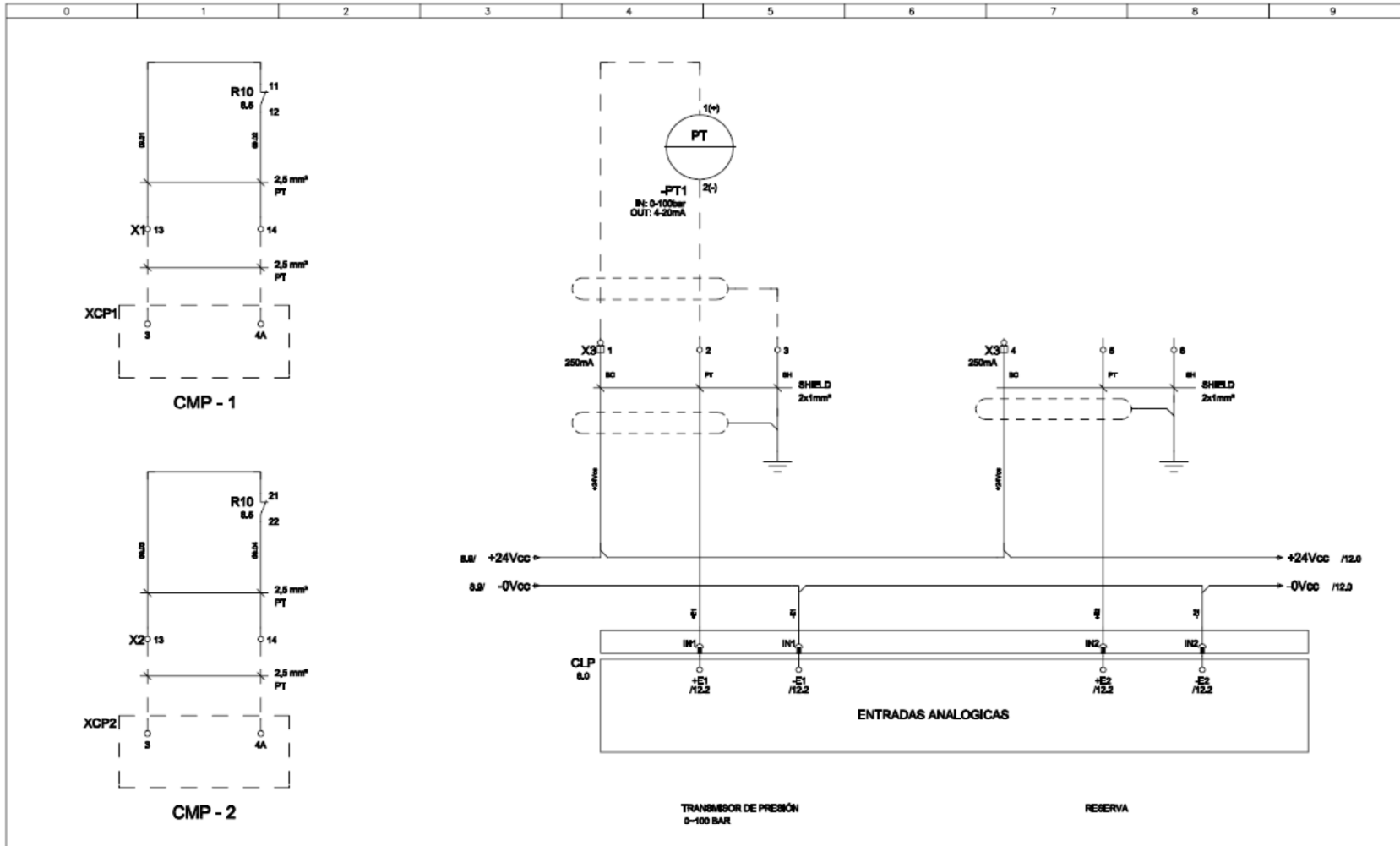
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 26

2.3.8 Entrada analógica

El plano No.9 detalla las entradas analógicas recibida por el PLC, señal que proviene del transmisor de presión. Estas entradas se detallan según las secciones del plano No.9 a continuación.

- ❖ Sección 1 muestra la conexión del contacto NC actuado por el relé R10 señal que proviene del plano No.8 sección 5 con CMP-1 y CMP-2.
- ❖ Sección 3 muestra las líneas de alimentación 24VCC y 0VCC provenientes del plano No.8 sección 9.
- ❖ Sección 4 y 5 muestra la conexión del transmisor de presión PT a la entrada analógica E1.
- ❖ Sección 7 y 8 muestra la conexión de reserva para un transmisor de presión PT de reserva a la entrada analógica E2.
- ❖ Sección 9 muestra también la continuación de las líneas de alimentación 24VCC y 0VCC al plano No.12 sección 0.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

9

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: ENTRADAS ANALÓGICAS

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

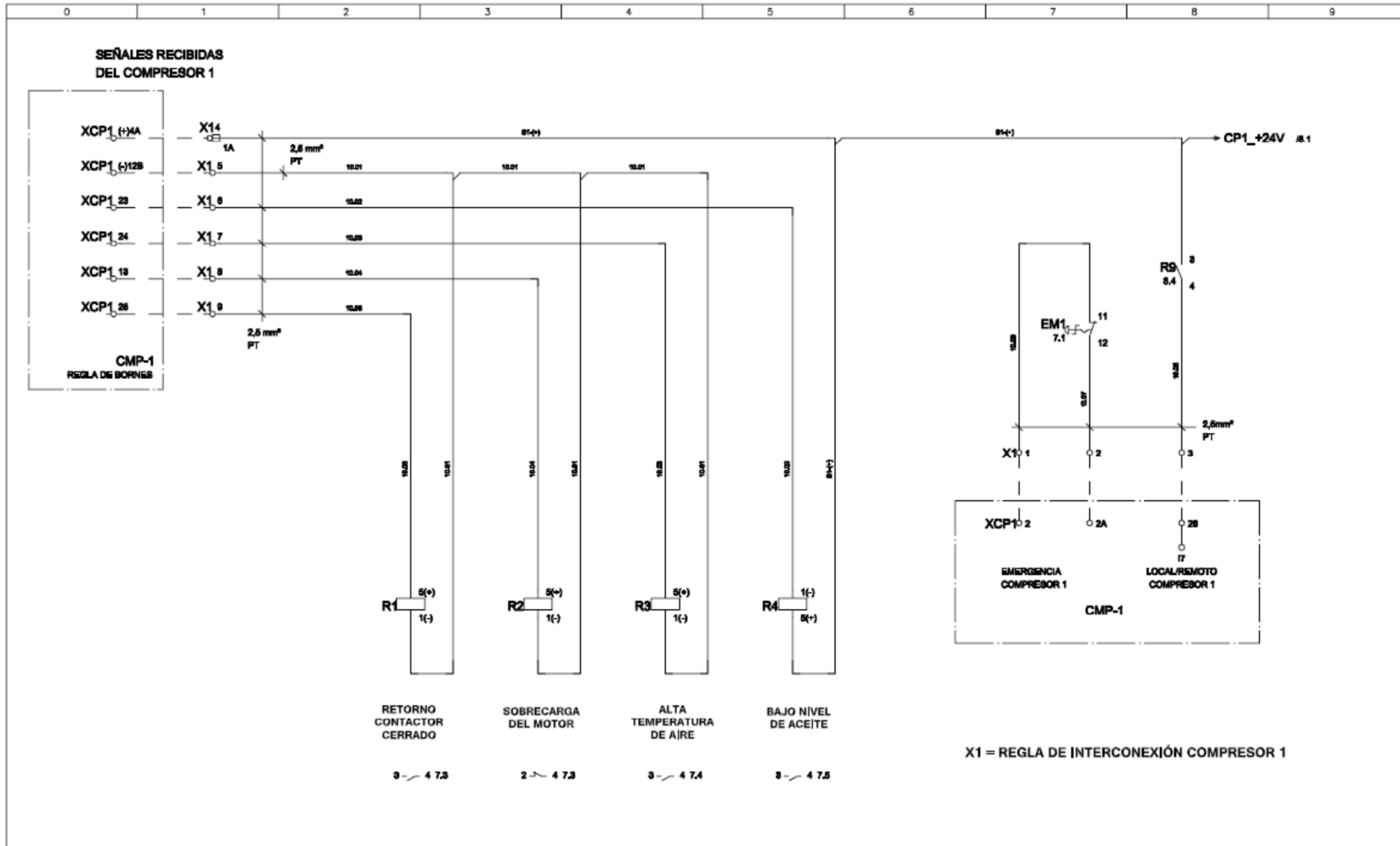
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 26

2.3.9 Interconexión PLC - CMP-1

El plano No.10 detalla las señales provenientes del compresor 1 y la actuación de los relés R1, R2, R3 y R4. Estas señales se detallan según las secciones del plano No.10 a continuación.

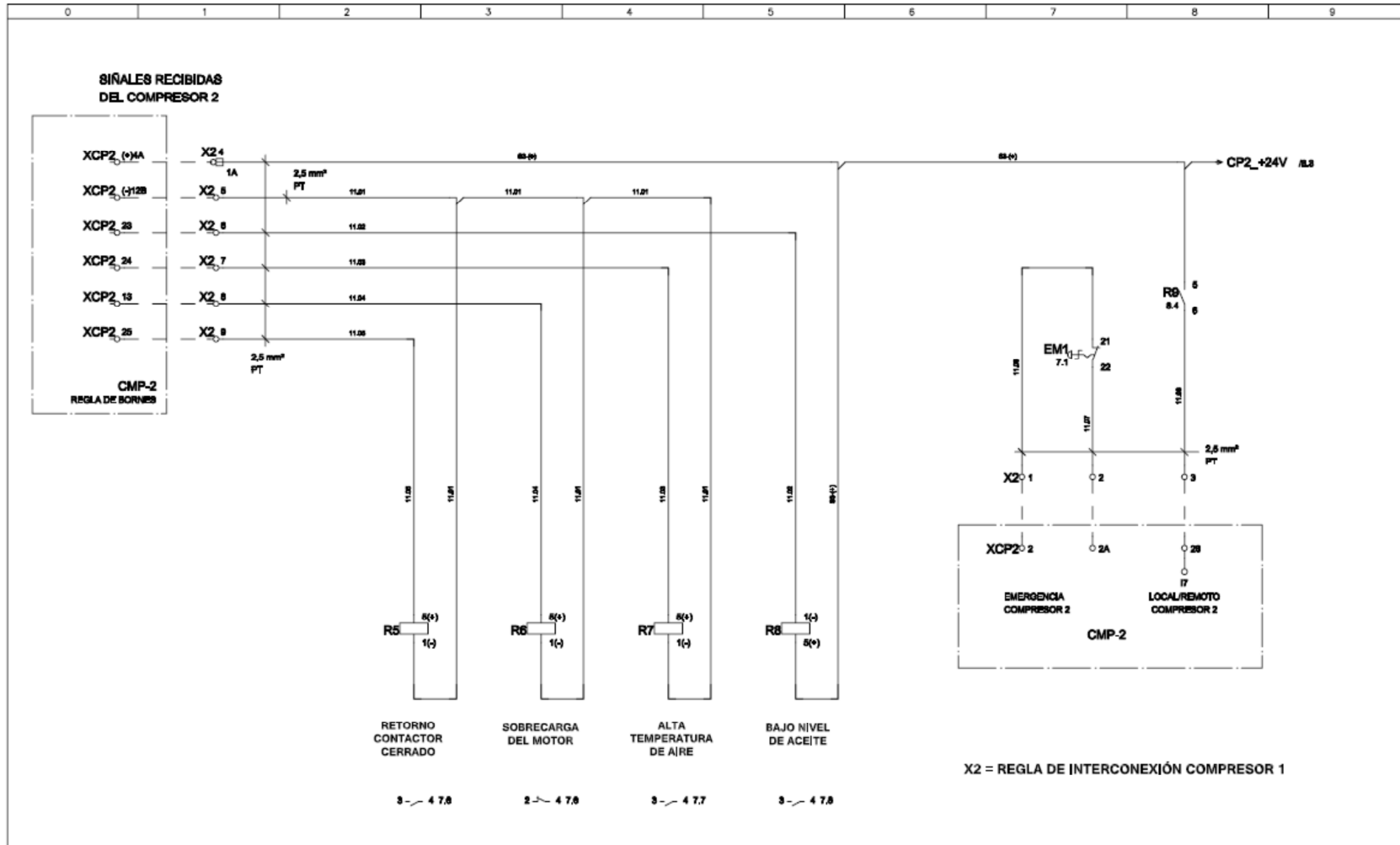
- ❖ Sección 0 muestra la regleta de bornes XCP1 del tablero CMP-1
- ❖ Sección 1 muestra la regleta de bornes X1 ubicada en el tablero del PLC y detallada en el plano No.3 sección 4.
- ❖ Sección 2 muestra el relé R1 RETORNO DEL CONTACTOR CERRADO y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 3.
- ❖ Sección 3 muestra el relé R2 SOBRECARGA DEL MOTOR y la actuación del contacto NC que este relé comanda en el plano No.7 sección 3.
- ❖ Sección 4 muestra el relé R3 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 4.
- ❖ Sección 5 muestra el relé R4 BAJO NIVEL DE ACEITE y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 5
- ❖ Sección 7 muestra el PULSADOR MAGNÉTICO NC EM1 y su interconexión con el PLC en plano No.7 sección 1.
- ❖ Sección 8 muestra la actuación del contacto NA comandada por el relé R9 proveniente del plano No.8 sección 4.
- ❖ Sección 9 muestra también la continuación de las líneas de alimentación 24VCC al plano No.8 sección 1.



2.3.10 Interconexión PLC - CMP-2

El plano No.11 detalla las señales provenientes del compresor 2 y la actuación de los relés R5, R6, R7 y R8. Estas señales se detallan según las secciones del plano No.11 a continuación.

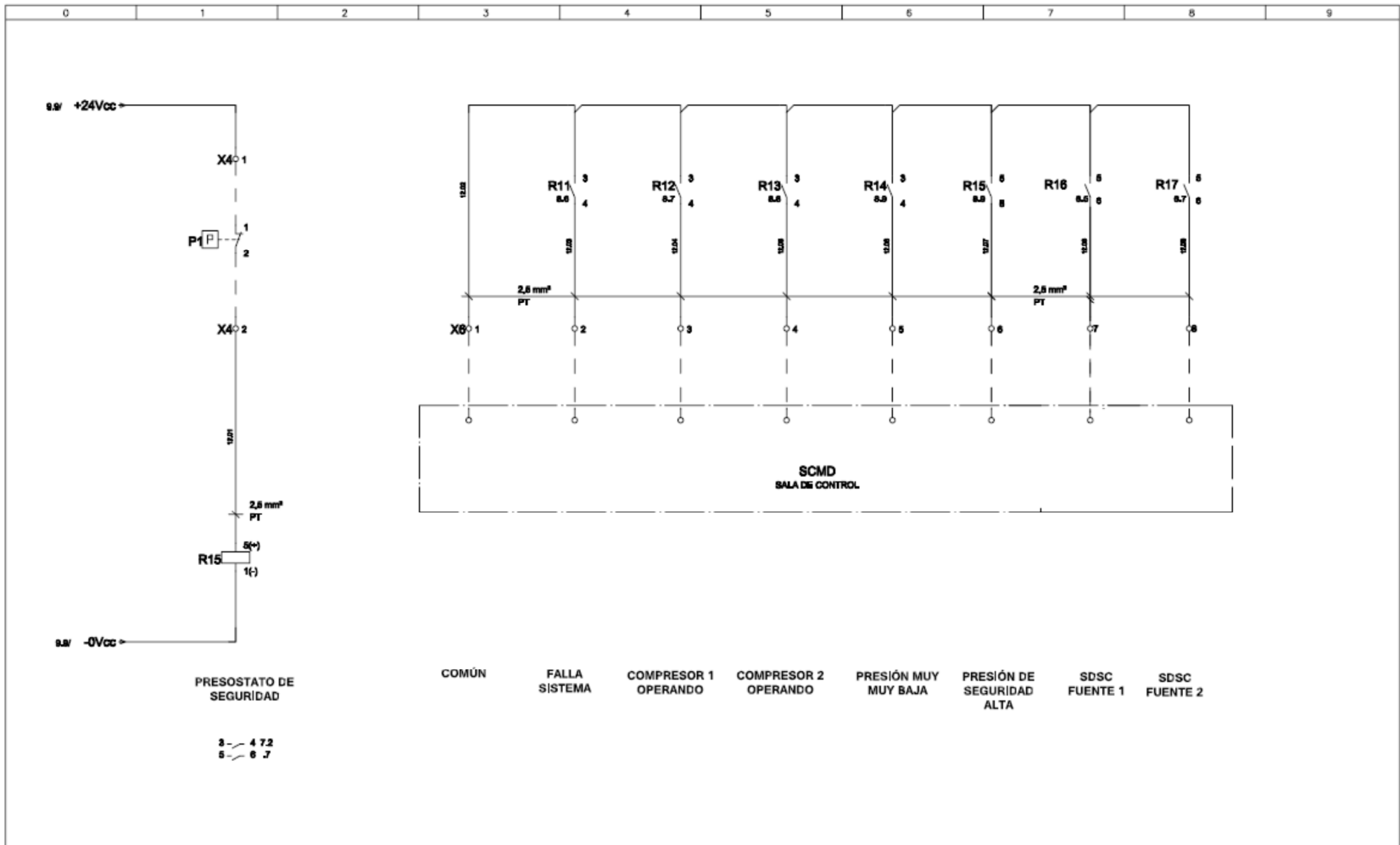
- ❖ Sección 0 muestra la regleta de bornes XCP2 del tablero CMP-2
- ❖ Sección 1 muestra la regleta de bornes X2 ubicada en el tablero del PLC y detallada en el plano No.3 sección 5.
- ❖ Sección 2 muestra el relé R5 RETORNO DEL CONTACTOR CERRADO y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 6.
- ❖ Sección 3 muestra el relé R6 SOBRECARGA DEL MOTOR y la actuación del contacto NC que este relé comanda en el plano No.7 sección 6.
- ❖ Sección 4 muestra el relé R7 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 7.
- ❖ Sección 5 muestra el relé R8 BAJO NIVEL DE ACEITE y la actuación del contacto NA que este relé comanda en el plano No.7 sección 8.
- ❖ Sección 7 muestra el PULSADOR MAGNÉTICO NC EM1 y su interconexión con el PLC en plano No.7 sección 1.
- ❖ Sección 8 muestra la actuación del contacto NA comandada por el relé R9 proveniente del plano No.8 sección 4.
- ❖ Sección 9 muestra también la continuación de las líneas de alimentación 24VCC al plano No.8 sección 3.



2.3.11 Interconexión sala de control

El plano No.12 detalla las señales enviadas a sala de control y la actuación del presostato de seguridad. Estas señales se detallan según las secciones del plano No.12 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra la procedencia de las líneas de alimentación de 24VCC, 0VCC del plano No.9 sección 9.
- ❖ Sección 1 se observa la actuación del presostato P y la conexión con relé R15 señal de PRESOSTATO DE SEGURIDAD.
- ❖ Sección 4 muestra la actuación de los contactos NA comandados por relé R11 FALLA DEL SISTEMA provenientes del plano No.8 sección 6 y R12 COMPRESOR 1 OPERANDO provenientes del plano No.8 sección 7.
- ❖ Sección 5 muestra la actuación de los contactos NA comandado por relé R13 COMPRESOR 2 OPERANDO provenientes del plano No.8 sección 8.
- ❖ Sección 6 muestra la actuación de los contactos NA comandado por relé R14 PRESIÓN MUY MUY BAJA provenientes del plano No.8 sección 9.
- ❖ Sección 7 muestra la actuación de los contactos NA comandados por relé R15 PRESIÓN DE SEGURIDAD ALTA provenientes del plano No.8 sección 9 y R16 FUENTE 1 provenientes del plano No.6 sección 5.
- ❖ Sección 8 muestra la actuación de los contactos NA comandado por relé R17 FUENTE 2 provenientes del plano No.6 sección 7.



2.3.12 Entradas y salidas PLC

El plano No.13 detalla las entradas digitales, salidas digitales y entradas analógicas con su número de plano, tag y descripción.

2.3.13 Bornes de alimentación barra segura 125VCC

El plano No.14 detalla las conexiones en la bornera X0 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 4.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X0.1 y X0.2 alimentación de 125VCC de la barra segura.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X0.3 conexión a tierra.

2.3.14 Bornes de interconexión compresor 1

El plano No.15 detalla las conexiones en la bornera X1 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 4.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X1.1 y X1.2 EMERGENCIA COMPRESOR 1, X1.3 LOCAL/REMOTO.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X1.4, X1.5, X1.6, X1.7, X1.8, X1.9 SEÑALES RECIBIDAS DESDE COMPRESOR 1.
- ❖ Sección 3 conexión en borne X1.10 y X1.11 ENERGIZA/DESENERGIZA COMPRESOR 1, X1.12 SOLENOIDE COMPRESOR 1.
- ❖ Sección 4 conexión en borne X.1.14 CMP-1

ENTRADAS DIGITALES

| PLC | SEÑAL | PAGINA | TAG | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|--------|-----------------------------------|
| | E00 | /1.1 | -R01-V | EMERGENCIA GENERAL |
| | E10 | /1.2 | -R104 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD |
| | E20 | /1.3 | -R24 | COMPRESOR 1 ENERGIZADO |
| | E30 | /1.4 | -R34 | ALTA TEMPERATURA DE AIRE - COMP 1 |
| | E40 | /1.5 | -R44 | NIVEL BAJO DE ACEITE - COMP 1 |
| | E50 | /1.6 | -R54 | COMPRESOR 2 ENERGIZADO |
| | E60 | /1.7 | -R64 | ALTA TEMPERATURA DE AIRE - COMP 2 |
| | E70 | /1.8 | -R74 | NIVEL BAJO DE ACEITE - COMP 2 |

SALIDAS DIGITALES

| PLC | SEÑAL | PAGINA | TAG | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|----------|---|
| | S00 | /6.0 | -XCP1:20 | ENERGIZA/DEENERGIZA SOLENOIDE COMPRESOR 1 |
| | S10 | /6.1 | -R03 | ENERGIZA/DEENERGIZA COMPRESOR 2 |
| | S20 | /6.2 | -XCP2:20 | SOLENOIDE COMPRESOR 2 |
| | S30 | /6.3 | -R05 | SISTEMA EN LOCAL/REMOTO |
| | S40 | /6.4 | CLP-06 | INDICACIÓN DE FALLA |
| | S50 | /6.5 | CLP-07 | COMPRESOR 1 OPERANDO |
| | S60 | /6.6 | CLP-08 | COMPRESOR 2 OPERANDO |
| | S70 | /6.7 | CLP-09 | PRESIÓN MUY MUY BAJA |
| | S80 | /6.8 | -X01 | |

ENTRADAS ANALOGICAS

| PLC | SEÑAL | PAGINA | TAG | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|------|-----------------|
| | +E10 | /6.3 | 1(+) | |
| | -E10 | /6.3 | 2(-) | |
| | +E20 | /6.5 | -X04 | |
| | -E20 | /6.6 | -X05 | |

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

13

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

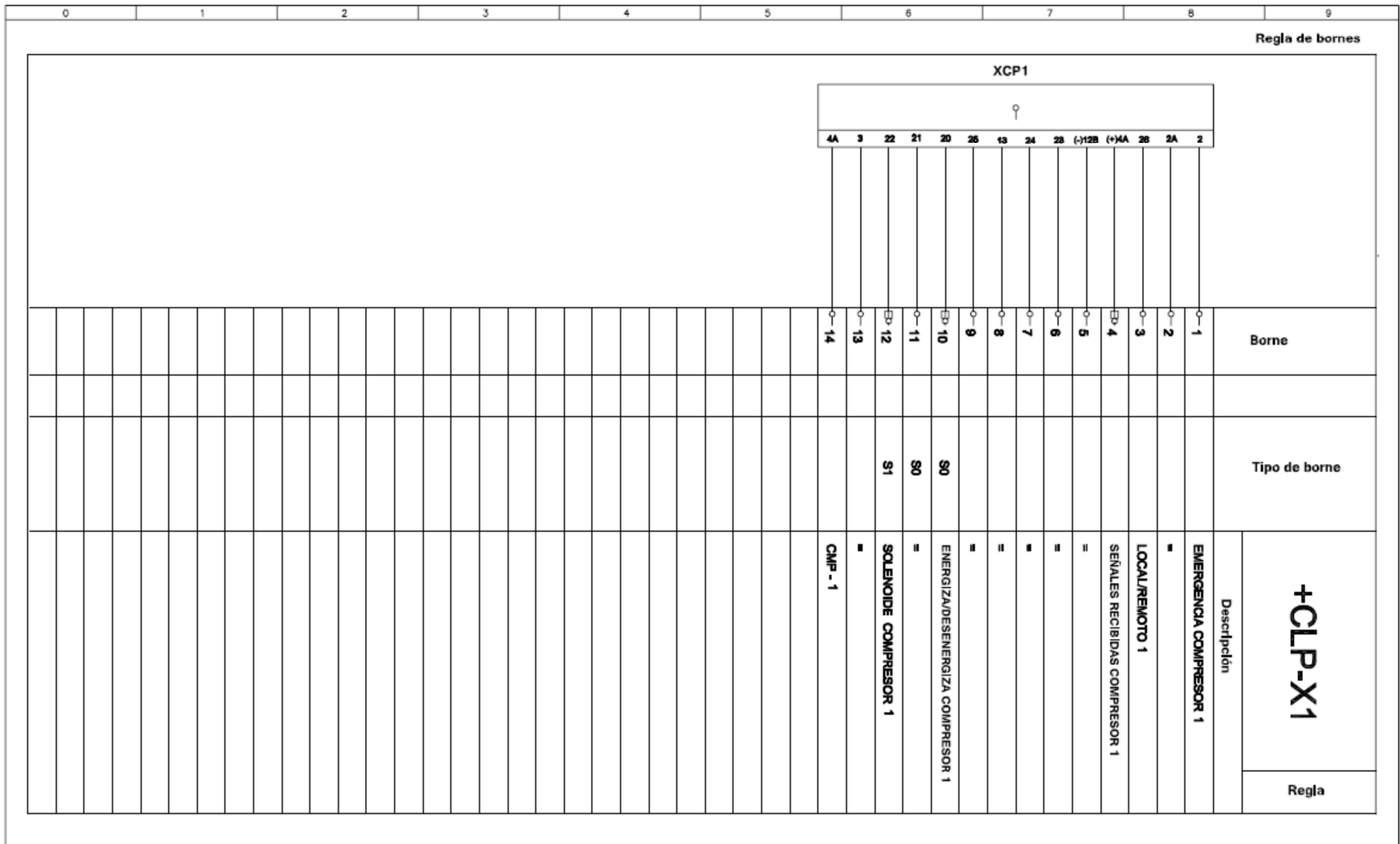
CONTIENE: ENTRADAS Y SALIDAS CLP

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 26



| | | | | |
|--------------------------------------|---|---|----------------|----------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 15 |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | CONTIENE: BORNES DE INTERCONEXIÓN COMPRESOR 1 | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DE 26 |
| | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |

2.3.15 Bornes de interconexión compresor 2

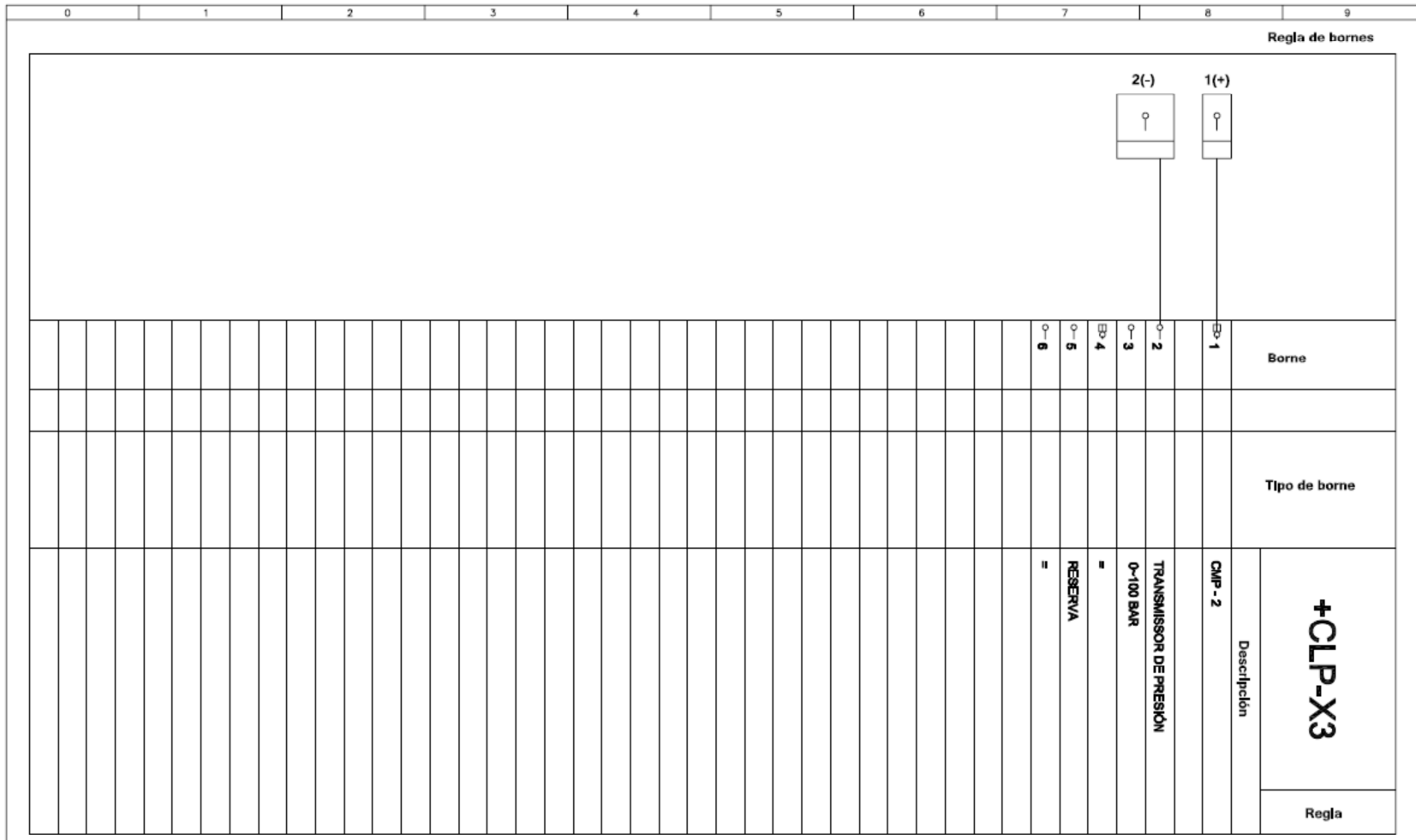
El plano No.16 detalla las conexiones en la bornera X2 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 5.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X2.1 y X2.2 EMERGENCIA COMPRESOR 2, X2.3 LOCAL/REMOTO.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X2.4, X2.5, X2.6, X2.7, X2.8, X2.9 SEÑALES RECIBIDAS DESDE COMPRESOR 2.
- ❖ Sección 3 conexión en borne X2.10 y X2.11 ENERGIZA/DESENERGIZA COMPRESOR 1, X2.12 SOLENOIDE COMPRESOR 2.
- ❖ Sección 4 conexión en borne X2.14 CMP-2

2.3.16 Bornes de entrada analógica

El plano No.17 detalla las conexiones en la bornera X3 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 5.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X3.1 CMP-2.
- ❖ Sección 1 conexión en borne X3.2 SEÑAL RECIBIDAS DE TRANSMISOR DE PRESIÓN PT.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X3.3 y X3.4 SEÑAL RECIBIDAS DE TRANSMISOR DE PRESIÓN PT.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X3.5 y X3.6 RESERVA PARA SEÑAL ANALÓGICA.



| | | | | |
|---|---------------------------------------|---|----------------|--------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 17 |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | CONTIENE: BORNES DE ENTRADA ANALÓGICA | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DE 26 |
| ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |

2.3.17 Borne de entrada digital

El plano No.18 detalla las conexiones en la bornera X4 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 5.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X4.1 PRESOSTATO DE SEGURIDAD.

2.3.18 Bornes de alimentación 125vcc reserva

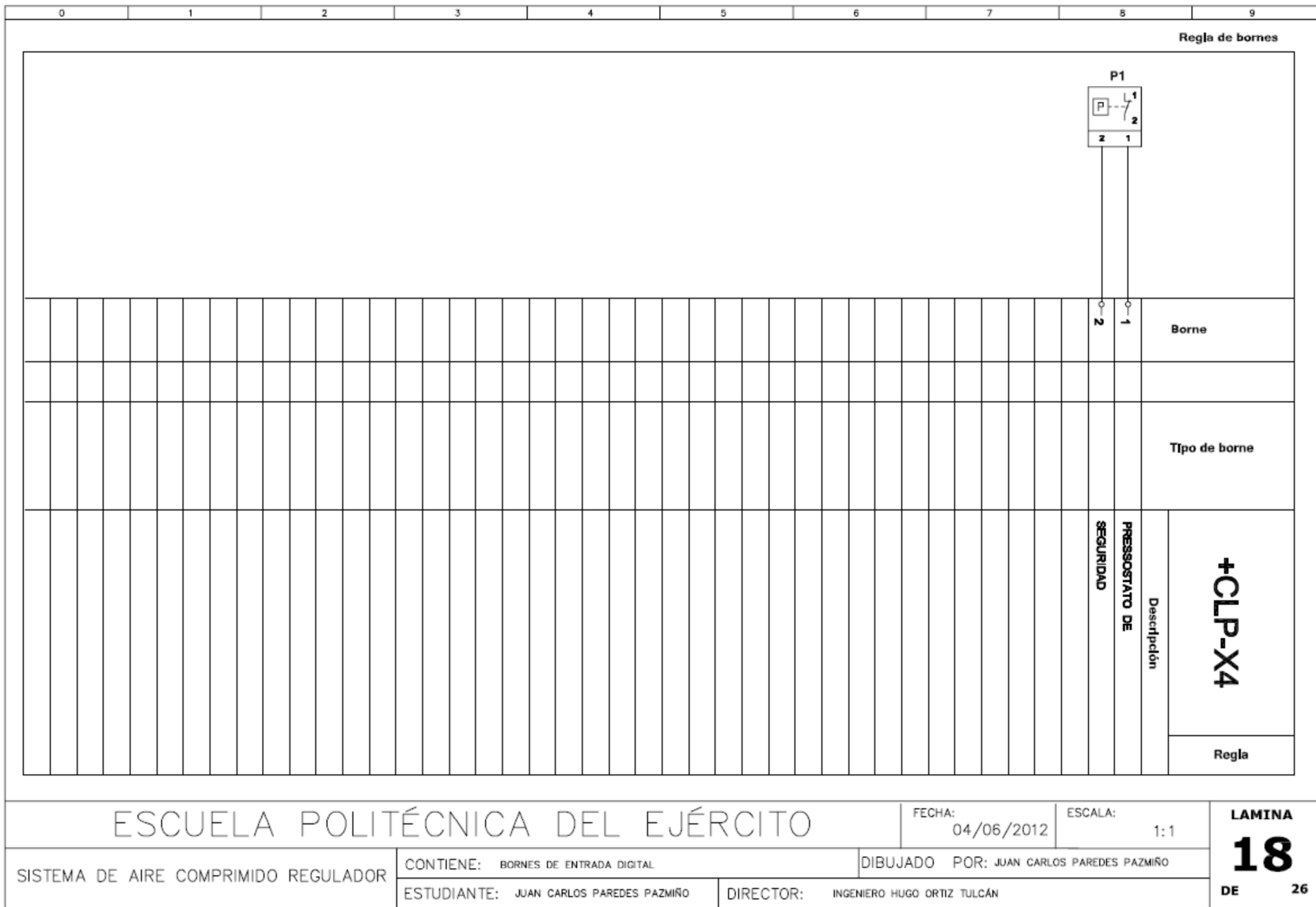
El plano No.19 detalla las conexiones en la bornera X5 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 5.

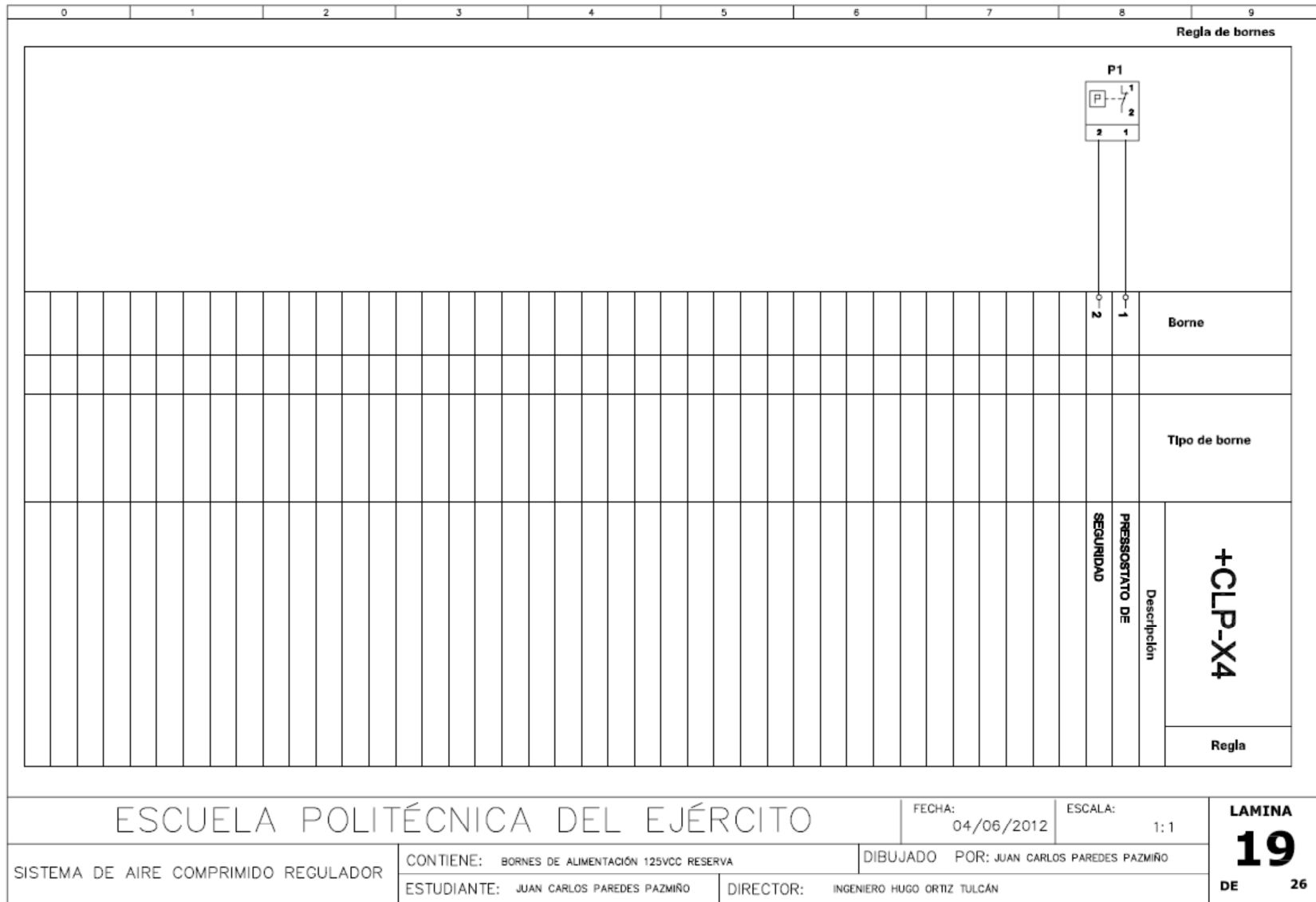
- ❖ Sección 1 conexión en borne X5.1 RESERVA DE 125VCC
- ❖ Sección 1 conexión en borne X5.2 y X5.3 TERMINAL DE TIERRA.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X5.4 TERMINAL DE TIERRA.

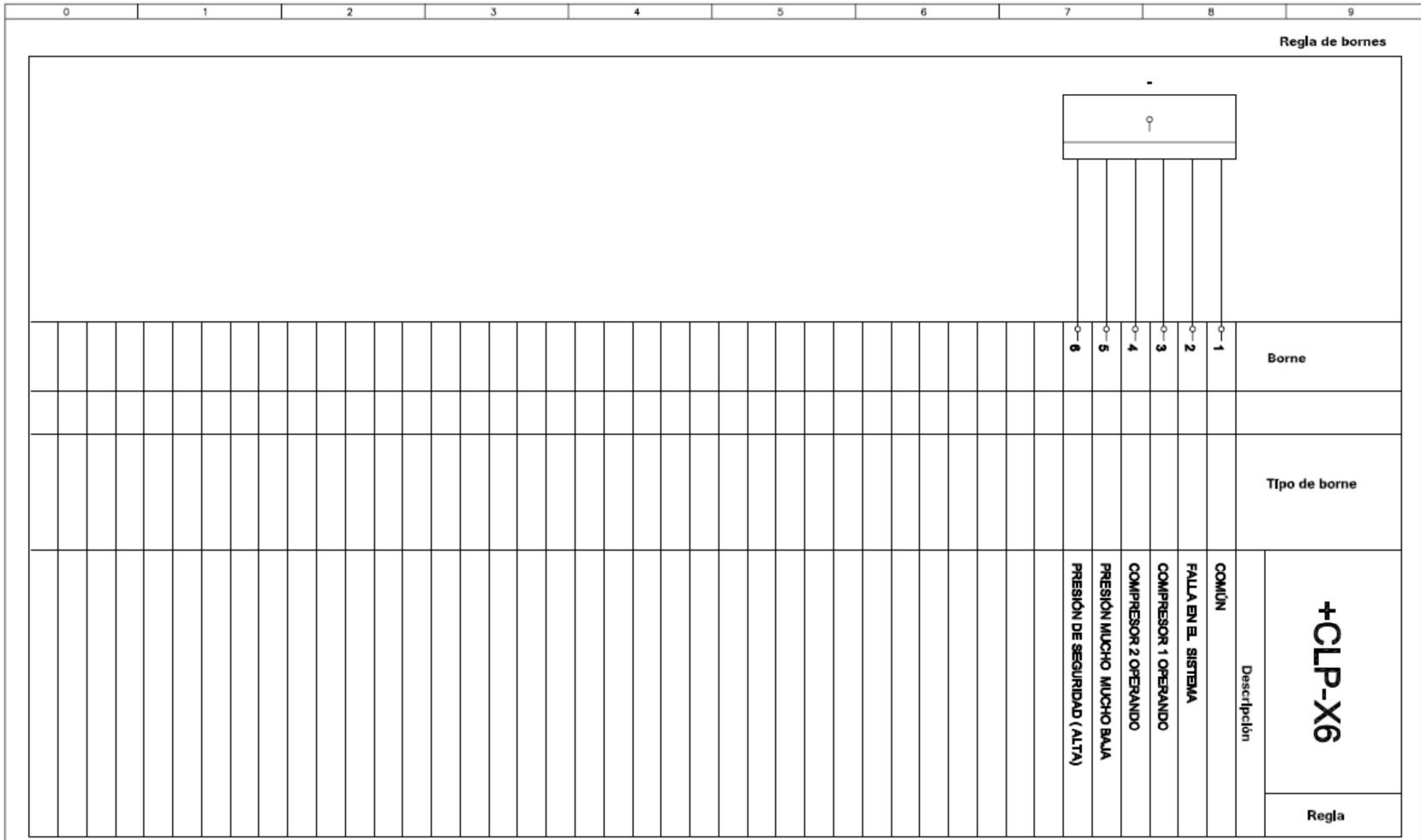
2.3.19 Bornes de para sala de control

El plano No.20 detalla las conexiones en la bornera X6 ubicada en tablero del PLC como muestra el plano No.3 sección 5.

- ❖ Sección 1 conexión en borne X6.1 TERMINAL COMÚN
- ❖ Sección 1 conexión en borne X6.2 FALLA EN EL SISTEMA y X6.3 COMPRESOR 1 OPERANDO.
- ❖ Sección 2 conexión en borne X6.4 COMPRESOR 2 OPERANDO, X6.5 PRESIÓN MUY MUY BAJA y X6.6 PRESIÓN DE SEGURIDAD ALTA.





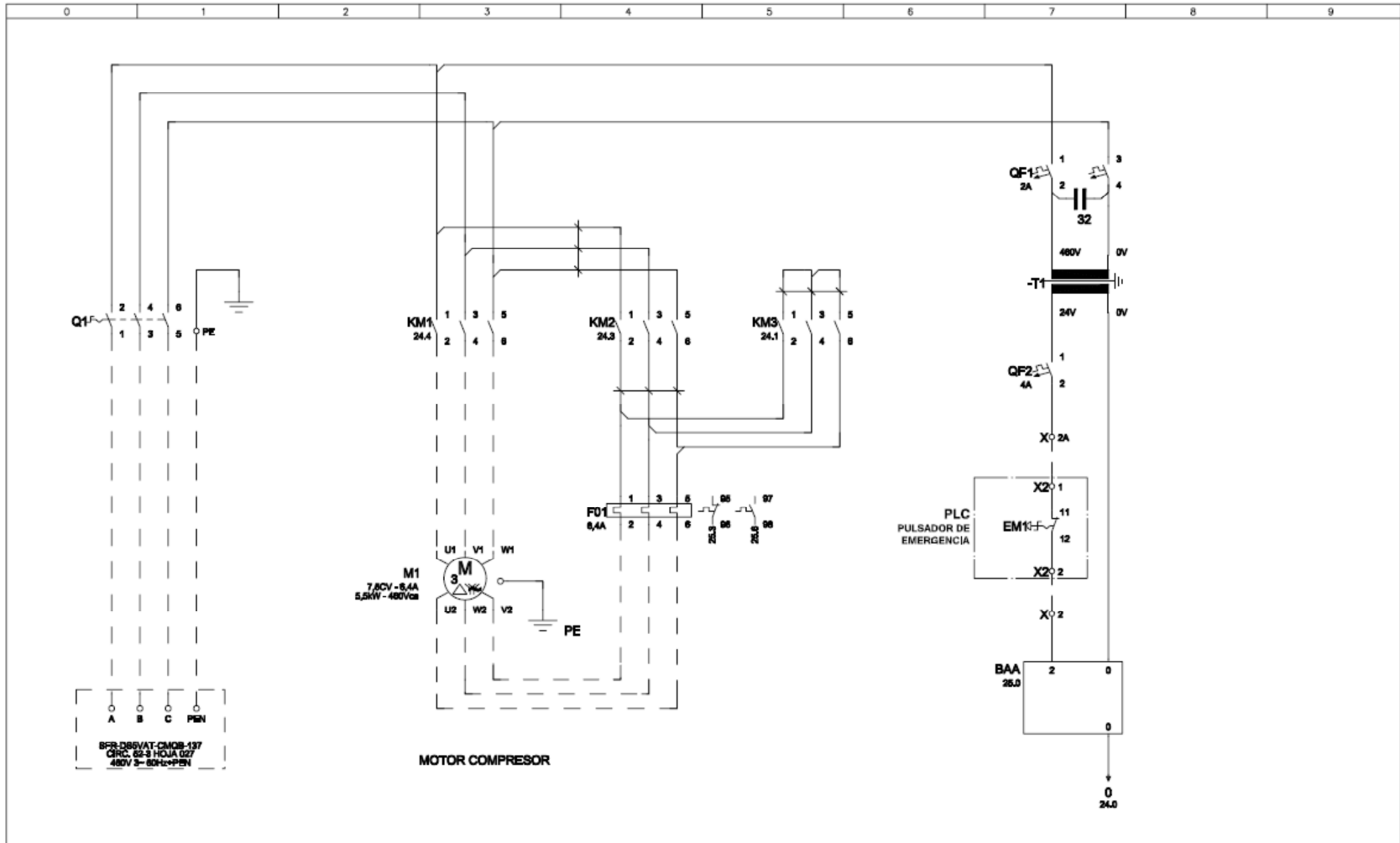


| | | | | |
|---|---------------------------------------|---|----------------|----------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 20 |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | CONTIENE: BORNES PARA SALA DE CONTROL | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DE 26 |
| ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |

2.3.20 Alimentación y distribución panel compresor 1

El plano No.23 detalla las conexiones el tablero CMP-1 del compresor y la alimentación de 480VAC para energizar el motor del compresor 1. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.23 a continuación.

- ❖ Sección 0 y 1 alimentación proveniente desde el tablero CCMU1 y que detalla en el plano SFR-DS5VAT-CMQB-137 hoja 27 mostrado en el ANEXO 3, la alimentación llega al interruptor Q1.
- ❖ Sección 3 muestra la conexión al contactor KM1 y la conexión al motor M1.
- ❖ Sección 4 muestra la conexión al contactor KM2 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 5 muestra la conexión al contactor KM3 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 7 muestra la conexión al interruptor QF1 KM3, la conexión al transformador 480VAC-24VCC T1, conexión al interruptor QF2 y finalmente la conexión al contacto NC de EM1 EMERGENCIA PANEL PLC.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

23

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: ALIMENTACION Y DISTRIBUCIÓN PANEL CP1

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

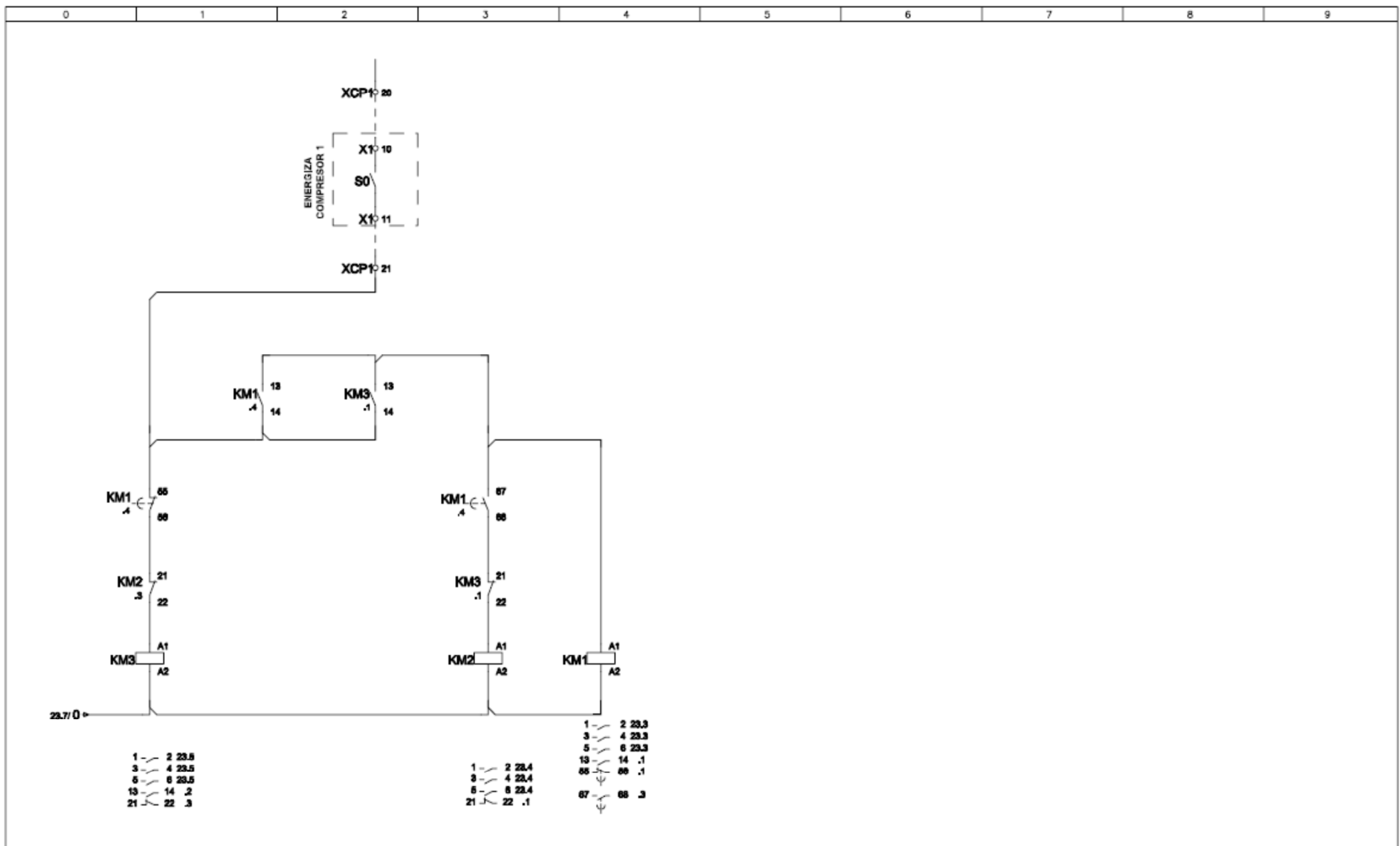
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 26

2.3.21 Comando 110VAC panel compresor 1

El plano No.24 detalla las conexiones y actuación de los relés KM1, KM2 y KM3 que comandan energizar/desenergizar el motor del compresor 1. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.24 a continuación.

- ❖ Sección 1 se muestra el contacto NC comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM2 y el relé KM3.
- ❖ Sección 1 en la parte baja encontramos los contactos activados por el relé KM3 en el plano No.23 sección 5 y en plano No.24 sección 2 y 3.
- ❖ Sección 2 se muestra el contacto NA comandado por la salida S0 del PLC que energiza el compresor 1, el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NA comandado por el relé KM3.
- ❖ Sección 3 se muestra el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM3 y el relé KM2.
- ❖ Sección 3 en la parte baja encontramos los contactos activados por el relé KM2 en el plano No.23 sección 4 y en plano No.24 sección 1.
- ❖ Sección 4 se muestra la conexión del relé KM1, y en la parte baja se muestra los contactos activados por este relé en los planos No.23 sección 3, planos No.24 sección 1.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA
24
DE 26

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: COMANDO 110VAC PANEL CP1

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

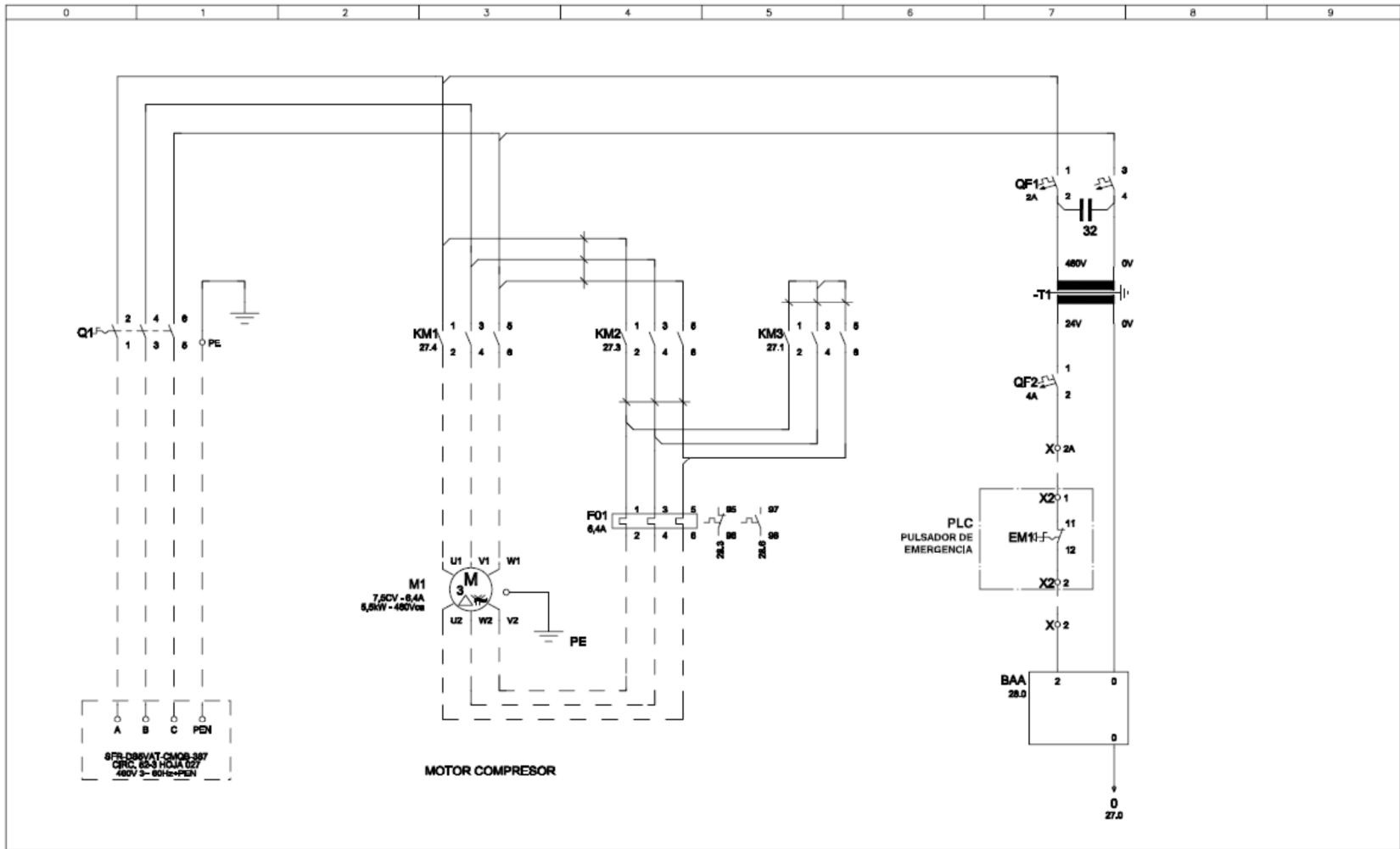
ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

2.3.22 Alimentación y distribución panel compresor 2

El plano No.25 detalla las conexiones el tablero CMP-1 del compresor y la alimentación de 480VAC para energizar el motor del compresor 1. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.25 a continuación.

- ❖ Sección 0 y 1 alimentación proveniente desde el tablero CCMU2 y que detalla en el plano SFR-DS5VAT-CMQB-137 hoja 27 mostrado en el ANEXO 3, la alimentación llega al interruptor Q1.
- ❖ Sección 3 muestra la conexión al contactor KM1 y la conexión al motor M1.
- ❖ Sección 4 muestra la conexión al contactor KM2 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 5 muestra la conexión al contactor KM3 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 7 muestra la conexión al interruptor QF1 KM3, la conexión al transformador 480VAC-24VCC T1, conexión al interruptor QF2 y finalmente la conexión al contacto NC de EM1 EMERGENCIA PANEL PLC.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

25

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PANEL CP2

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

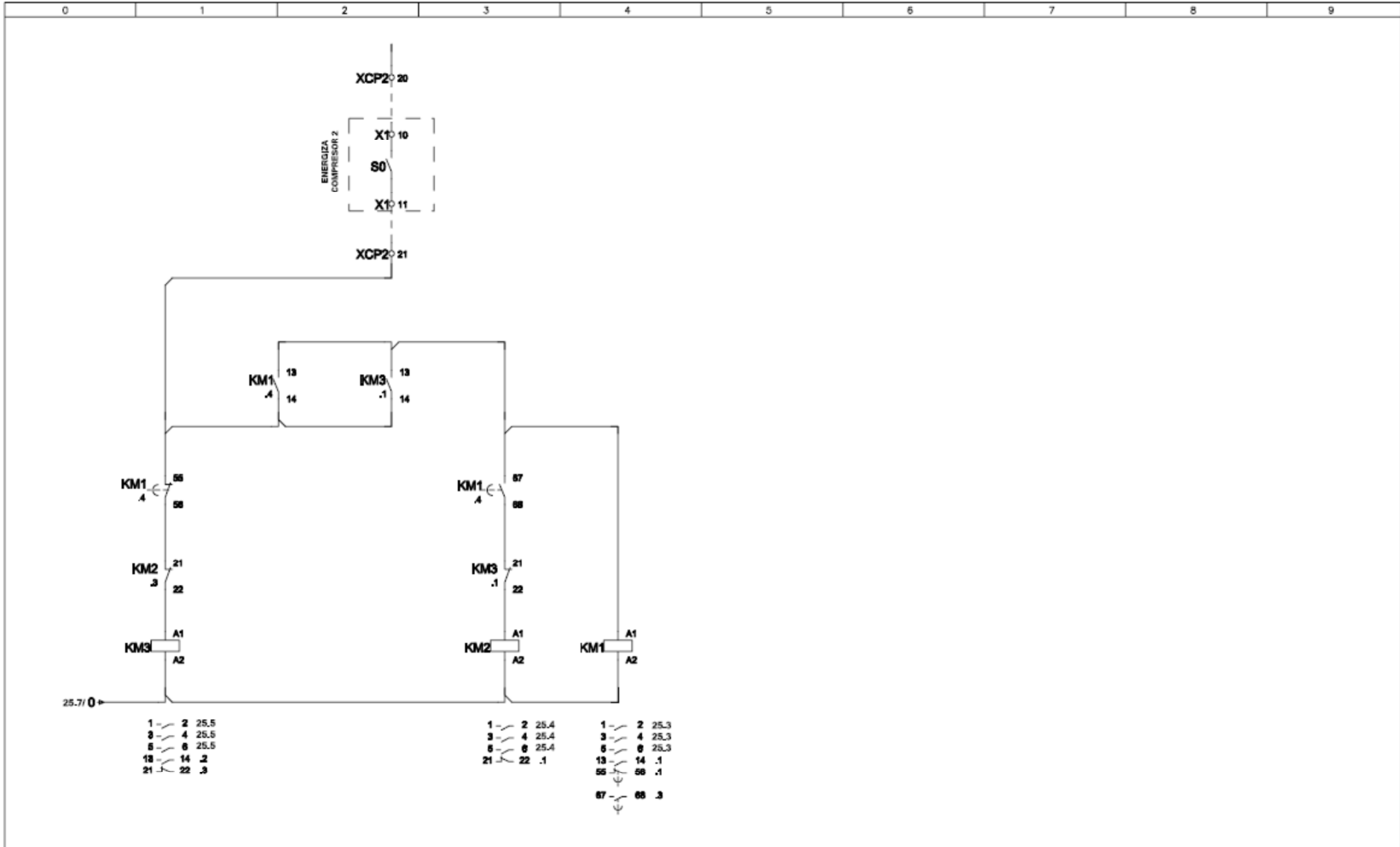
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCAN

DE 26

2.3.23 Comando 110VAC panel compresor 2

El plano No.26 detalla las conexiones y actuación de los relés KM1, KM2 y KM3 que comandan energizar/desenergizar el motor del compresor 2. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.26 a continuación.

- ❖ Sección 1 se muestra el contacto NC comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM2 y el relé KM3.
- ❖ Sección 1 en la parte baja encontramos los contactos activados por el relé KM3 en el plano No.25 sección 5 y en plano No.26 sección 2 y 3.
- ❖ Sección 2 se muestra el contacto NA comandado por la salida S0 del PLC que energiza el compresor 1, el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NA comandado por el relé KM3.
- ❖ Sección 3 se muestra el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM3 y el relé KM2.
- ❖ Sección 3 en la parte baja encontramos los contactos activados por el relé KM2 en el plano No.25 sección 4 y en plano No.26 sección 1.
- ❖ Sección 4 se muestra la conexión del relé KM1, y en la parte baja se muestra los contactos activados por este relé en los planos No.25 sección 3, planos No.26 sección 1.



| | | | | |
|--|--|---|---|-------------------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 26 DE 26 |
| | | CONTIENE: COMANDO 110VAC PANEL CP2 | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | |
| | | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | |

2.4 Lista de materiales

| REF. | CANT. | DESCRIPCIÓN | FABRICANTE |
|-----------|-------|--|----------------|
| +PLC-PLC | 1 | PANEL EN ACERO CARBONO 600x500x300mm | CARTHONS |
| +PLC-PS1 | 2 | FUENTE 85~264Vac/120~370Vcc SALIDA 24Vcc~2A | CONEXEL |
| PE | 2 | CONECTOR DE TIERRA EK35/35 | CONEXEL |
| +PLC-AL-1 | 1 | ALARMA SONORA PARA PANEL INTERMITENTE 24 VDC | KACON |
| +PLC-EM1 | 1 | BOTÓN EMERGENCIA CON TRABA 22mm 1NA+2NC | KACON |
| +PLC-H1 | 1 | LUZ LED VERDE 22mm-24VCC | KACON |
| +PLC-H2 | 1 | LUZ LED VERDE 22mm-24VCC | OMRON |
| +PLC-R11 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R12 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R13 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R14 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R1 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R2 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R3 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R4 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R5 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R6 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R7 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R8 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R9 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R10 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R15 | 1 | RELÉ 24VDC COM LED - DIODO DE PROTECCIÓN | OMRON |
| +PLC-R11 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R12 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R13 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R14 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R1 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R2 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R3 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R4 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R5 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R6 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R7 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R8 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R9 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R10 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-R15 | 1 | BASE PARA RELÉ G2R-1-S/G3R | OMRON |
| +PLC-DJ1 | 2 | MINI DISYUNTOR MONOPOLAR 6A | SIEMENS |
| +PLC-DJ2 | 1 | MINI DISYUNTOR MONOPOLAR 2A | SIEMENS |
| +PLC-DJ3 | 1 | MINI DISYUNTOR MONOPOLAR 2A | SIEMENS |
| +PLC-PT1 | 1 | TRANSMISOR PRESIÓN 0-100 BAR 0,5% PRECISIÓN | WILLY DRESSER |
| CH1 | 1 | LLAVE CONMUTADORA LIGA/DESLIGA 4 POLOS | KRAUS E NAIMER |
| DI | 1 | MATRIZ DE DIODOS 04 ELEMENTOS C032976.0 | CONEXEL |
| B1 | 1 | TERMOSTATO MECÁNICO BIMETÁLICO 1 NF 120W 15A | STEGO |
| R1 | 1 | RESISTENCIA 220VAC 50W | RR RESISTORES |

Tabla. 2.2. Lista de materiales

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

En los últimos años con el desarrollo de la tecnología de los microprocesadores, los sistemas de protección y control en las plantas hidroeléctricas han avanzado espectacularmente. En este sentido, la automatización y su elemento principal el PLC, ofrecen un gran número de posibilidades para facilitar el control de estos sistemas, realizando la misma función que los relés cableados pero con mucha más flexibilidad, sustituyendo en su gran mayoría la lógica cableada existente hasta el momento.

Mediante un PLC se podrá fácilmente controlar y supervisar varios sistemas de la estación generadora, utilizando enlaces de comunicación, del mismo modo adquirir información sobre fallos o todas las mediciones suministradas por los sensores de regulación.

3.1 DISEÑO

Con el objetivo de optimizar y corregir las fallas existentes en el sistema de aire comprimido de los reguladores de la central actualmente instalado es necesario realizar un rediseño que brinde los siguientes beneficios:

- ❖ Disponer un software abierto del sistema de aire comprimido para los reguladores.

- ❖ Disponer un registro de eventos del funcionamiento, fallas y alarmas del sistema.
- ❖ Conseguir Un Sistema de aire comprimido automático confiable.
- ❖ Conseguir Un monitoreo más completo desde el sistema DIGITAL de la central ubicado en “SALA DE CONTROL”

Para lo cual es necesario plantear un rediseño del sistema electrónico automático actual utilizando la mayoría de componentes, solo se desearía los relés, PLC y el HMI existente.





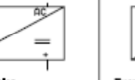

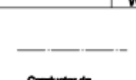
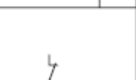
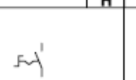
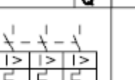
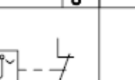


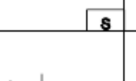
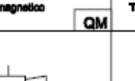
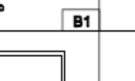
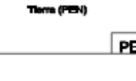

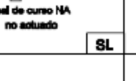
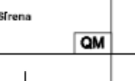
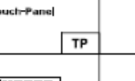
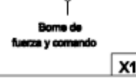

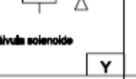

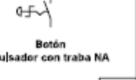
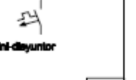
Después de realizar el levantamiento de la información del sistema de aire comprimido de los reguladores en la central “San Francisco” es posible realizar un rediseño del sistema de control automático, con el objetivo de optimizar tiempo y recursos económicos es necesario plantear un rediseño que genere el menor gasto posible descartando la menor cantidad de componentes; es así que se recomienda:

- ❖ Cambiar el DISPLAY existente debido a que su programación es de propiedad del constructor del proyecto.
- ❖ Cambiar HMI existente por un Touch Panel en el cual se podrá mostrar un historial de eventos del sistema en general y un comportamiento de los compresores como temperatura, nivel de aceite, tiempos de purga, etc.
- ❖ Instalar el cableado desde el sistema de aire comprimido hacia el PLC UAC-SERVICIOS AUXILIARES para el envío de señales de alarma como: Alta temperatura del aire, nivel bajo de aceite, emergencia del compresor C1 y C2, presión alta y baja del sistema y alarma de emergencia del sistema.

3.2 SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

En el plano No.5 se detalla los elementos que se van a utilizar en el proyecto con la simbología y nomenclatura de los planos, diagrama de bloques, y diagrama P&ID descritos en este capítulo.

SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA CONFORME UTILIZADA EN EL PROYECTO

| | | | | | | | |
|---|--|---|--|--|--|--|--|
|  Conductor de fuerza y comando W |  Contacto NA |  Luminaria de Señalización H |  Seccionador abertura con carga Q |  Fuente bipolar U |  Fuente bipolar PS2 | | |
|  Conductor de tierra (PEN) W |  Contacto NF |  Llave selector S |  Disyuntor Termomagnético QM |  Termistato B1 | | | |
|  Tierra (PEN) PE |  Botón Pulsador NA B |  Final de curso NA no actuado SL |  Sirena QM |  Touch-Panel TP | | | |
|  Borne de fuerza y comando X1 |  Luminaria H |  Válvula solenoide Y |  Transformador T |  Controlador Lógico Programable PLC | | | |
|  Fusible F |  Botón Pulsador con trava NA BT |  Mini-disyuntor DJ | | | | | |
|  Conexión del conductor |  Bobina de rele K |  Motor de Inducción trifásico M | | | | | |

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

5

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: SIMBOLOGÍA ELÉCTRICA

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

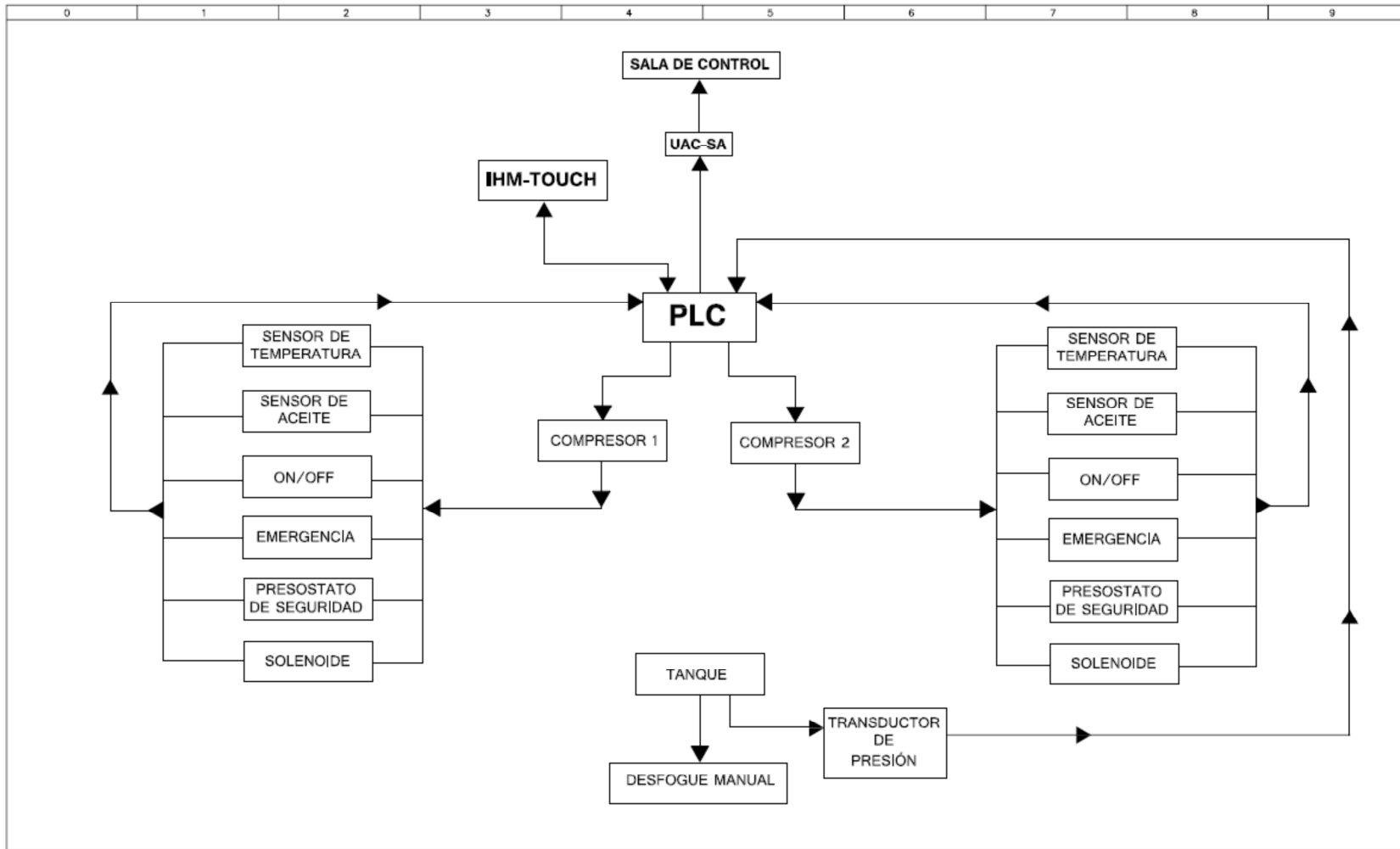
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 17

3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO

En la hoja técnica No.1 se detalla por bloques las señales que entregan los compresores 1 y 2, el transductor de presión, la interacción con el PLC e HMI como también las señales enviadas al PLC de UAC-SA (unidad de adquisición y control sistemas auxiliares).

- ❖ Sección 1 y 2 muestra los elementos de control del compresor 1 y su interacción con el PLC: Sensor de temperatura, sensor de aceite, pulsador on/off, paro de emergencia, presóstato de seguridad y válvula de purga de condensado.
- ❖ Sección 3 muestra la interacción lógica entre el PLC y el HMI.
- ❖ Sección 4 y 5 en parte de arriba muestra la interacción lógica entre el PLC y la SALA DE CONTROL de la central “San Francisco”.
- ❖ Sección 4 y 5 en parte baja muestra la interacción lógica entre el transductor de presión y el PLC.
- ❖ Sección 7 y 8 se muestra los elementos de control del compresor 2 y su interacción con el PLC: Sensor de temperatura, sensor de aceite, pulsador on/off, paro de emergencia, presóstato de seguridad, y la solenoide que actúa sobre la válvula de purga de condensado.

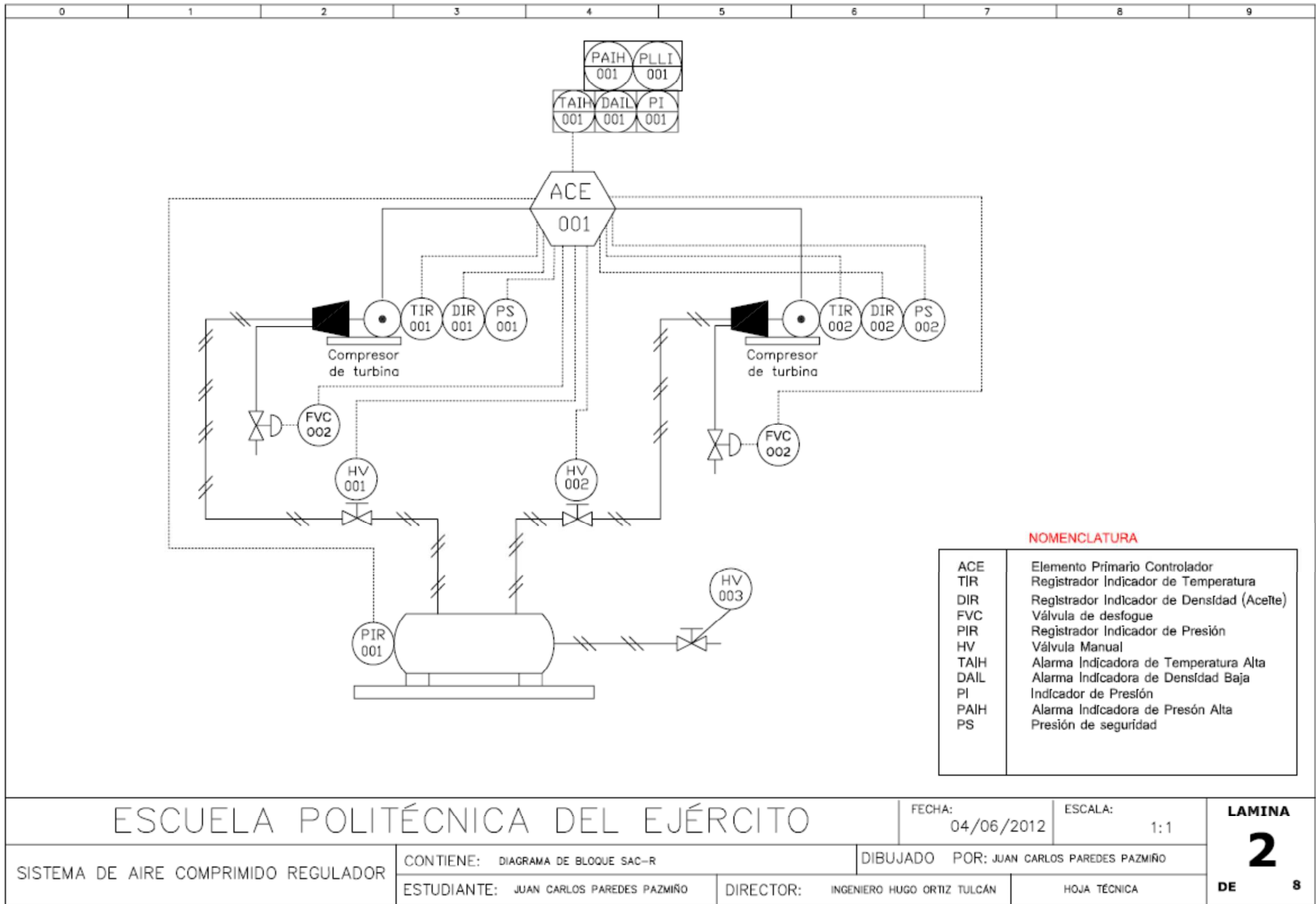


| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------|---|--------------|----------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 1 DE 8 |
| | | CONTIENE: DIAGRAMA DE BLOQUE SAC-R | | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | ESTUDIANTE: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: | INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | HOJA TÉCNICA | |

3.4 DIAGRAMA P&ID

En la hoja técnica No.2 se detalla un diagrama de proceso e instrumentación para realizar una automatización adecuada.

- ❖ Sección 2 y 3 muestra el compresor 1 y la instrumentación dispuesta en el mismo, TIR (registrador indicador de temperatura), DIR (registrador indicador de densidad) y PS (presión de seguridad).
- ❖ Sección 4 se muestra la interacción entre el elemento primario controlador ACE y la instrumentación del sistema completo.
- ❖ Sección 5 y 6 se muestra el compresor 2 y la instrumentación dispuesta en el mismo, TIR, DIR y PS.
- ❖ Sección 8 y 9 en parte baja muestra la nomenclatura utilizada para la instrumentación en el plano No.20.



3.5 PLANOS ELÉCTRICOS-ELECTRÓNICOS

En el rediseño se realizó los planos eléctricos-electrónicos del sistema de aire comprimido y una descripción detallada de los mismos con el objetivo que el departamento Eléctrico-Electrónico de la central “San Francisco” realice la implementación utilizando los componentes que posee el sistema y se realice la implementación en el menor tiempo posible de tal manera que las pérdidas por no generación sean mínimas.

3.5.1 Panel PLC y placa de montaje

El plano No.3 muestra las características del tablero en su vista frontal, vista lateral, la distribución de las regletas internas en el tablero y la placa de montaje.

Vista frontal

Se detalla las medidas del tablero y elementos montados en el mismo:

1. Membrete de tablero
2. TOUCH PANEL
3. H1 Luminaria de estado de C1
4. H2 Luminaria de estado de C2
5. Sirena sonora
6. Pulsador magnético (parada de emergencia)
7. H2 Luminaria de emergencia general
8. Cerradura

Vista Lateral

Se detalla la ubicación y como estará dispuesto el touch panel en la puerta del tablero del PLC.

Placa de montaje

Se detalla las medidas de la placa, distribución de canaletas y los rieles A, B y C para disponer los elementos eléctricos-electrónicos.

Riel A

Mini-disyuntores

DJ1

DJ2

DJ3

DJ4

Fuentes de voltaje G1 y G2

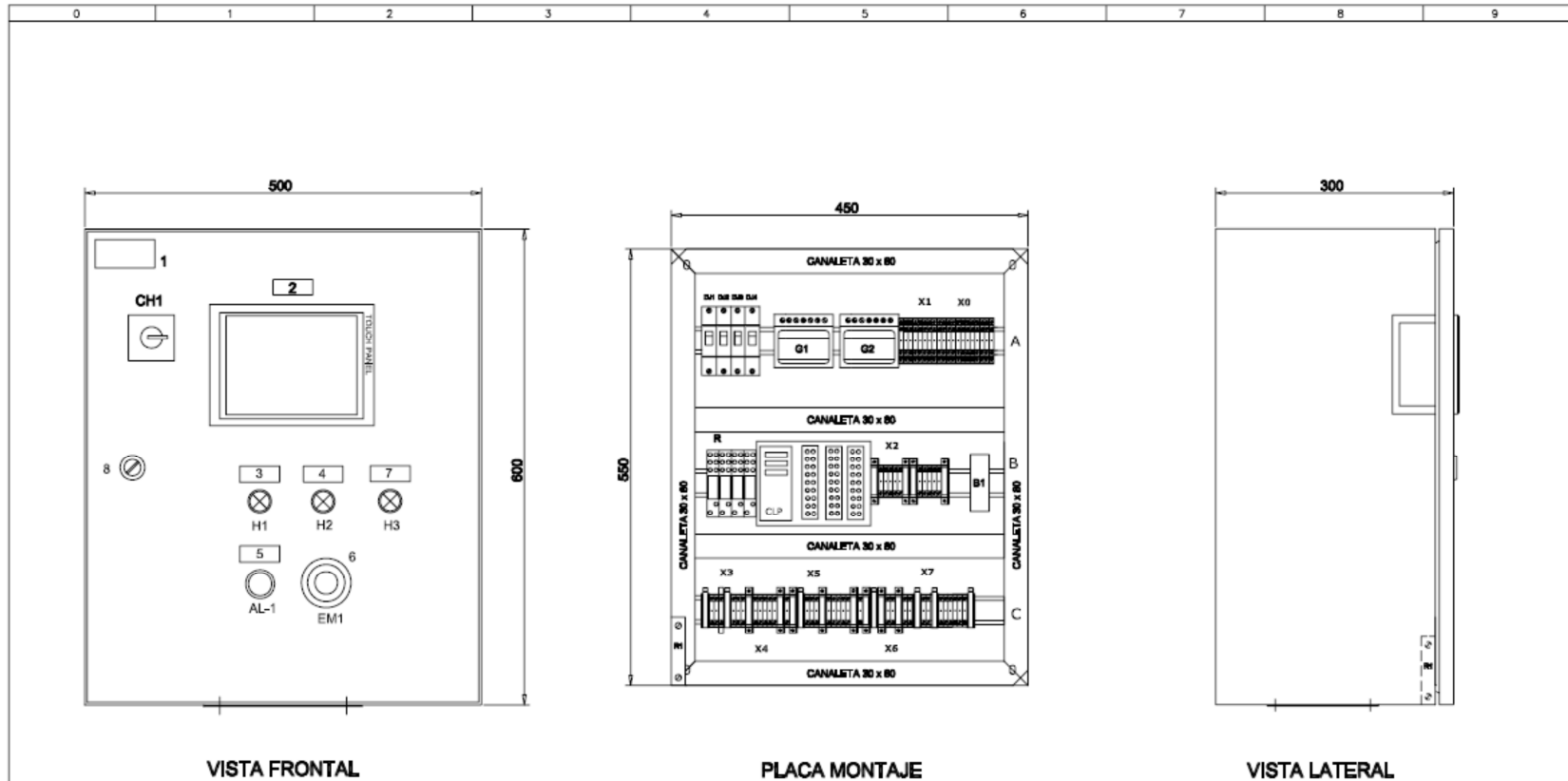
Bornera X1 y X0

Riel B

Relés de protección desde R1 a R4, PLC, bornes de conexión X1, X2 y el termistor B1

Riel C

Bornes de conexión X3 X4 X5 X6 X7



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

3

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: PANEL PLC – PLACA DE MONTAJE Y TOUCH PANEL

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCAN

DE 17

3.5.2 Alimentación 125VCC

En el plano No.6 podemos observar dos circuitos, alimentación auxiliar, alimentación de 125VCC y la alimentación al PLC y TOUCH-PANEL.

Alimentación auxiliar

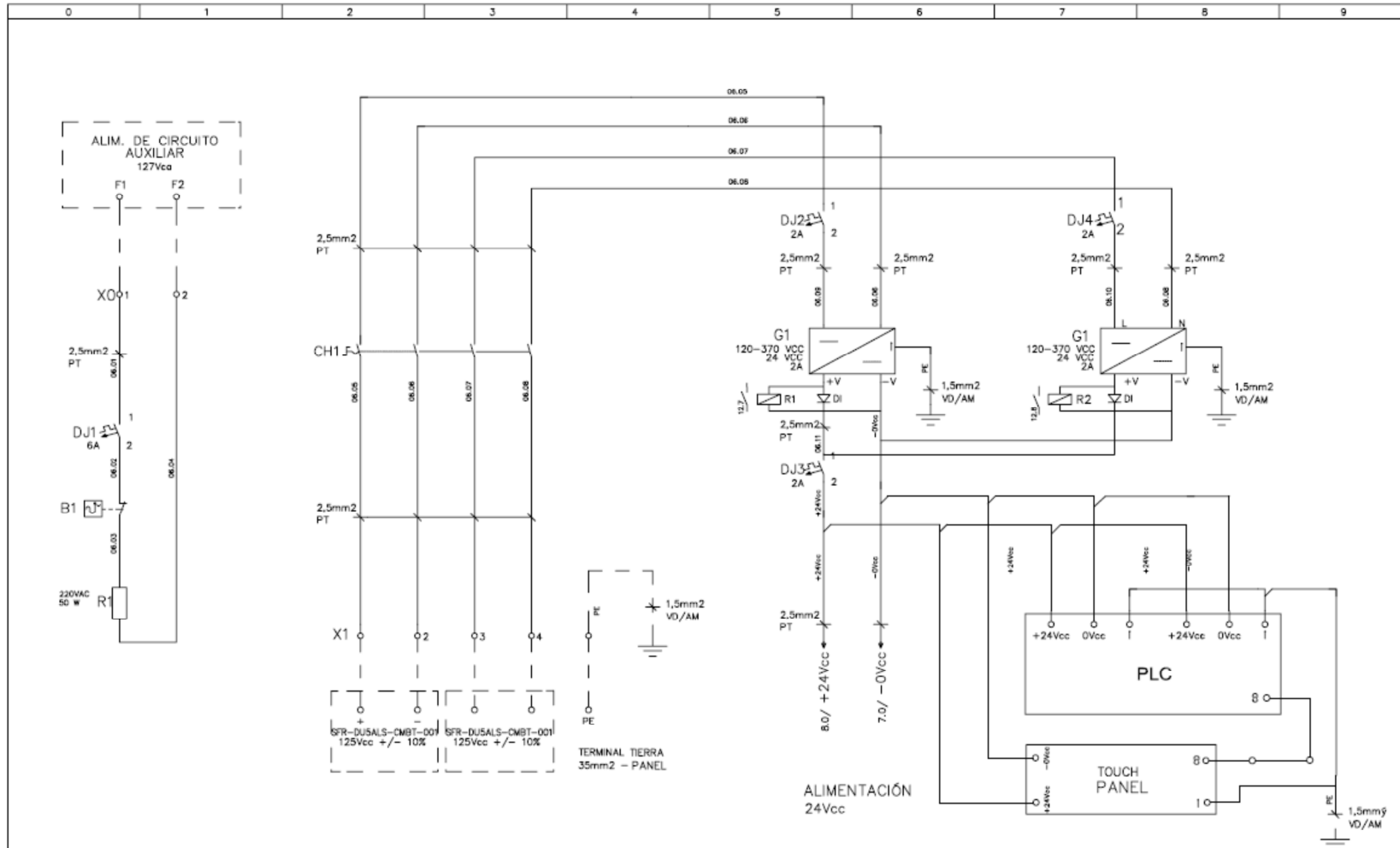
En la sección 0 y 1 del plano No.6, se puede observar la alimentación de la resistencia de calefacción R1 de 50W-220V la misma que es activada mediante el termistor B1 y para protección del circuito encontramos el disyuntor DJ1-6A.

Alimentación 125VCC

En la sección 2 y 3 del plano No.6, se muestra la alimentación de 125VCC para las fuentes G1 y G2 la misma que proviene desde TD1-125VCC y TD2-125VCC (tablero de distribución 2 de 125VCC) proveniente del plano SFR-DU5ALS-CMBT-001 que se muestra en el ANEXO 2, en esta misma sección se tiene una llave interruptor CH1 que habilita o deshabilita la alimentación.

Los disyuntores DJ2-2A y DJ4-2A como se observa en la sección 5 y 6 del plano No.6 respectivamente permiten proteger las fuentes G1 y G2, los relés R1 y R2 actúan si las fuentes de voltaje dejan de emitir 24VCC.

En la sección 5 del plano No.6. se encuentra el disyuntor DJ3-2A a la salida de las fuentes G1 y G2 el cual permite proteger la alimentación al PLC. En la sección 8 se muestra la alimentación de 24VCC al PLC y al TOUCH-PANEL, también la conexión del cable de comunicación en los puertos CD (comunicación de datos).

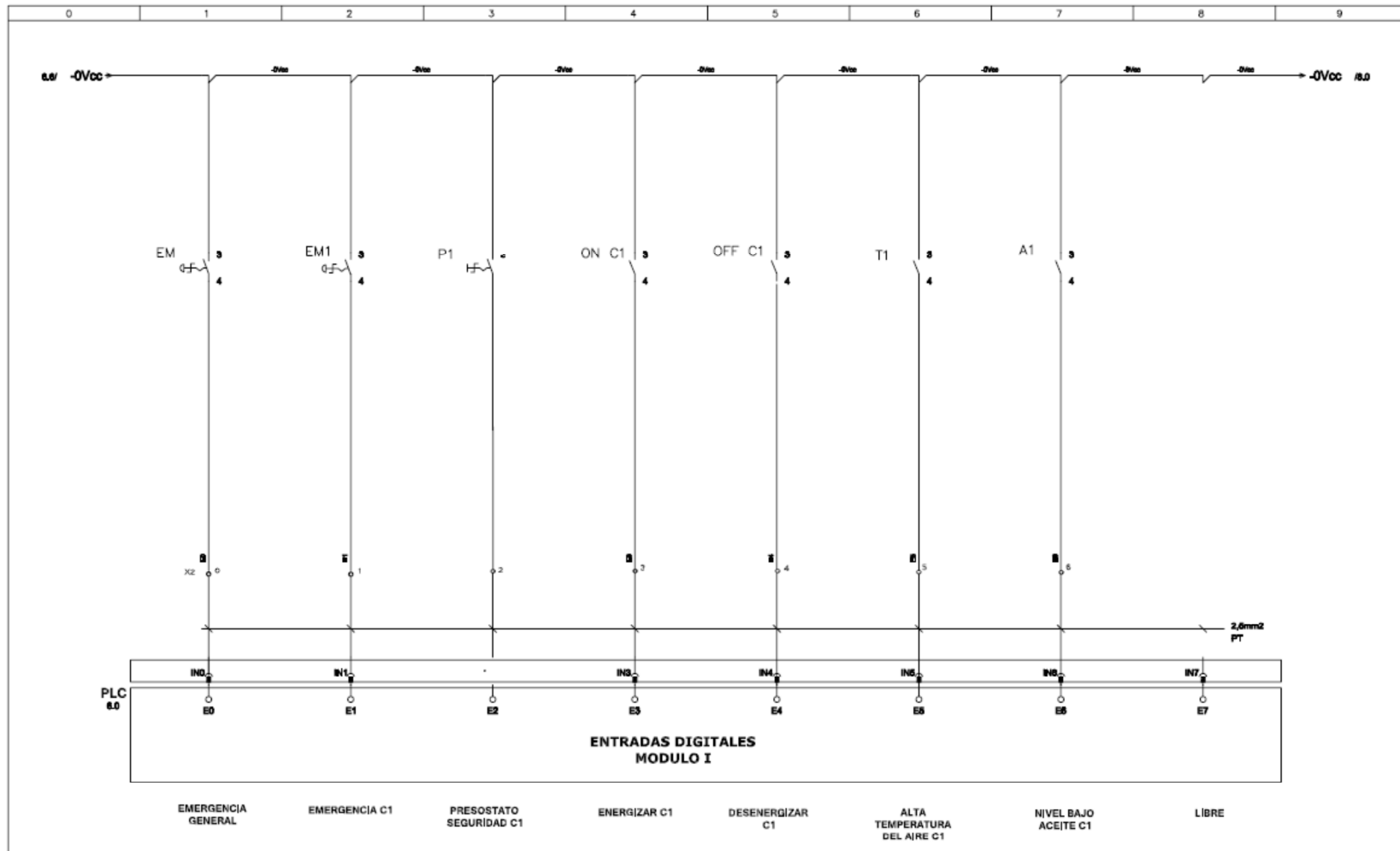


| | | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|------------|--|-----|--|
| <p style="text-align: center;">ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</p> | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 6 DE 17 |
| | | SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | CONTIENE: ALIMENTACIÓN 125 VCC CLP Y TOUCH PANEL | | |
| ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | | | |

3.5.3 Entradas digitales módulo I

El plano No.7 detalla las entradas digitales que llegan al PLC mediante la bornera X2 las mismas permitirán actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático. Estas entradas se detallan según las secciones del plano No.7 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra las líneas de alimentación de 24VCC proveniente del plano No.6 sección 6.
- ❖ Sección 1 corresponde a la entrada E0 EMERGENCIA GENERAL y la actuación del contacto NA comandado por el pulsador magnético EM.
- ❖ Sección 2 corresponde a la entrada E1 EMERGENCIA C1 y la actuación del contacto NA comandado por el pulsador magnético EM1.
- ❖ Sección 3 corresponde a la entrada E2 PRESOSTATO DE SEGURIDAD C1 y la actuación del contacto NA comandado por el presostato PS1.
- ❖ Sección 4 corresponde a la entrada E3 ENERGIZA C1, la actuación del contacto NA comandado el pulsador no magnético P1.
- ❖ Sección 5 corresponde a la entrada E4 DESENERGIZA C1, la actuación del contacto NA comandado el pulsador no magnético P2.
- ❖ Sección 6 corresponde a la entrada E5 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1 y la actuación del contacto NA sensor de temperatura T1.
- ❖ Sección 7 corresponde a la entrada E6 NIVEL BAJO DE ACEITE C1 y la actuación del contacto NA comandado por el sensor de nivel A1.
- ❖ Sección 8 corresponde a la entrada E7 que esta libre para futuras implementaciones del compresor 1.

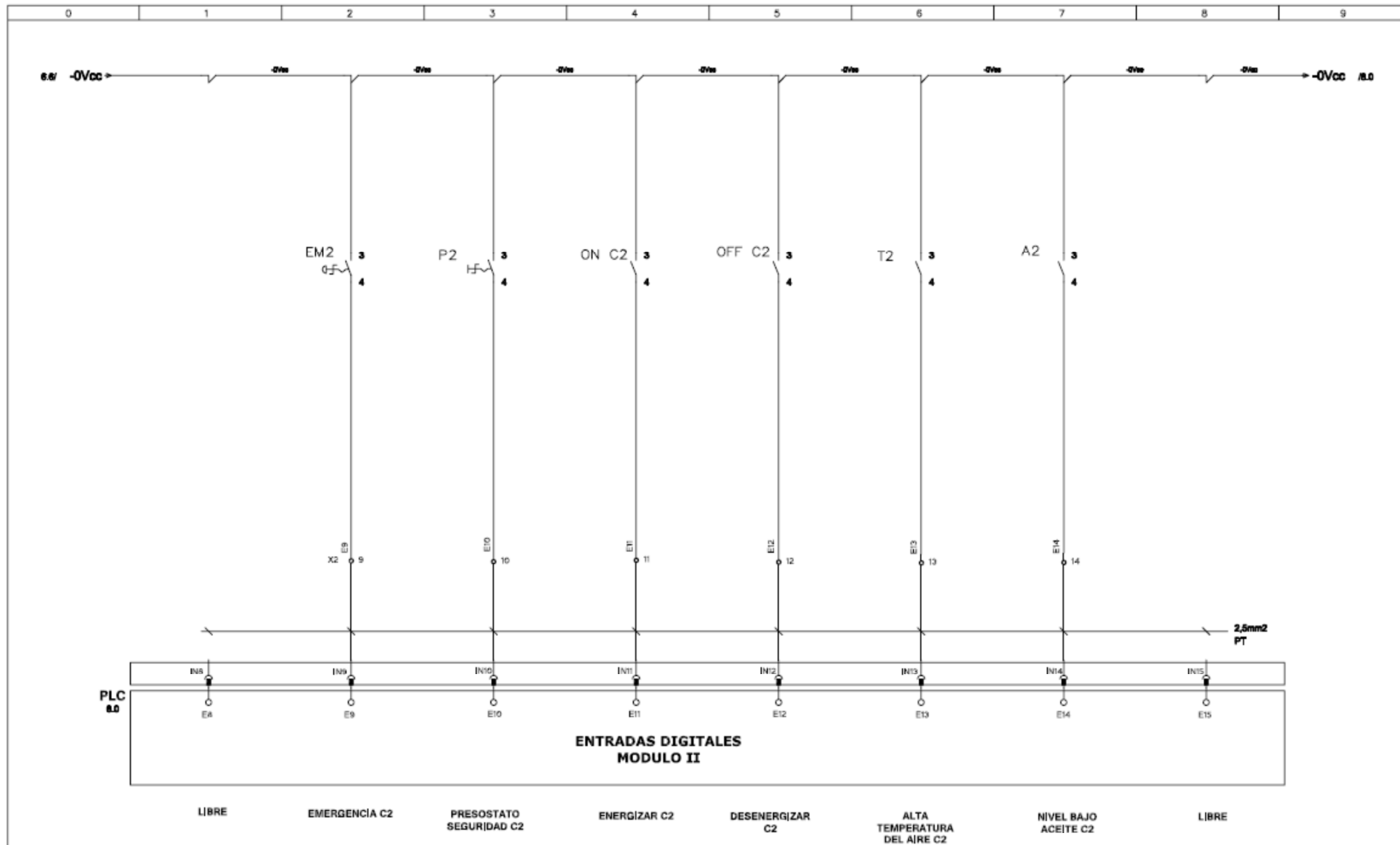


| | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 7 DE 17 |
| | | CONTIENE: | ENTRADAS DIGITALES MODULO I | DIBUJADO POR: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | ESTUDIANTE: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | |

3.5.4 Entradas digitales módulo II

El plano No.8 detalla las entradas digitales que llegan al PLC mediante la bornera X2 las mismas permitirán actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático. Estas entradas se detallan según las secciones del plano No.8 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra las líneas de alimentación de 24VCC proveniente del plano No.6 sección 6.
- ❖ Sección 1 corresponde a la entrada E8 que esta libre para futuras implementaciones del compresor 1.
- ❖ Sección 2 corresponde a la entrada E9 EMERGENCIA C2 y la actuación del contacto NA comandado por el pulsador magnetico EM2.
- ❖ Sección 3 corresponde a la entrada E10 PRESOSTATO DE SEGURIDAD C2 y la actuación del contacto NA comandado por el presotato PS2.
- ❖ Sección 4 corresponde a la entrada E11 ENERGIZA C2, la actuación del contacto NA comandado el pulsador no magnético P3.
- ❖ Sección 5 corresponde a la entrada E12 DESENERGIZA C2, la actuación del contacto NA comandado el pulsador no magnético P4.
- ❖ Sección 6 corresponde a la entrada E13 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C2 y la actuación del contacto NA sensor de temperatura T2.
- ❖ Sección 7 corresponde a la entrada E14 NIVEL BAJO DE ACEITE C2 y la actuación del contacto NA comandado por el sensor de nivel A2.
- ❖ Sección 8 corresponde a la entrada E15 que esta libre para futuras implementaciones del compresor 2.

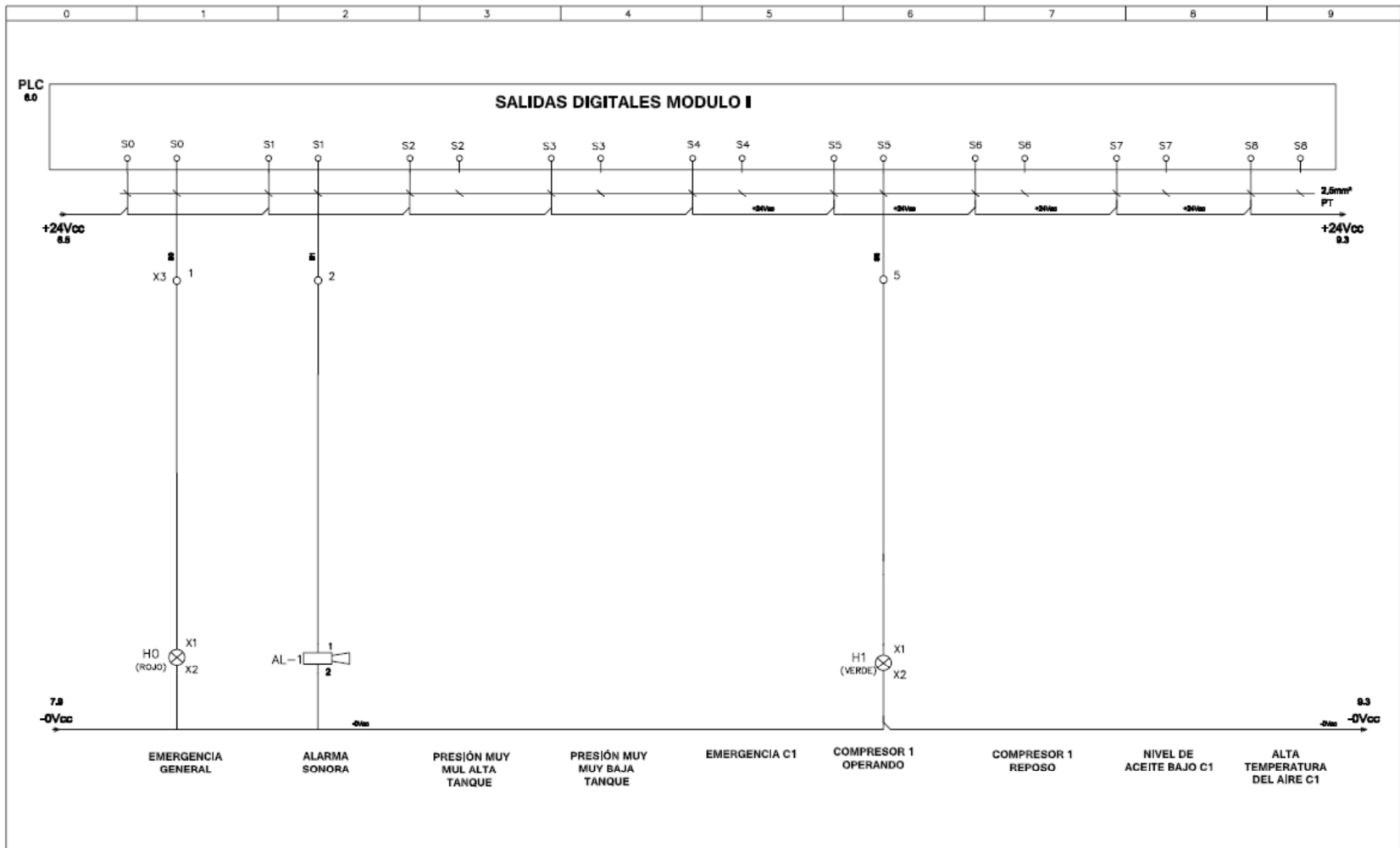


| | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 8 DE 17 |
| | | SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | CONTIENE: | ENTRADAS DIGITALES MODULO II | |
| | | ESTUDIANTE: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: | INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | |

3.5.5 Salidas digitales módulo I

El plano No.9 detalla las salidas digitales enviadas por el PLC y que permitirán actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático y la conexión en la bornera X3. Estas salidas se detallan según las secciones del plano No.9 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra la procedencia de las líneas de alimentación de 24VCC que provienen del plano No.6 sección 5, 0VCC provienen del plano No.7 sección 9.
- ❖ Sección 1 muestra la salida S0 EMERGENCIA GENERAL y la conexión a la luminaria H0 rojo.
- ❖ Sección 2 muestra la salida S1 ALARMA SONORA y la conexión con AL-1.
- ❖ Sección 3 muestra la salida S2 PRESIÓN MUY MUY ALTA DEL TANQUE.
- ❖ Sección 4 muestra la salida S3 PRESIÓN MUY MUY BAJA DEL TANQUE.
- ❖ Sección 5 muestra la salida S4 EMERGENCIA C1.
- ❖ Sección 6 muestra la salida S5 COMPRESOR 1 OPERANDO y la conexión con la luminaria de estado color verde H1.
- ❖ Sección 7 muestra la salida S6 COMPRESOR 1 REPOSO
- ❖ Sección 8 muestra la salida S7 NIVEL BAJO DE ACEITE C1.
- ❖ Sección 9 muestra la salida S8 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1.

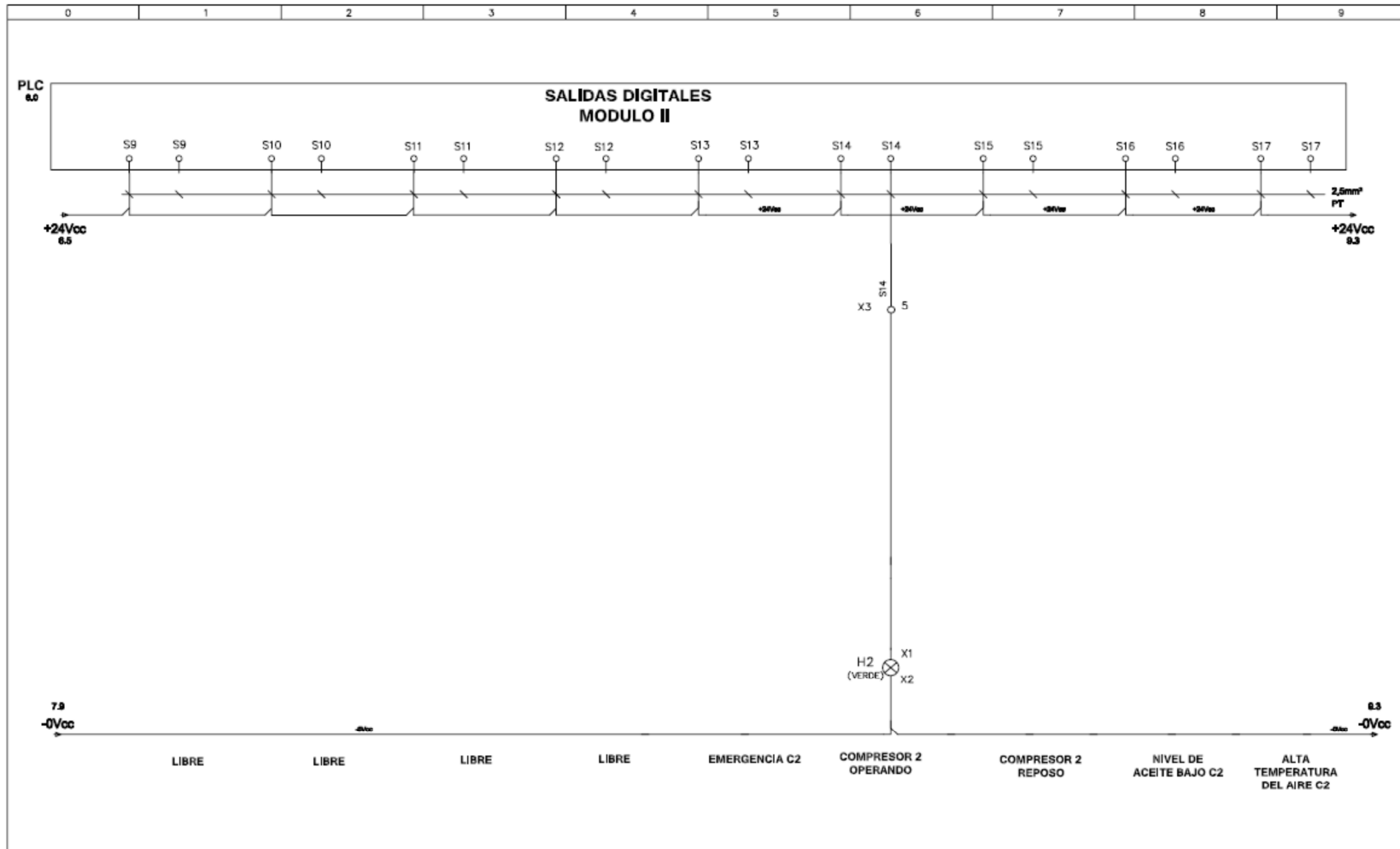


| | | | | | | |
|----------------------------------|--|---|------------|---------------------------------------|-----|------------------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 9 DE 17 |
| | | SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | CONTIENE: SALIDAS DIGITALES MODULO I | | |
| | | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |

3.5.6 Salidas digitales módulo II

El plano No.10 detalla las salidas digitales enviadas por el PLC y que permitirán actuar sobre el sistema, ya sea en mando manual o automático y la conexión en la bornera X3. Estas salidas se detallan según las secciones del plano No.10 a continuación.

- ❖ Sección 0 muestra la procedencia de las líneas de alimentación de 24VCC que provienen del plano No.6 sección 5, 0VCC provienen del plano No.7 sección 9.
- ❖ Sección 1, 2, 3 y 4 muestra la salida S9, S10, S11 y S12 respectivamente que se dejarán libres para futuras implementaciones de compresor 1 y 2.
- ❖ Sección 5 muestra la salida S13 EMERGENCIA C2.
- ❖ Sección 6 muestra la salida S14 COMPRESOR 2 OPERANDO y la conexión con la luminaria de estado color verde H2.
- ❖ Sección 7 muestra la salida S14 COMPRESOR 2 REPOSO
- ❖ Sección 8 muestra la salida S15 NIVEL BAJO DE ACEITE C2.
- ❖ Sección 9 muestra la salida S16 ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C2.

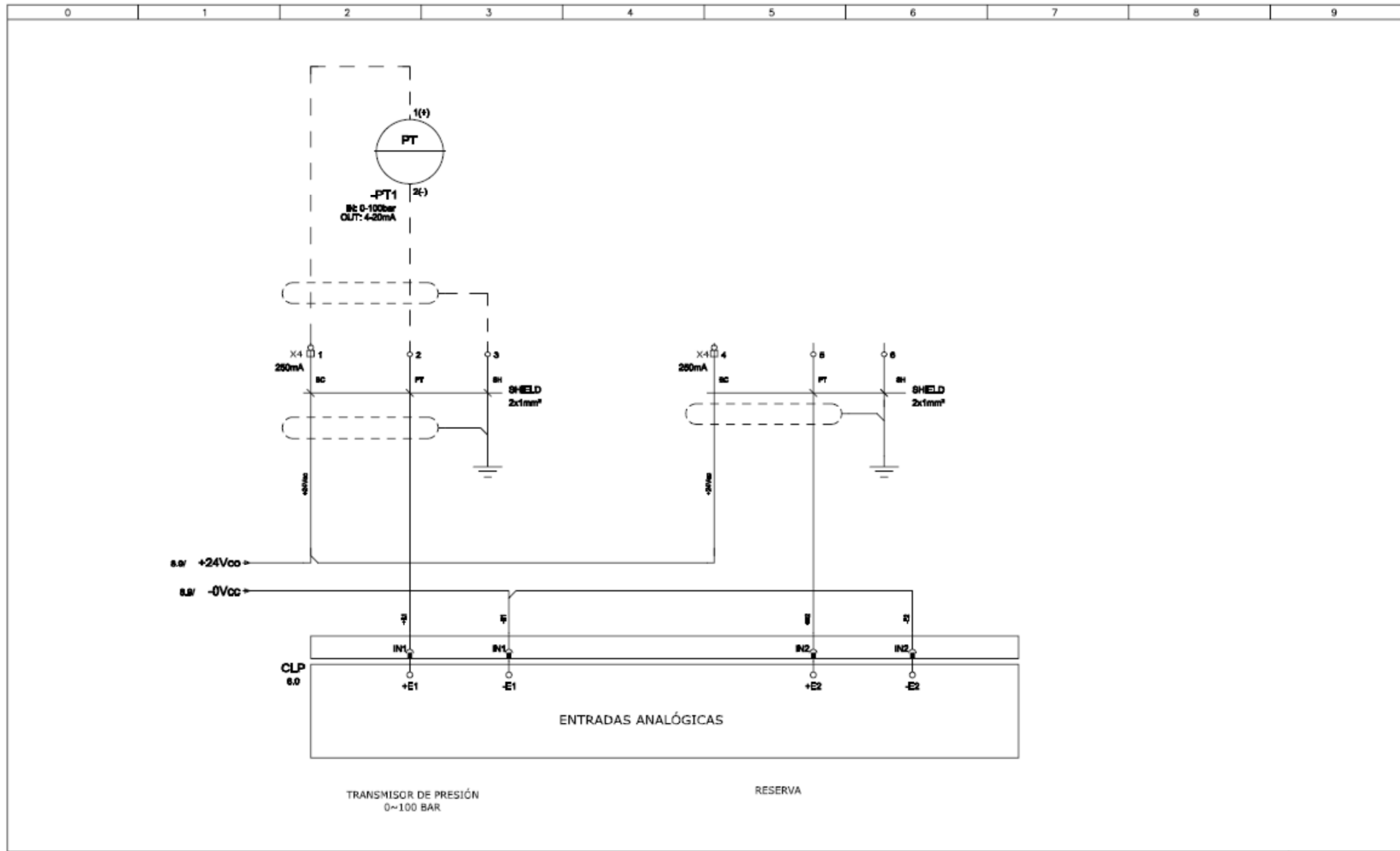


| | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|-------------------|---|------------------------------|
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 10 DE 17 |
| | | CONTIENE: SALIDAS DIGITALES MODULO II | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | |
| | | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | | | |

3.5.7 Entradas analógicas

El plano No.11 detalla las entradas analógicas a recibir por el PLC, señal que proviene del transmisor de presión. Estas entradas se detallan según las secciones del plano No.11 a continuación.

- ❖ Sección 1 muestra las líneas de alimentación 24VCC y 0VCC provenientes del plano No.8 sección 9.
- ❖ Sección 2 y 3 muestra la conexión del transmisor de presión PT a la entrada analógica E1.
- ❖ Sección 7 y 8 muestra la conexión de reserva para un transmisor de presión PT de reserva a la entrada analógica E2.

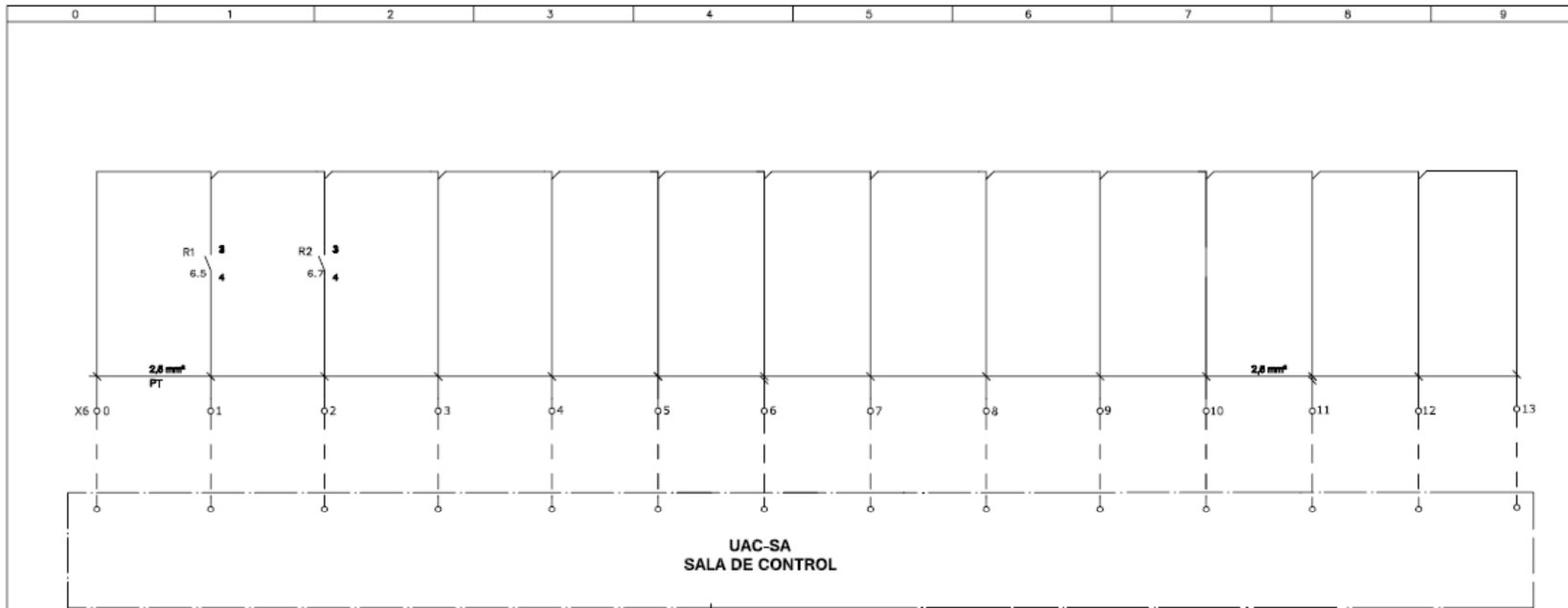


| | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 11 DE 17 |
| | | SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | CONTIENE: ENTRADAS ANALÓGICAS | | |
| | | ESTUDIANTE: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: | INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | |

3.5.8 Interconexión sala de control

El plano No.12 detalla las señales que se enviarán a sala de control mediante el PLC de la UAC-SA (unidad de adquisición y control de servicios auxiliares) y las conexiones a la bornera X6. Estas señales se detallan según las secciones del plano No.12 a continuación.

- ❖ Sección 1 se muestra la actuación del contacto NA comandado por el relé R1 descrito en el plano No.6 sección 5 y señal que mostrará FALLA FUENTE 1 en el sistema digital.
- ❖ Sección 2 se muestra la actuación del contacto NA comandado por el relé R2 descrito en el plano No.6 sección 7 y señal que mostrará FALLA FUENTE 2 en el sistema digital, en la misma sección encontramos la señal EMERGENCIA C1.
- ❖ Sección 3 muestra la señal EMERGENCIA C2.
- ❖ Sección 4 muestra las señales COMPRESOR 1 OPERANDO y COMPRESOR 2 OPERANDO.
- ❖ Sección 5 muestra la señal NIVEL BAJO ACEITE C1.
- ❖ Sección 6 muestra las señales NIVEL BAJO ACEITE C2 y ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1.
- ❖ Sección 7 muestra las señales ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C2.
- ❖ Sección 8 muestra las señales PRESIÓN MUY MUY ALTA DEL TANQUE y PRESIÓN MUY MUY BAJA DEL TANQUE.
- ❖ Sección 9 muestra las señales EMERGENCIA GENERAL.



| | | | | | | |
|-------|----------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| COMÚN | FALLA FUENTE 2 | EMERGENCIA C2 | COMPRESOR 2 OPERANDO | NIVEL BAJO ACEITE C2 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C2 | PRESIÓN MUY MUY BAJA |
| | FALLA FUENTE 1 | EMERGENCIA C1 | COMPRESOR 1 OPERANDO | NIVEL BAJO ACEITE C1 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1 | PRESIÓN MUY MUY ALTA |
| | | | | | | EMERGENCIA GENERAL |

| | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---|--------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 12 |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | CONTIENE: INTERCONEXIÓN SALA DE CONTROL | | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | |
| | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |
| | | | | DE 17 |

3.5.9 Entradas y salidas de PLC

El plano No.13 detalla las entradas digitales, salidas digitales y entradas analógicas con su número de plano, bornera y descripción.

3.5.10 Alimentación y distribución panel compresor 1

El plano No.14 detalla las conexiones y la alimentación de 480VAC para energizar el motor del compresor 1. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.14 a continuación.

- ❖ Sección 2 alimentación proveniente desde el tablero CCMU1 y que detalla en el plano SFR-DS5VAT-CMQB-137 mostrado en el ANEXO 3, la alimentación llega al interruptor Q1.
- ❖ Sección 3 muestra la conexión al contactor KM1 y la conexión al motor M1.
- ❖ Sección 4 muestra la conexión al contactor KM2 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 5 muestra la conexión al contactor KM3 y la conexión al fusible térmico de protección F01.

ENTRADAS DIGITALES

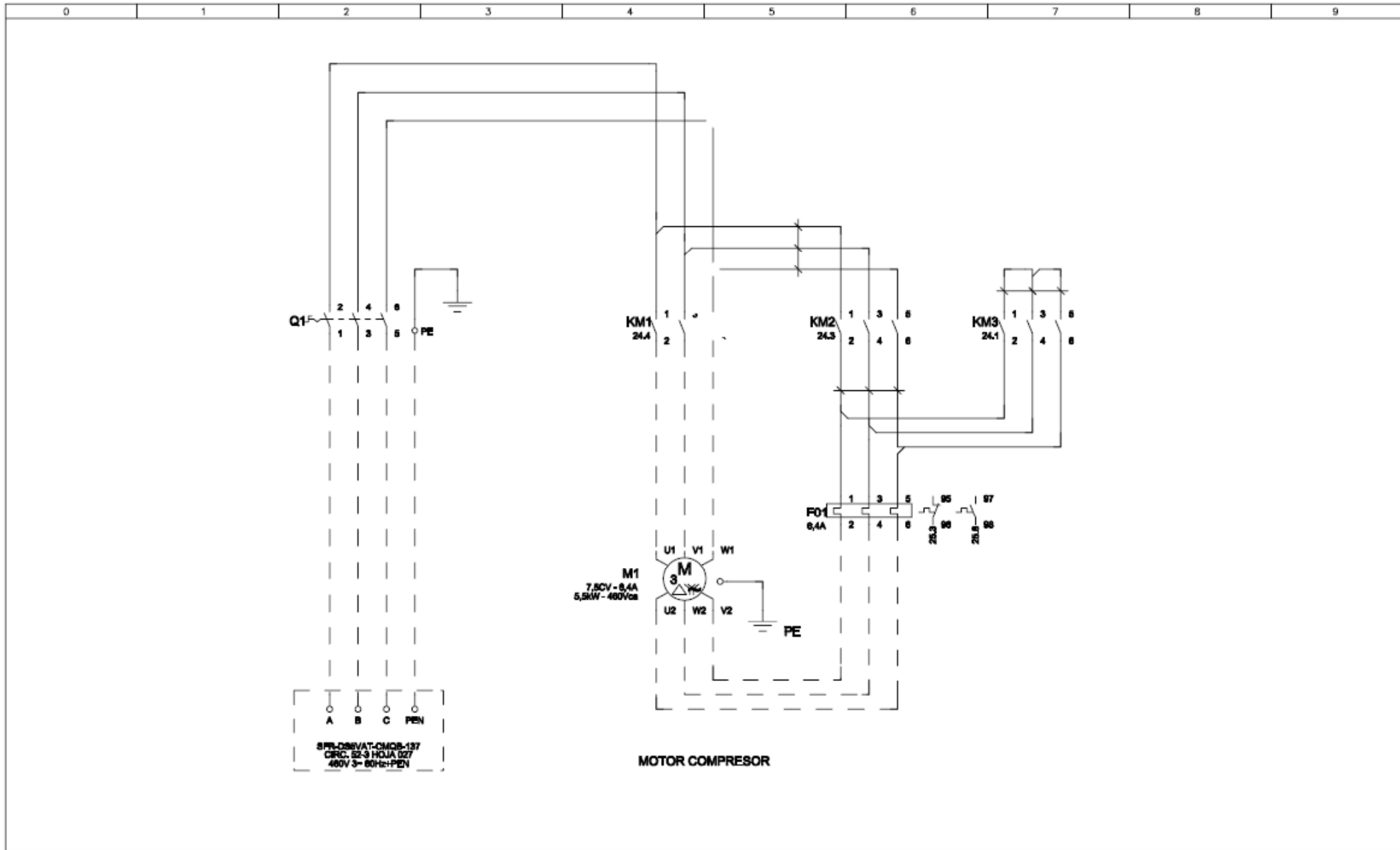
| PLC | SEÑAL | PAGINA | BORNE | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|-------|------------------------------|
| | E0 | /7.1 | X2.0 | EMERGENCIA GENERAL |
| | E1 | /7.2 | X2.1 | EMERGENCIA C1 |
| | E2 | /7.3 | X2.2 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C1 |
| | E3 | /7.4 | X2.3 | ENERGIZAR C1 |
| | E4 | /7.5 | X2.4 | DEENERGIZAR C1 |
| | E5 | /7.6 | X2.5 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1 |
| | E6 | /7.7 | X2.6 | NIVEL BAJO DE ACEITE C1 |
| | E9 | /8.2 | X2.9 | EMERGENCIA C2 |
| | E10 | /8.3 | X2.10 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C2 |
| | E11 | /8.4 | X2.11 | ENERGIZAR C2 |
| | E12 | /8.5 | X2.12 | DEENERGIZAR C2 |
| | E13 | /8.6 | X2.13 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C2 |
| | E14 | /8.7 | X2.14 | NIVEL BAJO ACEITE C2 |

SALIDAS DIGITALES

| PLC | SEÑAL | PAGINA | BORNE | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|-------|----------------------------------|
| | S0 | /9.1 | X2.0 | EMERGENCIA GENERAL |
| | S1 | /9.2 | X2.1 | ALARMA SONORA |
| | S2 | /9.3 | X2.2 | PRESIÓN MUY MUY ALTA TANQUE |
| | S3 | /9.4 | X2.3 | PRESIÓN MUY MUY BAJA TANQUE |
| | S4 | /9.5 | X2.4 | EMERGENCIA C1 |
| | S5 | /9.6 | X2.5 | COMPRESOR 1 OPERANDO/ENERGIZA C1 |
| | S6 | /9.7 | X2.6 | COMPRESOR 1 REPOSO/DEENERGIZA C1 |
| | S7 | /9.8 | X2.7 | NIVEL ACEITE BAJO C1 |
| | S8 | /9.9 | X2.8 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1 |
| | S13 | /10.5 | X2.13 | EMERGENCIA C2 |
| | S14 | /10.6 | X2.14 | COMPRESOR 2 OPERANDO/ENERGIZA C2 |
| | S15 | /10.7 | X2.15 | COMPRESOR 2 REPOSO/DEENERGIZA C2 |
| | S16 | /10.8 | X2.16 | NIVEL ACEITE BAJO C1 |
| | S17 | /10.9 | X2.17 | ALTA TEMPERATURA DEL AIRE C1 |

ENTRADAS ANALÓGICAS

| PLC | SEÑAL | PAGINA | BORNE | TEXTO FUNCIONAL |
|-----|-------|--------|-------|-----------------------|
| | +E1 | /11.2 | X4.1 | TRANSMISOR DE PRESIÓN |
| | -E1 | /11.3 | X4.2 | |
| | +E2 | /11.5 | X4.3 | RESERVA |
| | -E2 | /11.6 | X4.4 | |

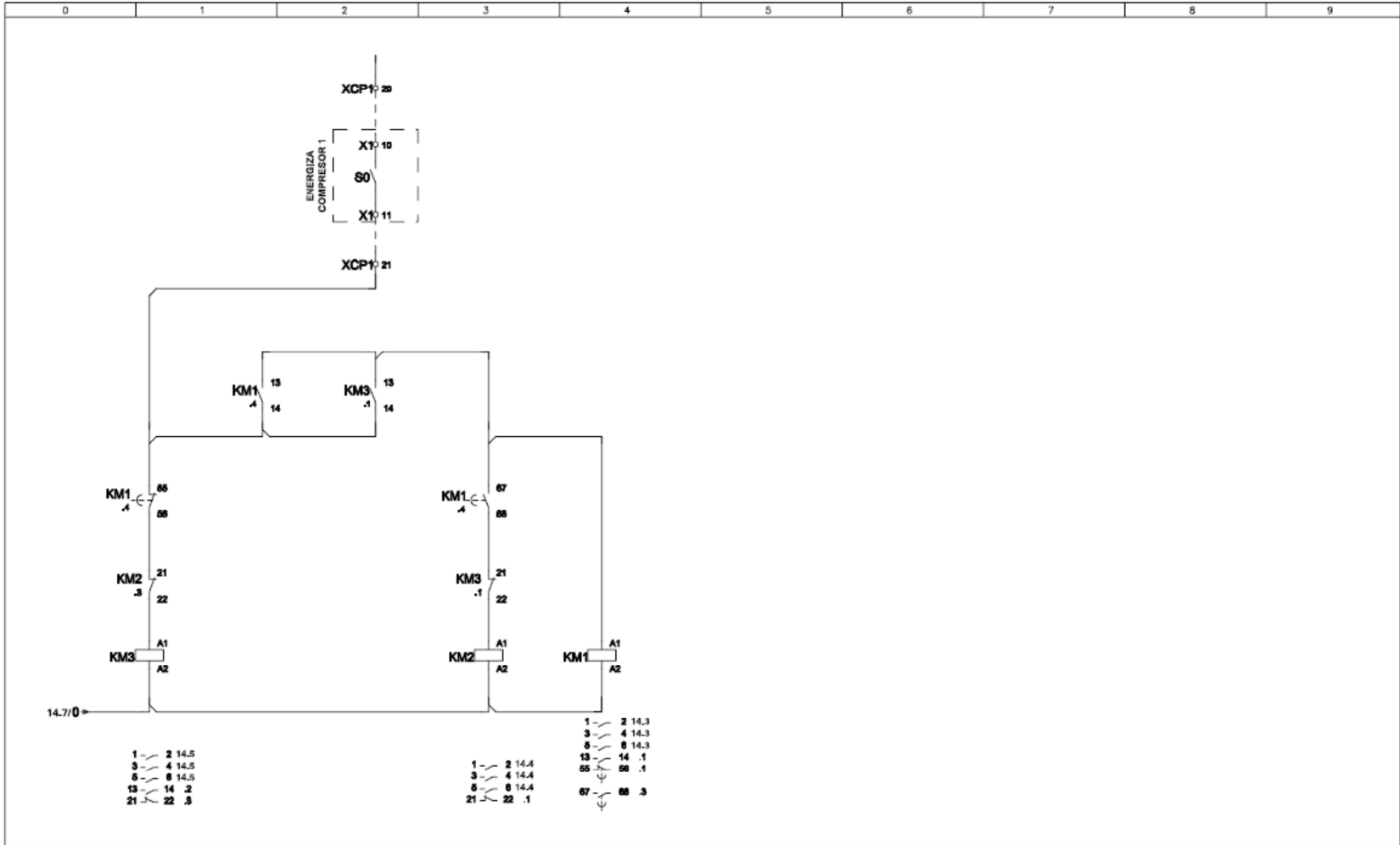


| | | | | |
|--------------------------------------|---|---|----------------|----------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: 04/06/2012 | ESCALA: 1:1 | LAMINA 14 |
| SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | CONTIENE: ALIMENTACION Y DISTRIBUCIÓN PANEL CP1 | DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | | |
| | ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | | |

3.5.11 Comando 110vac panel compresor 1

El plano No.15 detalla las conexiones y actuación de los relés KM1, KM2 y KM3 que comandan energizar/desenergizar el motor del compresor 1. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.15 a continuación.

- ❖ Sección 1 se muestra el contacto NC comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM2 y el relé KM3.
- ❖ Sección 1 en la parte baja se muestra los contactos activados por el relé KM3 en el plano No.14. sección 7 y en plano No.15 sección 2 y 3.
- ❖ Sección 2 se muestra el contacto NA comandado por la salida S5 y S6 del PLC que energiza y desenergiza el compresor 1, el contacto NA comandado por el relé KM1 y el contacto NA comandado por el relé KM3.
- ❖ Sección 3 se muestra el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM3 y el relé KM2.
- ❖ Sección 3 en la parte baja se muestra los contactos activados por el relé KM2 en el plano No.14. sección 4 y en plano No.15 sección 1.
- ❖ Sección 4 se muestra la conexión del relé KM1, y en la parte baja se muestra los contactos activados por este relé en los planos No.14 sección 4, planos No.15 sección 1.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA

15

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: COMANDO 110VAC PANEL CP1

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

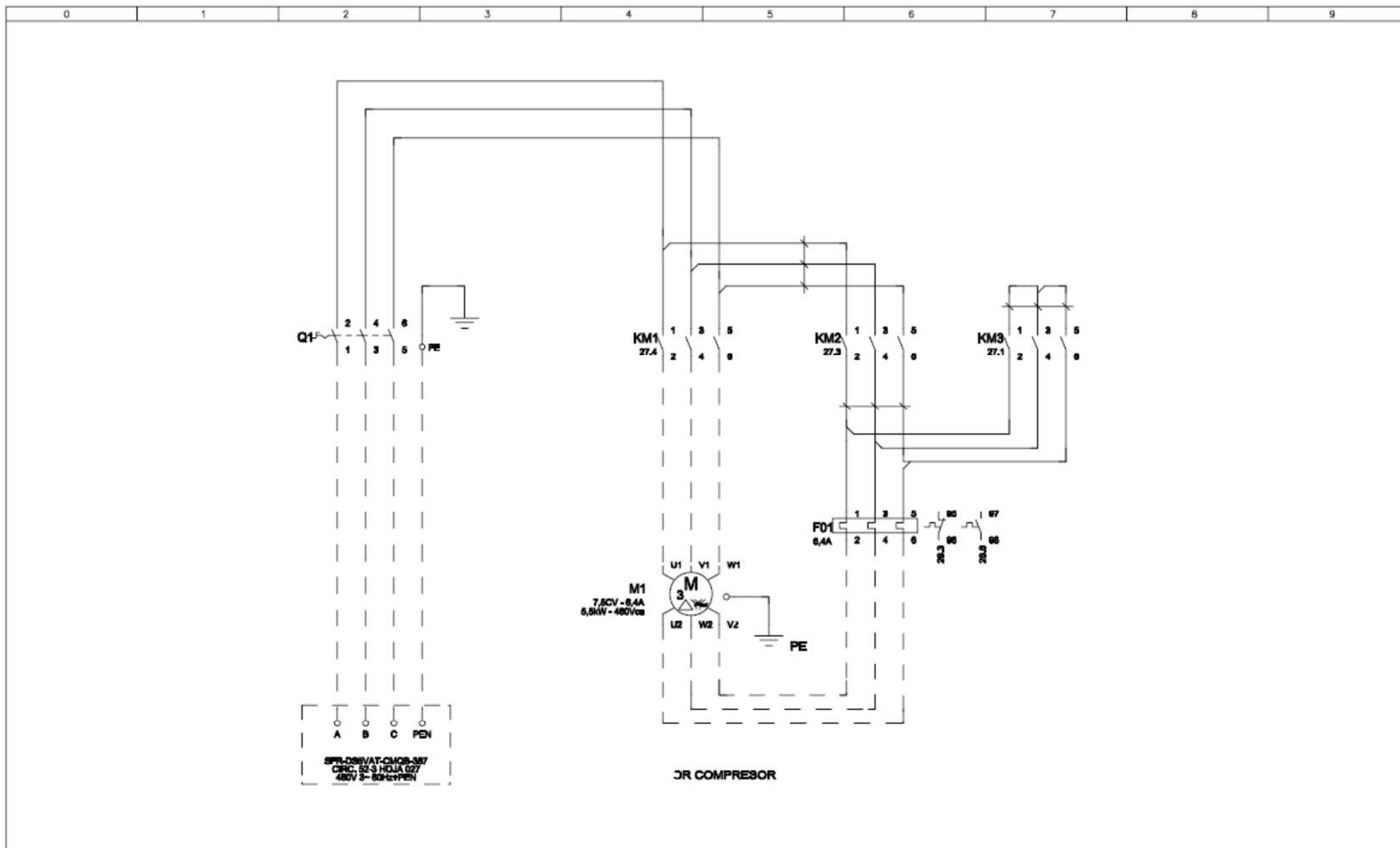
DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

DE 17

3.5.12 Alimentación y distribución panel compresor 2

El plano No.16 detalla las conexiones y la alimentación de 480VAC para energizar el motor del compresor 2. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.16 a continuación.

- ❖ Sección 2 alimentación proveniente desde el tablero CCMU2 y que detalla en el plano SFR-DS5VAT-CMQB-137 mostrado en el ANEXO 4, la alimentación llega al interruptor Q1.
- ❖ Sección 3 muestra la conexión al contactor KM1 y la conexión al motor M1.
- ❖ Sección 4 muestra la conexión al contactor KM2 y la conexión al fusible térmico de protección F01.
- ❖ Sección 5 muestra la conexión al contactor KM3 y la conexión al fusible térmico de protección F01.

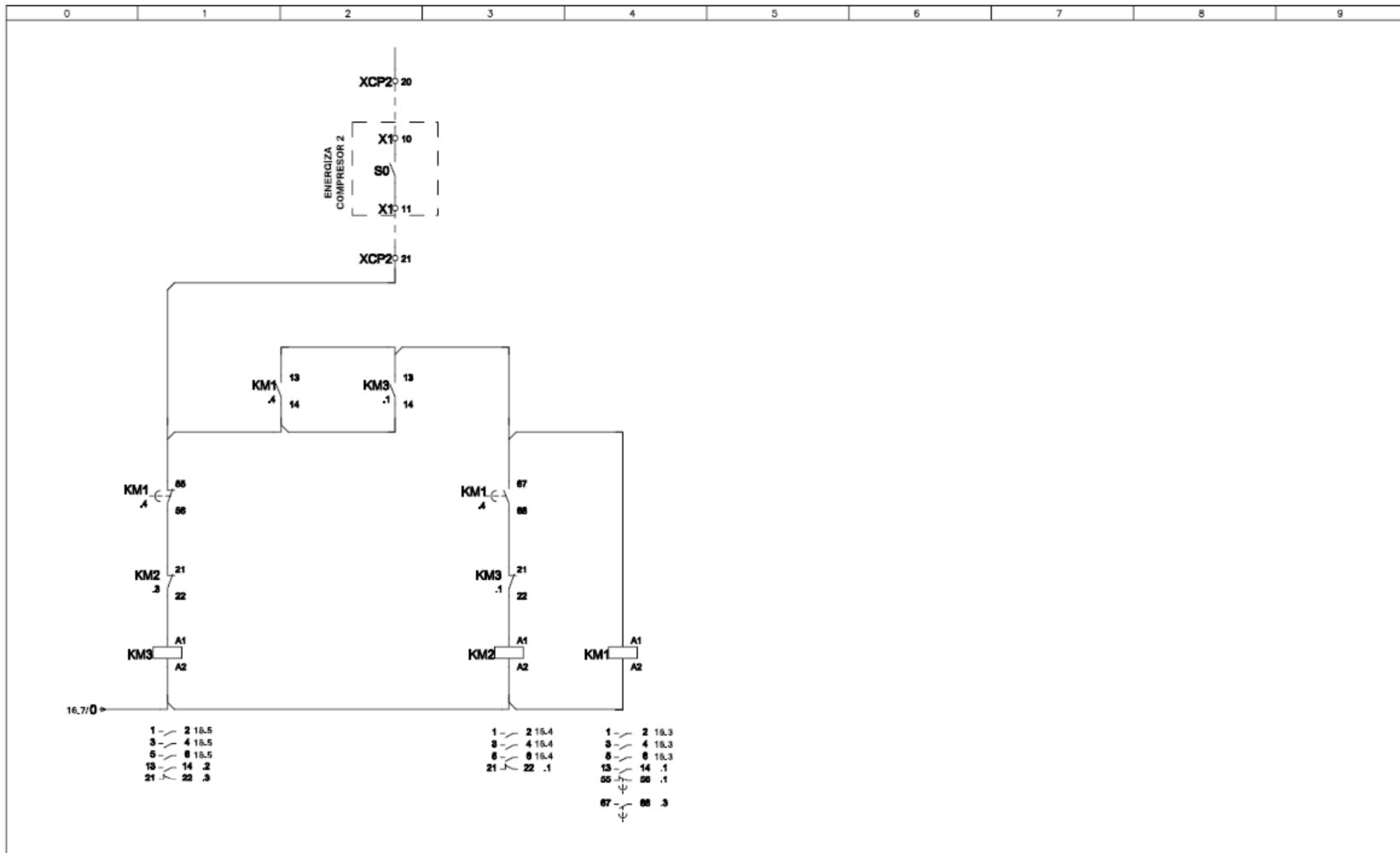


| | | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO | | FECHA: | 04/06/2012 | ESCALA: | 1:1 | LAMINA 16 DE 17 |
| | | SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR | | CONTIENE: | ALIMENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PANEL CP2 | |
| | | ESTUDIANTE: | JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO | DIRECTOR: | INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN | |

3.5.13 Comando 110vac panel compresor 2

El plano No.17 detalla las conexiones y actuación de los relés KM1, KM2 y KM3 que comandan energizar/desenergizar el motor del compresor 2. Estas conexiones se detallan según las secciones del plano No.17 a continuación.

- ❖ Sección 1 se muestra el contacto NC comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM2 y el relé KM3.
- ❖ Sección 1 en la parte baja se muestra los contactos activados por el relé KM3 en el plano No.16 sección 7 y en plano No.17 sección 2 y 3.
- ❖ Sección 2 se muestra el contacto NA comandado por la salida S5 y S6 del PLC que energiza y desenergiza el compresor 2, el contacto NA comandado por el relé KM1 y el contacto NA comandado por el relé KM3.
- ❖ Sección 3 se muestra el contacto NA comandado por el relé KM1, contacto NC comandado por el relé KM3 y el relé KM2.
- ❖ Sección 3 en la parte baja se muestra los contactos activados por el relé KM2 en el plano No.16. sección 4 y en plano No.17 sección 1.
- ❖ Sección 4 se muestra la conexión del relé KM1, y en la parte baja se muestra los contactos activados por este relé en los planos No.16 sección 4, planos No.17 sección 1.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 04/06/2012

ESCALA: 1:1

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: COMANDO 110VAC PANEL CP2

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

LAMINA

17

DE 17

3.6 LISTA DE MATERIALES

En la tabla 3.1 se redacta la lista de materiales que serán necesarios adquirir por la empresa al momento de realizar la implementación del rediseño del sistema de aire comprimido.

| CANT. | UNID. | DESCRIPCIÓN |
|-------|-------|---------------------------------------|
| 1 | U | PLC |
| 1 | U | TOUCH PANEL DE 10" |
| 1 | U | CABLE DE COMUNICACIÓN PLC-TOUCH PANEL |
| 1 | U | CABLE DE COMUNICACIÓN PLC-PC |
| 1 | U | SOFTWARE PROGRAMACIÓN PLC |
| 1 | U | SOFTWARE PROGRAMACIÓN HMI |
| 200 | M | CONDUCTOR DE COBRE |
| 1 | U | LUZ LED ROJA |

Tabla 3.1 Lista de materiales rediseño

3.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES A COMPRAR

3.7.1 PLC

Requerimientos básicos:

- ❖ 1 entrada analógica para intensidad nominal 0/4-20mA.
- ❖ 14 entradas digitales con voltaje nominal de 24VCC para señal de alto "1", con margen admisible de 20 a 30VCC y 0VCC para señal bajo "0", con margen admisible de -3 a 5VCC. Intensidad de entrada para señal de alto "1" mínimo 8mA.
- ❖ 16 salidas digitales con voltaje nominal de 24VCC, con margen admisible de 20 a 30VCC.
- ❖ 1 puerto de comunicación con touch-panel
- ❖ Alimentación 24 VCC con margen admisible de 20 a 30VCC.

- ❖ Grado de protección IP20, resistente a humedad entre 40 y 70%.
- ❖ Indicadores de estado y error.
- ❖ Selector de modo de trabajo.
- ❖ Respaldo de datos con pila.

3.7.2 Touch panel

Requerimientos básicos:

- ❖ Compatible con el Puerto de comunicación del PLC seleccionado.
- ❖ Tamaño 10" o más
- ❖ Grado de protección IP-65
- ❖ Alimentación 24 VDC, con margen admisible de 0 a 30VCC
- ❖ Fusible de protección
- ❖ Memoria mínimo 2Mb

3.7.3 Conductor de cobre

Requerimientos básicos:

- ❖ Cable de control, apantallado, 16 AWG
- ❖ Cubierta exterior negra

3.7.4 Software programación PLC

Requerimientos básicos:

- ❖ Programación en lenguaje literal y grafico
- ❖ Variables e instrucciones básicas
- ❖ Temporizadores, contadores, saltos condicionales, etc
- ❖ Señales analógicas
- ❖ Lista de instrucciones AWL o STL
- ❖ Esquema de contactos KOP
- ❖ Diagrama de funciones FUP

- ❖ Interfaz de usuario compatible con Windows, con soporte de idiomas

3.7.5 Software programación HMI

Requerimientos básicos:

- ❖ Interfaz de usuario sencilla y cómoda para programación
- ❖ Representación de procesos con gráficos
- ❖ Librería de objetos predeterminados
- ❖ Creación de objetos
- ❖ Propiedades copiado, pegado, arrastre de objetos, etc
- ❖ Trabajo en línea e ininterrumpido
- ❖ Administración de usuarios y protección de accesos
- ❖ Interfaz de usuario compatible con Windows, con soporte de idiomas
- ❖ Sistema de avisos personalizables
- ❖ Sistema de informes y posibilidad de archivar avisos
- ❖ Cliente OPC para PC
- ❖ Informe de errores

3.8 LÓGICA DE CONTROL

Luego de realizado el diagrama de bloque del sistema, diseño de planos y requerimientos técnicos de los equipos es necesario determinar la secuencia de las operaciones (eventos que marcan cambios de estados, secuencia de eventos, estados que definen el contexto para los eventos), la organización de los sucesos y estados del proceso a ser automatizado, para lo cual se estableció el diagrama de bloques de proceso. En base al diagrama se plantea las siguientes preguntas.

- ✓ ¿En qué estados se puede encontrar los elementos?
- ✓ ¿Que transiciones de estados se pueden dar?
- ✓ ¿Que eventos ocurren?
- ✓ ¿Qué eventos y operaciones se llevan a cabo?
- ✓ ¿Qué interacciones ocurren entre objetos?

✓ ¿Cuáles son las reglas de activación?

Al responder las preguntas planteadas siguiendo el diagrama de bloques del proceso, se pudo determinar las operaciones o métodos que realizan los procesos principales dentro del sistema, así mismo se pudo determinar el disparo de algunos indicadores para otros programas o componentes cuando inicien una secuencia preestablecida. En la tabla 3.2 se muestra la secuencia de operación del sistema en mando manual y automático.

| ÍTEM | MÉTODO | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------------------|--------------------------|---|
| Control automático del sistema | | |
| 1 | Arranque / Parada | El arranque y parada automática de los compresores, esta comandada de acuerdo a la presión del tanque, libre su configuración |
| 2 | Purga de los compresores | Accionamiento del sistema de purga del condensado de los compresores, libre configuración del tiempo de purga |
| 3 | Operación local | Para energizar y desenergizar los compresores en forma manual con pulsadores locales. |
| 4 | Parada de emergencia | Pulsador magnético, que desenergiza todo el sistema o cada compresor de manera individual. |
| 5 | Alarma visual y sonora | Alarmas por nivel bajo de aceite, y temperatura alta en la sala de control y PLC, no permitiendo el arranque ni manual, ni automático del sistema |
| 6 | Señalización luminosa | Activación de dos lámparas de señalización, que indican el encendido de cada uno de los compresor y una lámpara que indique acciones de alarma. |
| 7 | Señalización acústica | Activación de una sirena para indicar acciones de alarma, de acuerdo a presiones del tanque, error en funcionamiento de electroválvula, |
| | | |

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 8 | Indicadores de nivel | Encendido y apagado de compresores, con indicación en señal SCADA y aplicación de alarma cuando se requiera |
| 9 | Reset | Accionamiento de reseteo de alarmas visual y sonora |
| Control manual del sistema | | |
| 10 | Arranque de compresores | Arranque de compresores en forma manual por medio de dos pulsadores, uno para cada compresor |
| 11 | Parada de emergencia manual | Desenergización manual de los compresores mediante dos pulsadores individuales |

Tabla. 3.2. Lógica de control

En la tabla 3.2 se ha descrito los pasos y consideraciones necesarias para caracterizar los elementos requeridos para la automatización, se ha identificado las entradas, salidas, sus estructuras y las relaciones existentes, se ha establecido el comportamiento individual y colectivo de los objetos a través de los procesos.

3.9 PARÁMETROS DE BLOQUEO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido por ser fundamental en el proceso, debe ser bloqueado y vigilado permanentemente en parámetros como:

- **Nivel bajo de aceite.-** Alarmas visual y sonora en la sala de control y PLC, se desenergiza el compresor y no permite el arranque ni manual ni automático.
- **Temperatura alta.-** Alarma sala de control y PLC visual y sonora, desenergiza el compresor y no permitir el arranque ni manual ni automático.

- **Presostato de seguridad.**- Alarmas visual y sonora en la sala de control y PLC, se desenergiza el compresor y no permite el arranque ni manual ni automático.
- **Paro de emergencia.**- Alarmas visual y sonora en la sala de control y PLC, se desenergiza el compresor y no permite el arranque ni manual ni automático.
- **Presión muy muy alta.**- Alarma sala de control y PLC visual y sonora, desenergiza los dos compresores y no permitir el arranque ni manual ni automático.
- **Presión muy muy baja.**- Alarma sala de control y PLC visual y sonora, energiza los dos compresores en mando automático.
- **Paro de emergencia general.**- Alarmas visual y sonora en la sala de control y PLC, se desenergiza los dos compresores y no permite el arranque ni manual ni automático.

3.10 EQUIPOS SELECCIONADOS PARA PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN

3.10.1 PLC Siemens S7-300 CPU 313C

Según los datos recogidos en la investigación preliminar y verificación de requerimientos, se establece que el equipo para automatización, debe ser sencillo, confortable, amigable y fácil de usar.

El PLC debería cumplir con los requerimientos básicos para nuestro proyecto del rediseño del sistema de aire comprimido de la central “San Francisco” por lo tanto evaluando estos factores, en este proyecto se utilizará el PLC SIEMENS S7-300 con CPU 313C que se muestra en la figura 3.1 porque está disponible en nuestro mercado, el precio es accesible para que el estudiante pueda realizar la simulación y cumple con nuestros requerimientos:

- ❖ Es asequible en nuestro mercado, por su costo y su disponibilidad.
- ❖ Diseño e instalación simple
- ❖ Facilidad en su uso
- ❖ Elevada potencialidad para configuración y programación

- ❖ Sistemas de diagnóstico de proceso integrados
- ❖ Configuración de tipo modular disponiendo de un gran espectro de módulos, que se los puede configurar dependiendo de la necesidad del usuario.
- ❖ Aplicación flexible gracias a la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas
- ❖ Potente gracias a la gran cantidad de funciones integradas
- ❖ CPU con memoria de programa ampliada



Figura. 3.1. PLC S7-300 con CPU 313C

3.10.1.1 Características de la CPU

Las CPUs de la gama S7-300 son compactas como muestra la figura 3.1. Sus características completas se muestran en el ANEXO 05, las más destacables son:

- ❖ Gran velocidad de procesamiento y breves tiempos de reacción
- ❖ Mayor número de bloques de software
- ❖ Periferia integrada más robusta
- ❖ Acceso más rápido a los contadores hardware.

- ❖ Capacidad funcional para aplicaciones sofisticadas
- ❖ Compacta con entradas y salidas digitales y análogas integradas
- ❖ Se caracteriza por ser confiable y de programación abierta, el mismo que nos servirá como herramienta para dar solución a los problemas actuales de automatización.
- ❖ Se requiere una micro memory card para la CPU.

3.10.2 Software de programación del PLC Siemens S7-300 CPU 313C

Debido a la selección del PLC SIEMENS S7-300 es imprescindible adquirir el software STEP 7 para la programación, configuración y parametrización, el mismo que forma parte del software industrial SIMATIC, las funciones y características completas de este software se puede encontrar en el ANEXO 06, las funciones básicas son:

- ❖ Posibilidad de parametrizar bloques de función y de comunicación
- ❖ Forzado y modo multiprocesador
- ❖ Comunicación de datos globales
- ❖ Transferencia de datos controlada por eventos con bloques de comunicación y de función.
- ❖ Configuraciones de enlaces

Los requisitos de instalación básicos para el funcionamiento adecuado del software son:

- ❖ Sistema operativo Microsoft Windows 98, Windows 2000, Windows NT o Windows XP.
- ❖ Hardware básico PC con procesador Pentium IV o superiores
- ❖ Memoria RAM: 256 Mb como mínimo.

Los elementos para realizar la programación y realizar el control automático de un proceso mediante este software se muestran en la figura 3.2.

- ❖ Fuente de alimentación

- ❖ Unidad de programación PC
- ❖ Máquina a controlar
- ❖ PLC (cpu, MÓDULO de entradas y MÓDULO de salidas)
- ❖ Software Step 7
- ❖ Cable de comunicación PC-PLC

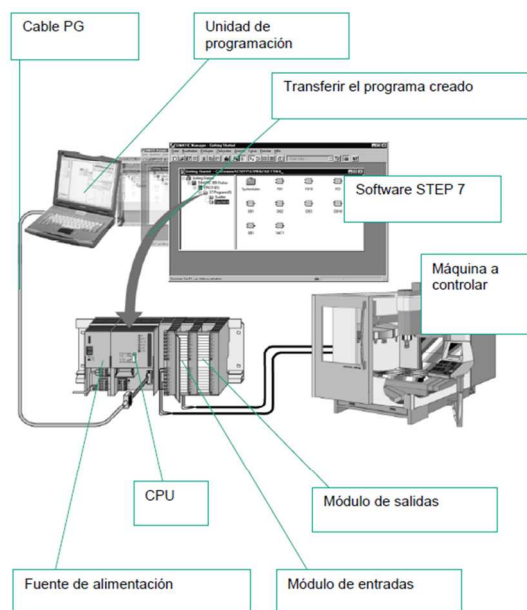


Figura. 3.2. Elementos requeridos para la programación

3.10.2.1 Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación que posee el STEP 7 son el KOP, AWL y FUP, estos lenguajes son parte integral del software estándar.

3.10.3 Computador portátil (Touch panel)

Debido al elevado costo del Touch Panel se decidió realizar el HMI en un computador portátil con el software SIMATIC WIN CC de SIEMENS para lo cual se adquirió cable de comunicación con su adaptador USB-MPI.

3.10.4 Software de interfaz grafica

El software para el diseño de la interfaz hombre maquina (HMI), que se selecciono es SIMATIC WIN CC, el mismo que se caracteriza por tener una interfaz moderna y amigable como se muestra en la figura 3.3 y a la vez ofrece las seis propiedades típicas de un sistema totalmente integrado y automatizado. La información detallada del software se puede encontrar en el ANEXO 07.

Ingeniería.- El software garantiza una ayuda incalculable durante todo el ciclo de vida de la instalación, comenzando por la planificación y concepción, continuando con la configuración y programación y terminando con la puesta en marcha, el funcionamiento cotidiano y la modernización.

Comunicación.- Posee una homogeneidad ilimitada en la comunicación y, por lo tanto, de una transparencia máxima a todos los niveles, desde el nivel de campo y control hasta los niveles de gestión y dirección empresarial.

Diagnostico.- El sistema lleva integrado funciones de diagnostico que permite localizar cualquier fallo y eliminarlo de forma eficaz para garantizar una mayor disponibilidad del sistema.

Safety.- Este sistema garantiza la protección de personas y maquinas, gracias a la integración de las funciones de seguridad en los equipos estándar, solo es necesario un controlador, una periferia, ingeniería y un sistema de bus

Seguridad de datos.- El sistema permite disfrutar todas las ventajas de la unión entre el mundo de la automatización y el mundo ofimático. Gracias a esto se puede tener intercambio de información a todos los niveles o acceso desde cualquier lugar a los datos de reducción a través de internet. Simatic proporciona protección de la información para datos técnicos como datos de producción.

Robustez.- Este sistema ofrece máxima aptitud para entornos industriales gracias a la alta calidad y gran robustez. Por lo mismo posee tolerancia a la temperatura como la resistencia a choques y vibraciones o la compatibilidad electromagnética y resistencia a condiciones ambientales rigurosas.

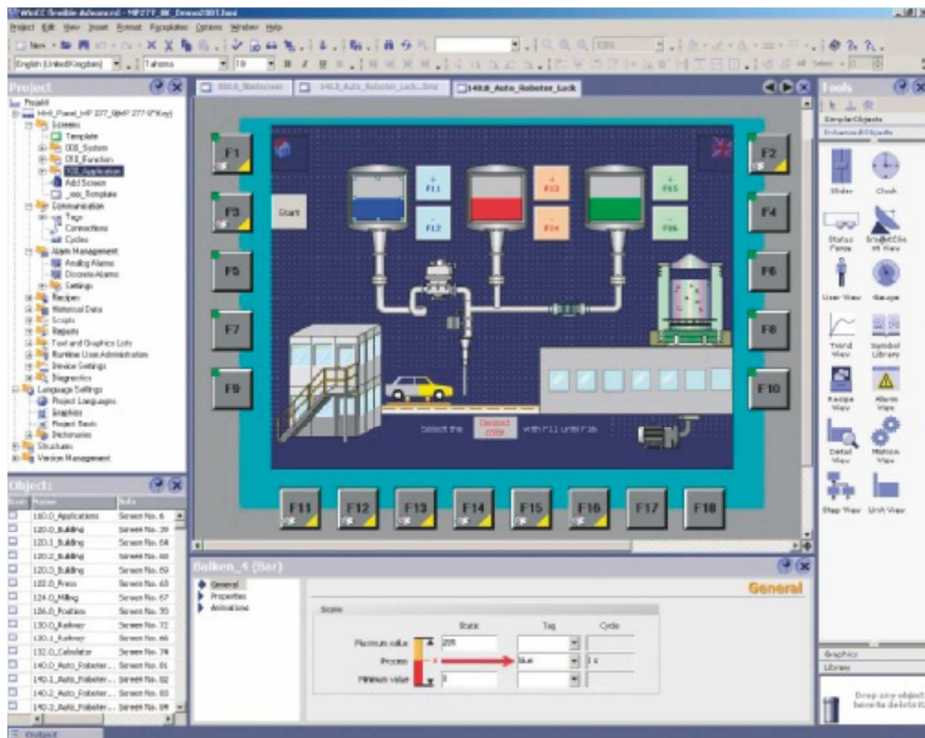


Figura. 3.3. Disposición de elementos para programar

CAPÍTULO 4

DESARROLLO SOFTWARE PLC PARA EL SISTEMA AIRE COMPRIMIDO

Una vez realizado el análisis funcional, la selección de los equipos y materiales para la automatización, se procede a desarrollar los diagramas lógicos necesarios para la programación del PLC y la HMI.

4.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS PROCESOS

Se utilizará los diagramas de flujo para representar gráficamente los procesos de automatización del sistema de aire comprimido. Este tipo de diagramas se emplea generalmente en los procesos industriales utilizando símbolos con significados bien definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de fin de proceso.

4.1.1 Diagrama de flujo

Existen varios formatos en los diagramas de flujo formato vertical, panorámico, horizontal y arquitectónico, de los cuales el más útil para nuestra aplicación es el formato vertical, el flujo o la secuencia de las operaciones, va de arriba hacia abajo. Es una lista ordenada de las operaciones de un proceso con toda la información que se considere necesaria, según su propósito.

El diagrama de flujo permitirá realizar la automatización del proceso de manera rápida y eficaz puesto que:

- ❖ Favorecen la comprensión del proceso al mostrarlo como un dibujo. El cerebro humano reconoce muy fácilmente los dibujos. Un buen diagrama de flujo reemplaza varias páginas de texto.
- ❖ Permiten identificar los problemas y las oportunidades de mejora del proceso. Se identifican los pasos, los flujos de los re-procesos, los conflictos de autoridad, las responsabilidades, los cuellos de botella, y los puntos de decisión.
- ❖ Muestran las interfaces cliente-proveedor y las transacciones que en ellas se realizan, facilitando a los empleados el análisis de las mismas.
- ❖ Son una excelente herramienta para capacitar a los nuevos empleados y también a los que desarrollan la tarea, cuando se realizan mejoras en el proceso.

Para una mejor comprensión del diagrama de flujo se detalla a continuación su simbología básica y significado.

Óvalo o Elipse: Inicio y término (Abre y/o cierra el diagrama).

Rectángulo: Actividad (Representa la ejecución de una o más actividades o procedimientos).

Rombo: Decisión (Formula una pregunta o cuestión).

Círculo: Conector (Representa el enlace de actividades con otra dentro de un procedimiento).

Triángulo boca abajo: Archivo definitivo (Guarda un documento en forma permanente).

Triángulo boca arriba: Archivo temporal (Proporciona un tiempo para el almacenamiento del documento).

4.1.2 Diagrama de flujo de mando local

En la hoja técnica No.3 se detalla el diagrama de flujo de mando local-manual el mismo que ayudará para la programación en el PLC. La secuencia lógica se describe según las secciones del plano No.21 a continuación.

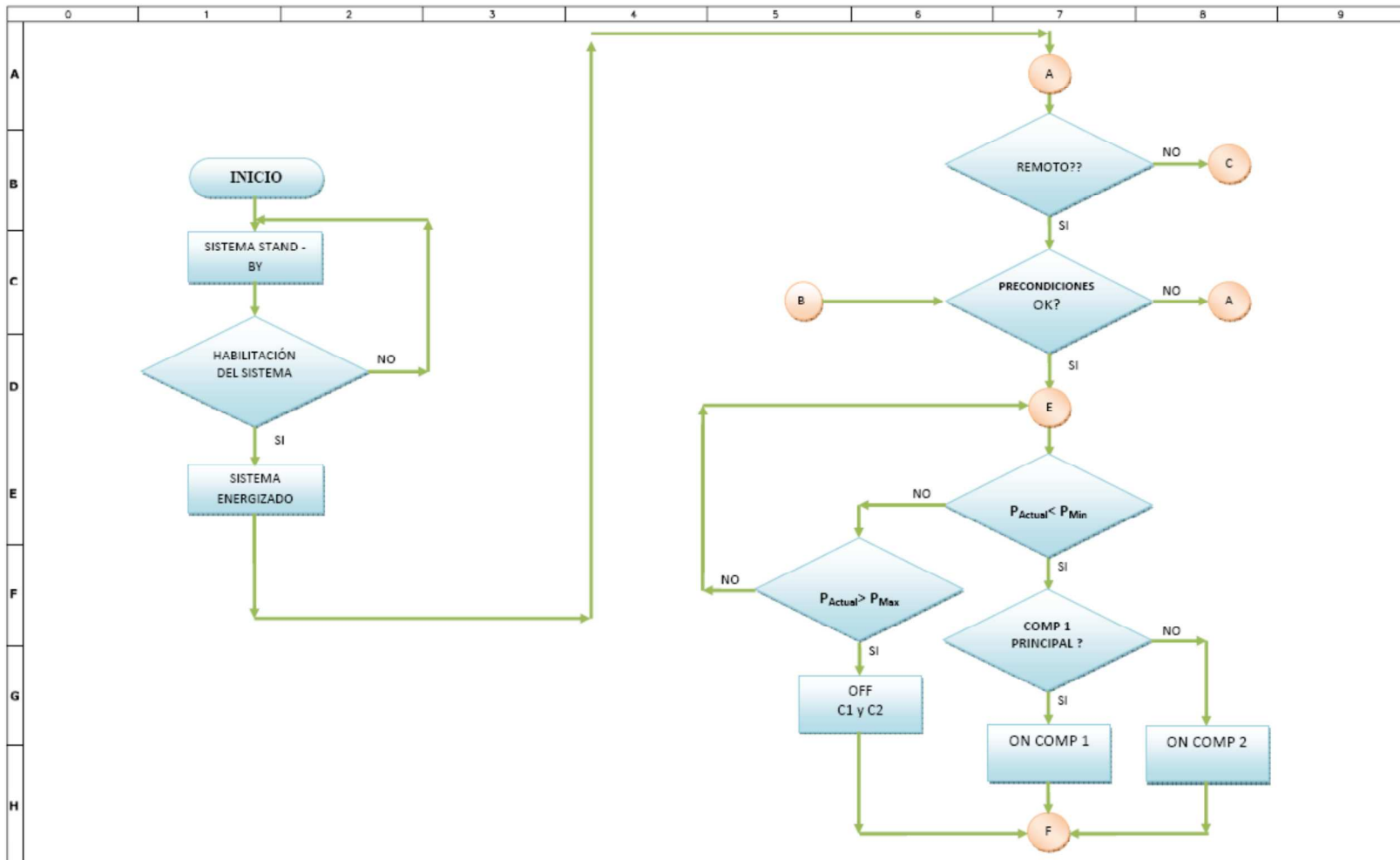
- ❖ Sección 1A muestra el inicio del proceso.
- ❖ Sección 1C muestran si está o no habilitado el tablero de control. Si la respuesta es SI entonces continua el proceso a la sección 1D y muestra que el sistema está HABILITADO, si la respuesta es NO entonces regresa a la sección 1A y permanece en STAND-BY mientras espera por la señal de habilitación del sistema que viene dado por el selector CH1.
- ❖ Sección 1D muestra el conector A y continua hasta a la sección 1E en la que se pregunta si el sistema está en REMOTO, si la respuesta es SI entonces continua al conector B, caso contrario continua hasta el conector C.
- ❖ La sección 1G muestra el estado actual del compresor 1 y 2.
- ❖ Sección 1H muestra el conector D el mismo que continua a la sección 5B.
- ❖ La sección 5C muestra la pregunta si el compresor 1 esta encendido si la respuesta es SI entonces continua a la sección 5E, caso contrario regresa al conector C a la sección 1G.
- ❖ La sección 5E pregunta si el compresor 1 cumple con las precondiciones de arranque, si la respuesta es SI continua a la sección 5F, caso contrario regresa al conector C en la sección 1G.
- ❖ La sección 5G muestra el ENCENDIDO del compresor 1 y permanece en ese estado mientras no cambien las condiciones antes consultadas en el diagrama de flujo, caso contrario regresa al conector A en la sección 1E y reinicia le proceso.
- ❖ La sección 7C muestra la pregunta si el compresor 2 esta encendido si la respuesta es SI entonces continua a la sección 7E, caso contrario regresa al conector C a la sección 1G.
- ❖ La sección 7E pregunta si el compresor 2 cumple con las precondiciones de arranque, si la respuesta es SI continua a la sección 7F, caso contrario regresa al conector C en la sección 1G.

- ❖ La sección 7G muestra el ENCENDIDO del compresor 2 y permanece en ese estado mientras no cambien las condiciones antes consultadas en el diagrama de flujo, caso contrario regresa al conector A en la sección 1E y reinicia le proceso.

4.1.3 Diagrama de flujo de mando remoto

En la hoja técnica No.4 se detalla el diagrama de flujo de mando remoto-automático el mismo que ayudará para la programación en el PLC. La secuencia lógica se describe según las secciones del plano No.22 a continuación.

- ❖ Sección 1B muestra el inicio del proceso.
- ❖ Sección 1D muestra si está o no habilitado el sistema. Si la respuesta es SI entonces continua el proceso a la sección 1E y muestra que el sistema está HABILITADO, si la respuesta es NO entonces regresa a la sección 1C y permanece en STAND-BY mientras espera por la señal de habilitación del sistema que viene dado por el selector CH1.
- ❖ La sección 7A muestra el conector A y continua a la pregunta si sistema está en REMOTO si la respuesta es SI entonces continua a la sección 7C, caso contrario regresa al conector C del plano No.21 sección 1G.
- ❖ La sección 7C pregunta si el sistema cumple con la precondiciones de arranque si la respuesta es SI continua a la sección 7E, caso contrario regresa al conector A en la sección 7A.
- ❖ La sección 7E pregunta si la presión actual del sistema es menor que la presión mínima programada, si la respuesta es SI continua a la sección 7F, caso contrario continua a la sección 6F. La sección 6F pregunta si la presión actual es mayor que la presión máxima programada si la respuesta es SI entonces DESENERGIZA C1 y C2, caso contrario regresa al conector E en la sección 7D.
- ❖ En la sección 7F pregunta si el compresor 1 esta programado como principal, si la respuesta es SI continua a la sección 7H y ENERGIZA el compresor 1, caso contrario continua a la sección 8H y ENERGIZA el compresor 2.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 25/23/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA
3

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: DIAGRAMA DE FLUJO MANDO LOCAL

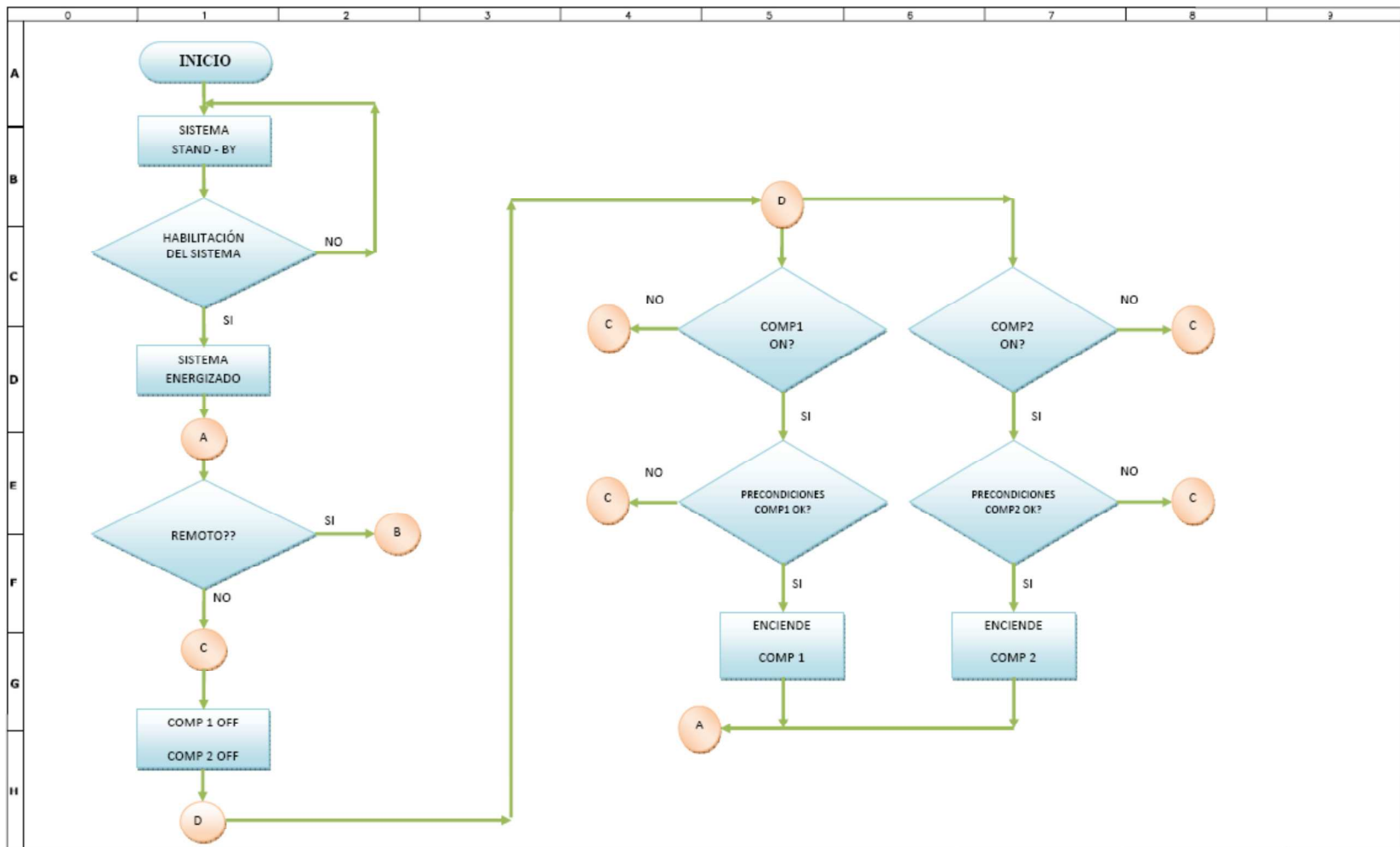
DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

HOJA TÉCNICA

DE 8



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FECHA: 25/23/2012

ESCALA: 1:1

LAMINA
4
DE 8

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO REGULADOR

CONTIENE: DIAGRAMA DE FLUJO MANCO REMOTO

DIBUJADO POR: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

ESTUDIANTE: JUAN CARLOS PAREDES PAZMIÑO

DIRECTOR: INGENIERO HUGO ORTIZ TULCÁN

HOJA TÉCNICA

4.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC

El lenguaje seleccionado para la programación es el LADDER, también denominado lenguaje de contactos o en escalera, por ser un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje.

En este contexto, para programar un autómata con LADDER, además de estar familiarizado con las reglas de los circuitos de conmutación, es necesario conocer cada uno de los elementos de que consta este lenguaje. A continuación se describe de modo general los más comunes.





| Símbolo | Nombre | Descripción |
|---|-------------|--|
|  | Contacto NA | Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema. |
|  | Bobina NC | Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA. |
|  | Bobina SET | Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bobina RESET dan una enorme potencia en la programación. |
|  | Bobina JUMP | Permite saltarse instrucciones del programa e ir directamente a la etiqueta que se desee. Sirve para realizar subprogramas. |

Figura. 4.1. Elementos básicos de Ladder

4.2.1 Adquisición entrada analógica

En el segmento 1 del ANEXO 08 se observa la adquisición y acondicionamiento de la señal analógica que para nuestra simulación vendrá de un potenciómetro de 1kOhm y se conectará al PLC según muestra la tabla 4.1 a continuación.

| ENTRADA ANALÓGICA | |
|--------------------------|----------------------|
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 14-15 | REGULADOR DE PRESIÓN |

Tabla. 4.1. Entrada analógica

4.2.2 Entradas digitales

Desde el segmentos 25 al 34 del ANEXO 08 se observa la adquisición de las entradas digitales las mismas que serán simuladas por interruptores de dos posiciones con estado de 0-1 las mismas que se conectaran al PLC según muestran las tablas 4.2 y 4.3.

| ENTRADAS DIGITALES | |
|---------------------------|----------------------|
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 126.0 | LOCAL-REMOTO SISTEMA |
| 126.1 | PARO DE EMERGENCIA |
| 126.2 | HABILITAR SISTEMA |
| 126.3 | |
| 126.4 | |
| 126.5 | |
| 126.6 | |
| 126.7 | |

Tabla. 4.2. Entradas digitales I

| ENTRADAS DIGITALES | |
|---------------------------|----------------------------|
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 124.0 | ON C1 |
| 124.1 | OFF C1 |
| 124.2 | |
| 124.3 | |
| 24.4 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C1 |

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| 124.5 | PARADA EMERGENCIA C1 |
| 124.6 | TEMPERATURA ALTA C1 |
| 124.7 | NIVEL ACEITE BAJO C1 |
| ENTRADAS DIGITALES | |
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 125.0 | ON C2 |
| 125.1 | OFF C2 |
| 125.2 | |
| 125.3 | |
| 125.4 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C2 |
| 125.5 | PARADA EMERGENCIA C2 |
| 125.6 | TEMPERATURA ALTA C2 |
| 125.7 | NIVEL ACEITE BAJO C2 |

Tabla. 4.3. Entradas digitales II

4.2.3 Salidas digitales

Desde el segmentos 25 al 34 del ANEXO 08 se observa el envío de las salidas digitales las mismas que serán simuladas por luces indicadoras de estado ON-OFF, estas se conectaran al PLC según muestran las tablas 4.4 y 4.5.

| SALIDAS DIGITALES | |
|--------------------------|----------------------------|
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 124.0 | ON C1 |
| 124.1 | OFF C1 |
| 124.2 | ALARMA SONORA |
| 124.3 | CONDENSADO C1 |
| 124.4 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C1 |
| 124.5 | PARADA EMERGENCIA C1 |
| 124.6 | TEMPERATURA ALTA C1 |
| 124.7 | NIVEL ACEITE BAJO C1 |

Tabla. 4.4. Salidas digitales I

| SALIDAS DIGITALES | |
|--------------------------|----------------------------|
| DIRECCIÓN | ASIGNACIÓN |
| 125.0 | ON C2 |
| 125.1 | OFF C2 |
| 125.2 | EMERGENCIA SISTEMA |
| 125.3 | CONDENSADO C1 |
| 125.4 | PRESOSTATO DE SEGURIDAD C2 |
| 125.5 | PARADA EMERGENCIA C2 |
| 125.6 | TEMPERATURA ALTA C2 |
| 125.7 | NIVEL ACEITE BAJO C2 |

Tabla. 4.5. Salidas digitales II

4.2.4 Operación modo automático o remoto

Desde el segmentos 2 al 14 del ANEXO 08 se observa la programación que obedecerá al comportamiento AUTOMÁTICO (REMOTO) del sistema como arranque de compresores, alarmas del sistema, etc.

4.2.5 Operación modo manual o local

Desde el segmentos 15 al 23 del ANEXO 08 se observa la programación que obedecerá al comportamiento MANUAL (LOCAL) del sistema como arranque de los compresores desde botoneras ubicadas en los compresores o desde la HMI.

4.2.6 Configuración de parámetros operativos

Desde el segmento 34 en adelante del ANEXO 08 se programó la adquisición de valores desde el HMI para la configuración de parámetros operativos como presiones de accionamiento y tiempos de purga del condensado en los compresores.

4.3 DESARROLLO SOFTWARE HMI

La HMI interface hombre máquina está compuesto por varias pantallas, las mismas que presentan varios elementos y opciones a seleccionar y configurar que son:

- ❖ Pantalla principal.
- ❖ Pantalla inicio de sesión (usuario y contraseña)
- ❖ Pantalla configuración de parámetros.
- ❖ Pantalla HISTORIAL

4.3.1 Pantalla principal para el control del sistema

La pantalla de la figura 4.2 muestra el estado del sistema, presión actual, modo de operación, alarmas de nivel alto y bajo del tanque de presión y el estado de los compresores. Permite elegir la prioridad en los compresores para el funcionamiento en mando AUTOMÁTICO, además permite energizar en mando LOCAL los compresores.

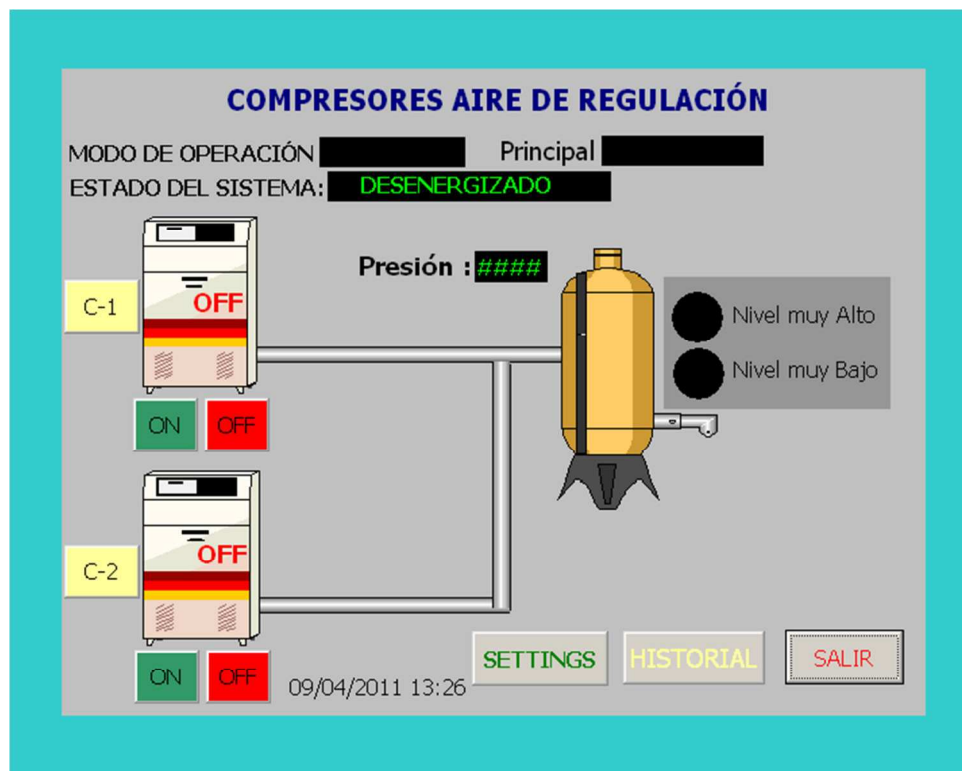


Figura. 4.2. Pantalla Principal

Modo de operación.- Muestra el modo de operación: Local o Remoto



Principal.- Indica cual es el compresor principal



Estado del sistema.- Como su nombre lo indica muestra el estado del sistema.



A continuación se detalla los botones y las señales de estado de la figura 4.3 del compresor 1 y la figura 4.4 del compresor 2

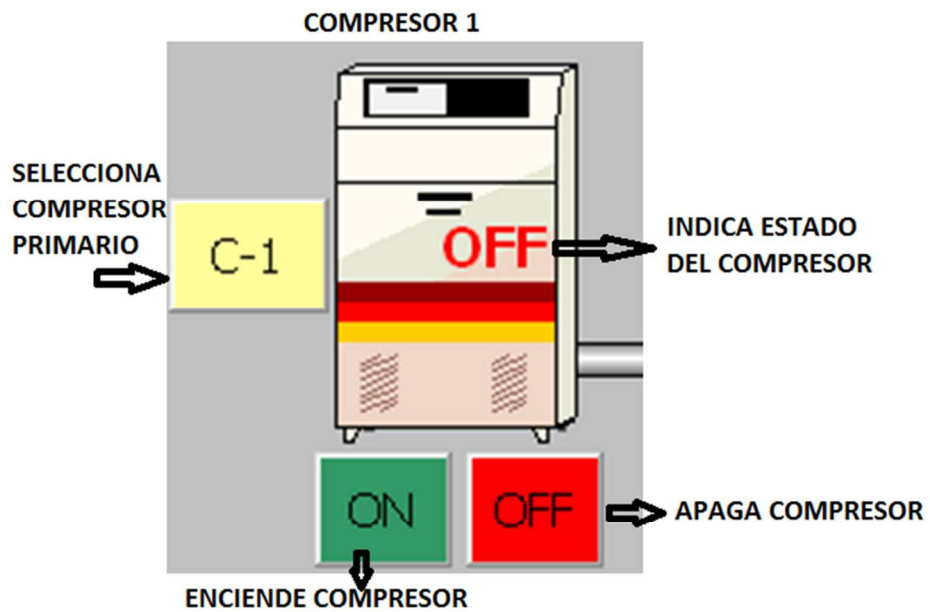
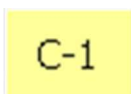


Figura. 4.3. Compresor 1



-- -- -- -- Botón que permite seleccionar como Compresor Principal C1.



-- -- -- -- Botón que energiza el compresor C1 en mando LOCAL.



-- -- -- -- -Botón que desenergiza el compresor C1 en mando LOCAL.



-- -- -- -- Indicador de estado del compresor 1.

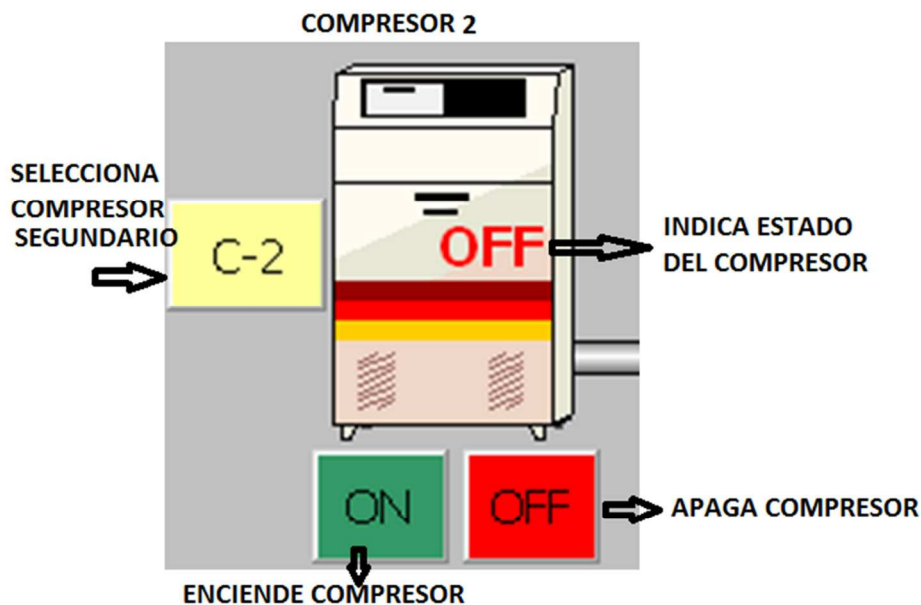
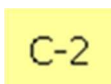


Figura. 4.4. Compresor 2



-- -- -- -- Botón que permite seleccionar como Compresor Principal C2.



-- -- -- -- Botón que energiza el compresor C2 en mando LOCAL.



-- -- -- -- Botón que desenergiza el compresor C2 en mando LOCAL.



-- -- -- --Indicador de estado del compresor 2.

Tanque de presión.- Muestra gráficamente la variación de presión como se muestra en la figura 4.5.

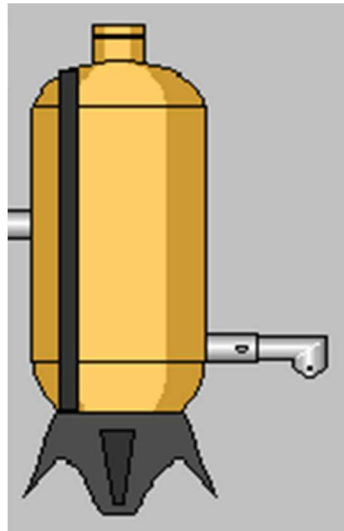


Figura. 4.5. Tanque de presión

Presión.- Muestra la presión del tanque acumulador en bares.

Presión : 0,10

Indicadores de nivel.- Indican el nivel de presión, muy alto o muy bajo según el caso.



Fecha/hora.- Indica la fecha y hora del sistema.

17/11/2011 11:44

Settings.- Botón que permite dirigirse a la pantalla de CONFIGURACIÓN de parámetros iniciales.

SETTINGS

Historial.- Botón que permite dirigirse a la pantalla de HISTORIAL de alarmas.



Salir.- Botón que permite salir de todo el sistema.



4.3.2 Pantalla para monitoreo del sistema (historial)

La pantalla de la figura 4.6 se muestra el historial de alarmas del sistema de aire comprimido, permite regresar a la pantalla principal, nos muestra un contador de alarmas presentes y permite eliminar las alarmas que ya no estén presentes en el sistema.



Figura. 4.6. Pantalla de historial

Historial.- Muestra las alarmas presentes con numeración de activación, fecha, hora y estado, junto con una descripción como se muestra en la figura 4.7, lo cual permite identificar el problema y solucionarlo.



| Nº | Hora | Fecha | Estado | Texto | GR |
|----|----------|------------|--------|----------------------------------|----|
| 1 | 11:57:02 | 17/11/2011 | E | Alarma Paro de Emergencia "... | 0 |
| 2 | 11:56:58 | 17/11/2011 | E | Presostato Seguridad C-1 "ACT... | 0 |
| 3 | 11:56:57 | 17/11/2011 | E | Parada Emergencia C-1 "ACTU... | 0 |
| 4 | 11:56:56 | 17/11/2011 | E | Presostato Seguridad C-2 "ACT... | 0 |

Figura. 4.7. Historial

Contador y reset.- Este botón permite eliminar las alarmas que ya no están presentes en el sistema y muestra un contador de las que continúan presentes.



Atrás.- Botón que permite regresar a la pantalla principal.



Fecha/hora.- Indica la fecha y hora del sistema la misma que sirve para registrar la fecha y hora de la presencia de la alarma.

17/11/2011 11:44

4.3.3 Pantalla inicio de sesión

Para la ingresar a la pantalla de configuración de parámetros del sistema fue necesario la creación de un usuario y contraseña que se muestra en la figura 4.8, esto permite evitar el mal manejo por personal no autorizado y que desconozca la configuración adecuada para un óptimo funcionamiento de los compresores.

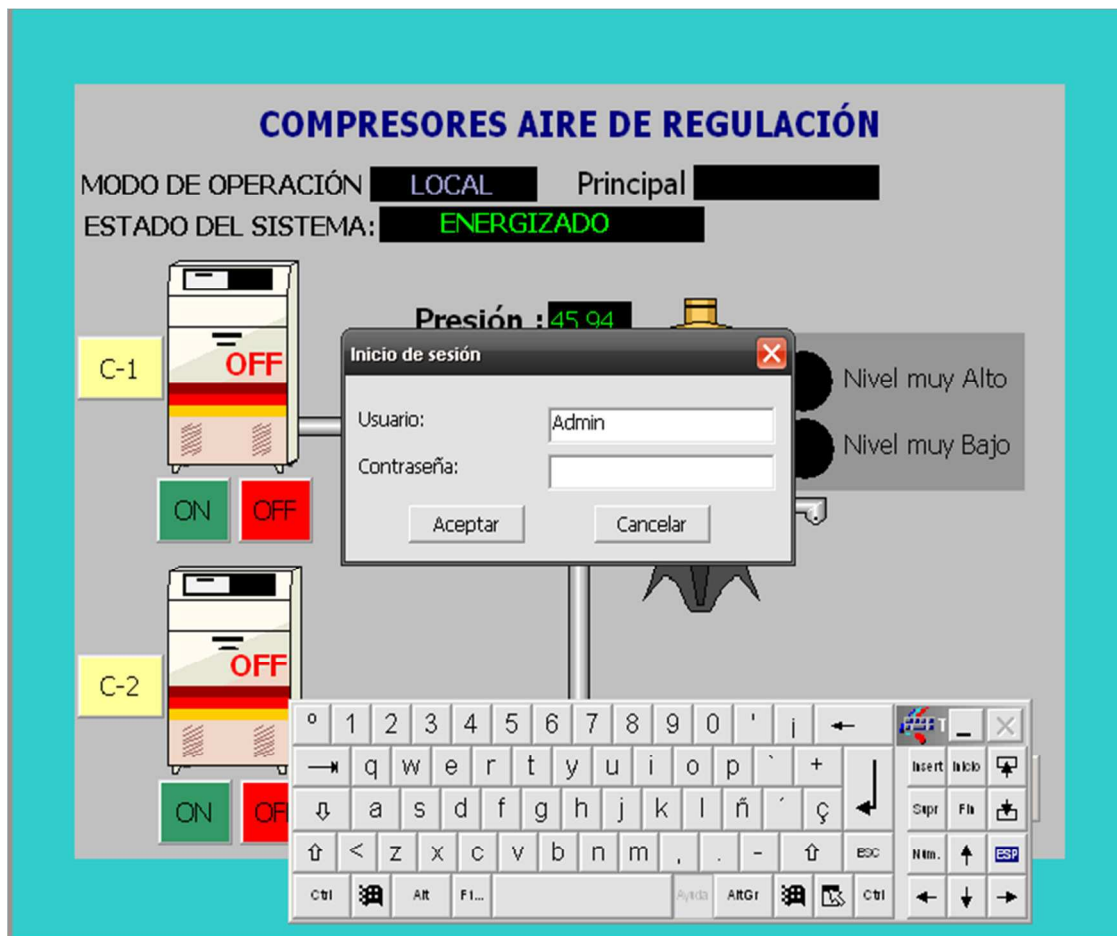


Figura. 4.8. Pantalla Inicio de Sesión

Cuadro de usuario y contraseña.- Este cuadro está habilitado según orden jerárquico de la empresa para el área de supervisión y jefatura, es necesario ingresar el usuario y la contraseña como se muestra en la figura 4.8 esto desplegará la pantalla de configuración de parámetros, caso contrario no permite el ingreso.

Teclado alfanumérico.- Para el ingreso del usuario y contraseña es necesario utilizar un teclado alfanumérico que se despliega junto con el inicio de sesión y que se muestra en la figura 4.8 o a su vez utilizar un teclado alfanumérico físico.

4.3.4 Pantalla de configuración de parámetros

Esta pantalla permite configurar valores de presión mínima, presión de arranque del compresor principal, presión de arranque del compresor secundario, presión máxima y el tiempo de actuación de la válvula de purga del condensado en los compresores, las presiones se debe configurar en bares como se muestra en la figura 4.9.

COMPRESORES AIRE DE REGULACIÓN

CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS

Presión Mínima 0,0 Bar

Arranque Compresor Principal 0,0 Bar

Arranque Compresores Principal - Secundario 0,0 Bar

Arranque Compresor Secundario 0,0 Bar

Presión Máxima 0,0 Bar

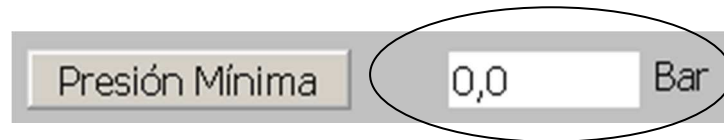
Tiempo Condensado 0,0 Seg.

ATRÁS

09/04/2011 13:27

Figura. 4.9. Pantalla configuración de parámetros

Presión mínima.- Configura la presión mínima del sistema.



Arranque compresor principal.- Configura la presión de arranque del compresor principal



Arranque compresor secundario.- Configura la presión de arranque del compresor secundario.



Presión máxima.- Configura la presión máxima del sistema.



Tiempo de condensado.- Configura el tiempo de condensado de los compresores.



Atrás.- Botón que permite regresar a la pantalla principal.



Teclado numérico.- Teclado para el ingreso de valores.



CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN

5.1 SIMULACIÓN DEL SISTEMA

A continuación se detallan los equipos que son necesarios para la simulación del sistema de aire comprimido de los reguladores:

- ❖ PLC SIEMENS S7 – 300 CPU 313 C con las características mencionadas en el ANEXO 04.
- ❖ PC portátil con sistema operativo XP profesional. Además, se instaló el software de programación PLC STEP 7, y el software para HMI WIN CC.
- ❖ Cable y adaptador para comunicación PC-PLC
- ❖ Tablero de Pruebas

5.1.1 Tablero de pruebas

Para la simulación del sistema es necesario construir un tablero de pruebas, y en él es necesario instalar dispositivos que simulen las entradas digitales, salidas digitales y la entrada analógica como se muestra en la figura 5.1. El objetivo es realizar la simulación lo más cercano a la realidad del proyecto.

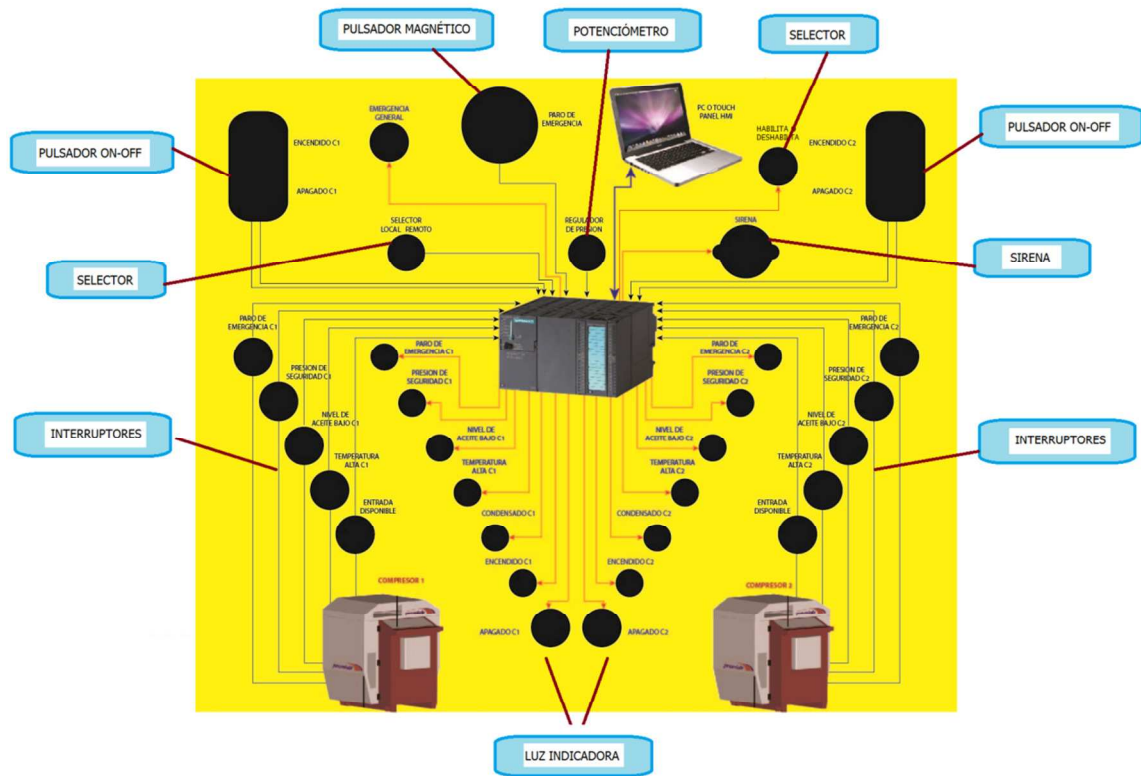


Figura. 5.1. Tablero de Pruebas

5.1.1.1 Entradas Digitales

Selector CH0.- Habilita el sistema, permite el paso de la alimentación de 24VCC de la fuente al tablero de pruebas. Actúa con 1 (24VCC) habilitado y 0 (0VCC) deshabilitado

Selector CH1.- Selecciona el modo de operación del sistema local o remoto. Actúa con 1 (24VCC) local y 0 (0VCC) remoto.

Interruptores.- Permiten simular las señales de entrada al PLC, alarmas en los compresores como paro de emergencia, presión de seguridad, nivel de aceite bajo y temperatura alta. Actúan enviando 24VCC al PLC como señal de alarma presente 1 y 0VCC como alarma ausente 0.

Pulsadores ON.- Permiten simular entradas digitales para energizar los compresores. Actúan enviando 24VCC al PLC como señal instantánea al pulsar lo cual permite energizar el compresor siempre y cuando se encuentre en su mando local.

Pulsadores OFF.- Permiten simular entradas digitales para desenergizar los compresores. Actúan enviando 24VCC al PLC como señal instantánea al pulsar lo cual permite desenergizar el compresor siempre y cuando se encuentre en su mando local.

Pulsador magnético.- Permite simular paro de emergencia del sistema. Actúan enviando 24VCC al PLC como señal constante al pulsar, esto bloquea el sistema por completo en su mando local o remoto.

5.1.1.2 Entrada Analógica

Potenciómetro.- Simula la entrada analógica, es decir la variación de presión del sistema. Actúa con variación de resistencia de 0 a 1000 Ohms.

5.1.1.3 Salidas Digitales

Sirena.- Emite un sonido al presentarse alarma en el sistema y en los compresores. Actúa con alimentación de 24VCC proveniente el PLC.

Luces piloto.- Simula las señales de salida del PLC como paro de emergencia, presión de seguridad, nivel de aceite bajo y temperatura alta. Simula acciones

como compresor energizado o desenergizado. Actúan con alimentación de 24VCC provenientes del PLC como encendidos y 0VCC como apagados.

Ventiladores.- Giran sus aspas simulando la operación de los compresores. Actúan con alimentación de 24VCC proveniente del PLC.

5.1.2 Simulación creación de variables HMI

La central hidroeléctrica “San Francisco” posee un simulador del sistema digital **Controlcad** proveida por la empresa constructora ALSTOM, este simulador permite crear variables nuevas para el sistema y observar su comportamiento antes de realizar un cambio real en el sistema.

A continuación se describe la creación de 4 nuevas variables en el simulador del sistema digital:

- ❖ Nivel bajo de aceite compresor 1
- ❖ Nivel bajo de aceite compresor 2
- ❖ Temperatura alta compresor 1
- ❖ Temperatura alta compresor 2

Estas variables se visualizarán como avisos de estado, alarma visual y alarma sonora.

En la figura 5.2 se muestra la pantalla principal del simulador. Para iniciar el proceso es necesario:

- ❖ Realizar doble clic sobre el acceso directo **“Controlcad”**
- ❖ De la lista desplegable **Level** escoger **“Administrador”** e ingresar el **Password**.

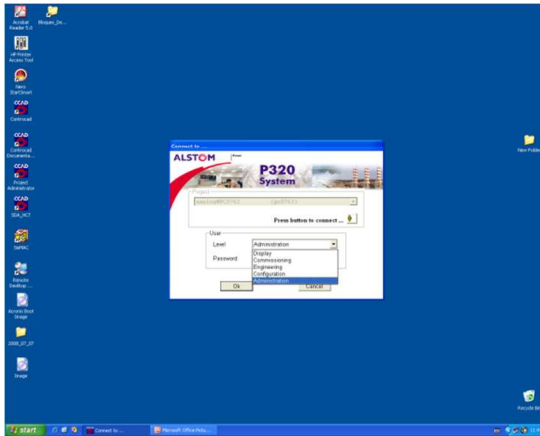


Figura. 5.2. Pantalla inicial simulador

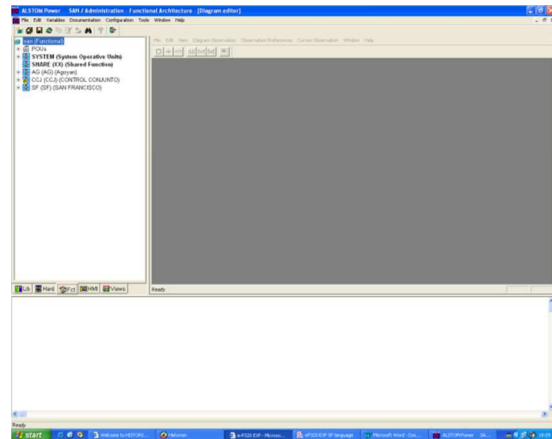


Figura. 5.3. Pantalla principal Ccad

- ❖ Una vez iniciado el sistema **Controlcad**, se despliega la pantalla principal para el ingreso de variables del **Controlcad** se despliega dos opciones central “Agoyán” y central “San Francisco” como muestra la figura 5.3.
- ❖ A continuación seleccionar la central “San Francisco”.
- ❖ Seleccionar el PLC según las conexiones del plano No.12 Interconexión Sala de Control del capítulo 3 SERV AUX – PISO GENERADOR (UAC-SA) como se muestra en a la figura 5.4.

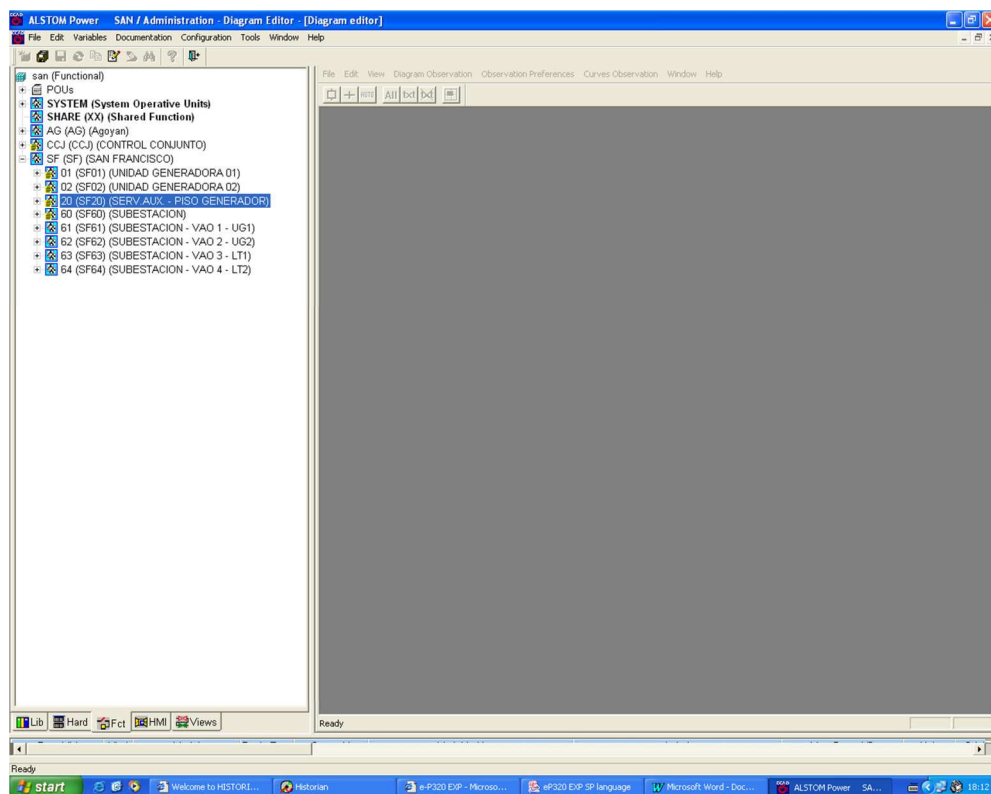


Figura. 5.4. Central generadora

presentan como alarmas en el sistema digital **EXP** y como eventos en el sistema digital de registro de eventos **HISTORIAN**.

Las variables actuales son:

- ✓ SA GOV SIST. AC A PRES.- Alarma de falla en el sistema de aire comprimido y se muestra en el sistema digital EXP y en el HISTORIAN.
 - ✓ SA GOV COMP 1 AC A PRES PREND.- Evento que muestra el estado del compresor 1 prendido o apagado y se muestra solo en el sistema digital HISTORIAN.
 - ✓ SA GOV COMP 2 AC A PRES PREND.- Evento que muestra el estado del compresor 2 prendido o apagado y se muestra solo en el sistema digital HISTORIAN.
- ❖ **Sistema Digital Exp.-** Sistema digital que permite controlar y monitorear las unidades generadoras en la central “San Francisco”. En la Figura 5.7 se observa la presencia de la alarma “SA GOV SIST. AC A PRES” que denota falla en el sistema de aire comprimido de los reguladores.

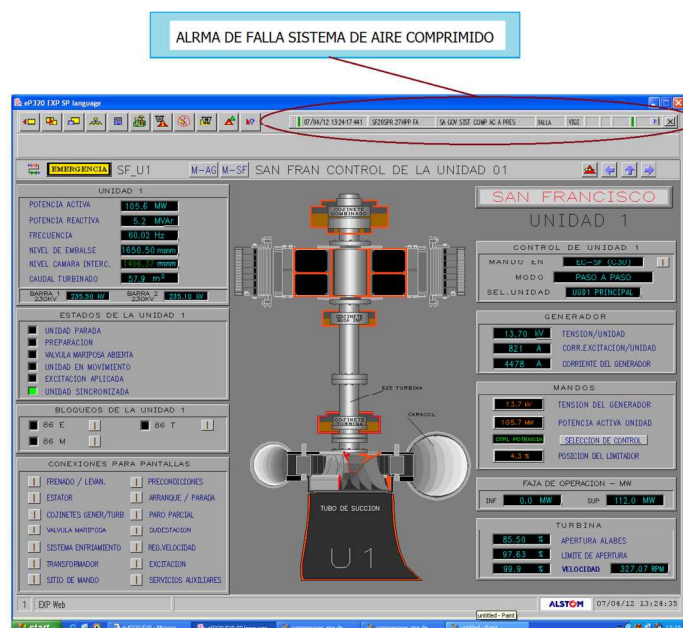


Figura. 5.7. Sistema digital EXP

- ❖ **Historian.-** Sistema digital que registra todos los eventos de la central y las alarmas presentes en el sistema digital EXP, este sistema permite monitorear las unidades generadoras en la central “San Francisco”. En la Figura 5.8 se observa la presencia de la alarma “SA GOV SIST. AC A PRES” que denota falla en el sistema de aire comprimido de los reguladores, SA GOV COMP 1 AC A PRES PREND compresor 1 prendido-apagado y SA GOV COMP 2 AC A PRES PREND compresor 2 prendido-apagado.

The screenshot shows the Historian application window with a table of events. The table has columns for Date and Time, Variable and Label, Description, and Urg. & Type. A blue box highlights the event 'ALARMA DE FALLA SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO' and a yellow circle highlights the event 'SA GOV SIST. COMP AC A PRES'.

| Date and Time | Variable and Label | Description | Urg. & Type |
|-------------------------|--------------------|--|-------------|
| 07/04/2012 13:15:58 572 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:04 592 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:08 332 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:11 172 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:18 492 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:27 572 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:38 032 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:38 560 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:43 952 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:51 172 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:16:53 292 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:13 278 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:16 277 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:18 357 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:21 517 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:29 498 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:34 117 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:17:39 097 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:18:03 559 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:18:28 898 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:18:53 938 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:18:56 158 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:03 379 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:13 172 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:26 192 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:33 791 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U2 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:34 458 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:40 598 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:44 690 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:19:58 612 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:20:22 270 | SF2OSPP_27HPP_FA | SA GOV SIST. COMP AC A PRES FALLA -> NORMAL | 2 851g |
| 07/04/2012 13:20:45 011 | SF2OSPT_CMP02_PD | AM S AIRE SERV.COMPR O2 PREND NE-SERV -> EN-SERV | 0 851g |
| 07/04/2012 13:21:52 210 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:23:02 820 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |
| 07/04/2012 13:23:05 179 | SFOIGEX_9ONLE_AT | U1 EXC POTENCIA REACTIVA NULA | 0 851g |

Figura. 5.8. Sistema digital HISTORIAN

- ❖ Continuando con la programación de las nuevas variables realizar clic derecho sobre una de las variables como se muestra en la figura 5.9.
- ❖ Seleccionar **new**, para crear una nueva variable.
- ❖ A continuación se despliega la pantalla **New Application Variable** seleccionar **MVM** como se muestra en la figura 5.10.
- ❖ En la opción **Library** seleccionar **none**.

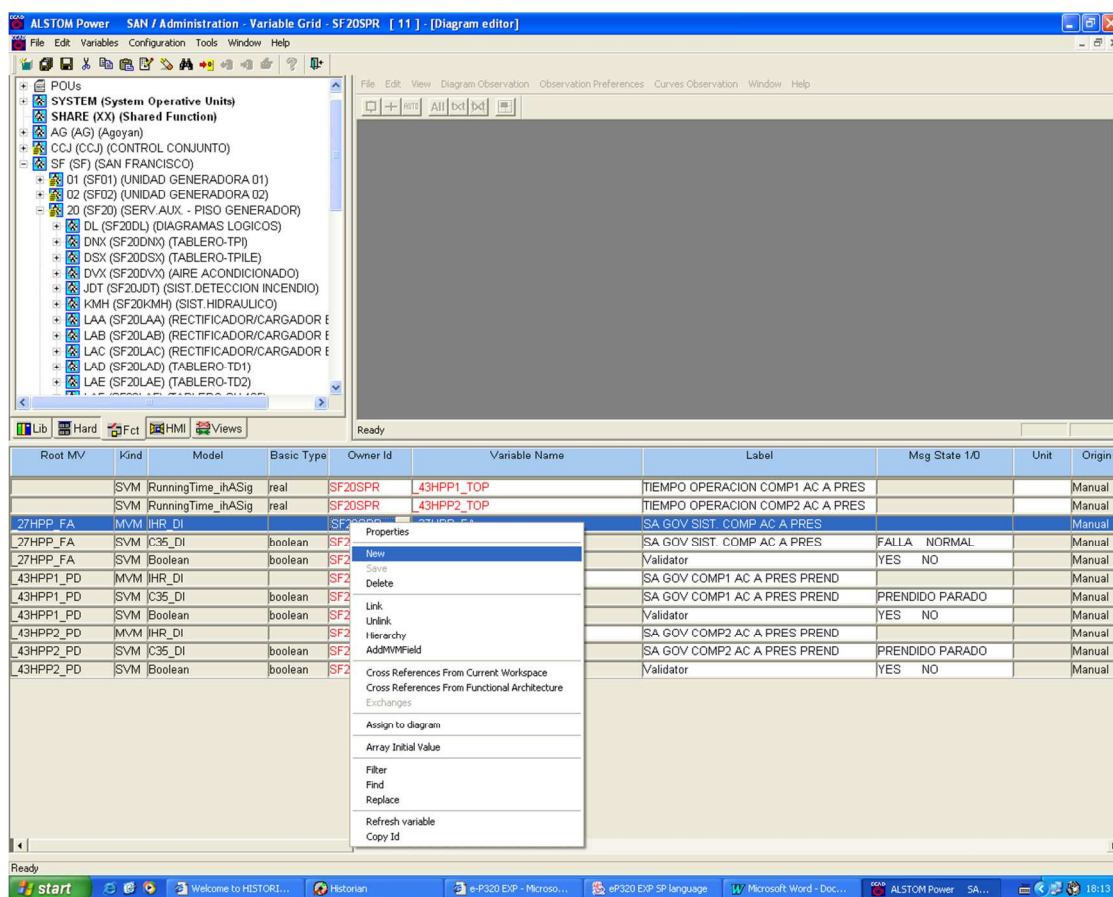


Figura. 5.9. Creación de variable nueva

- ❖ En la opción **Model** seleccionar IHR_DI.
- ❖ En la opción **Owner** seleccionar SF20SPR Nombre de la cabeza de celda o grupo de variables.
- ❖ En la opción **Name** escribir el nombre de la variable.
- ❖ En la opción **Label** escribir la identificación de la variable “NIVEL BAJO ACEITE C1” como se muestra en la figura 5.10.
- ❖ Para finalizar pulsar **OK**.
- ❖ Realizar el mismo procedimiento para las otras variables, en la figura 5.11 se muestra la creación de NIVEL BAJO ACEITE C2, TEMPERATURA ALTA C1 y TEMPERATURA ALTA C2.

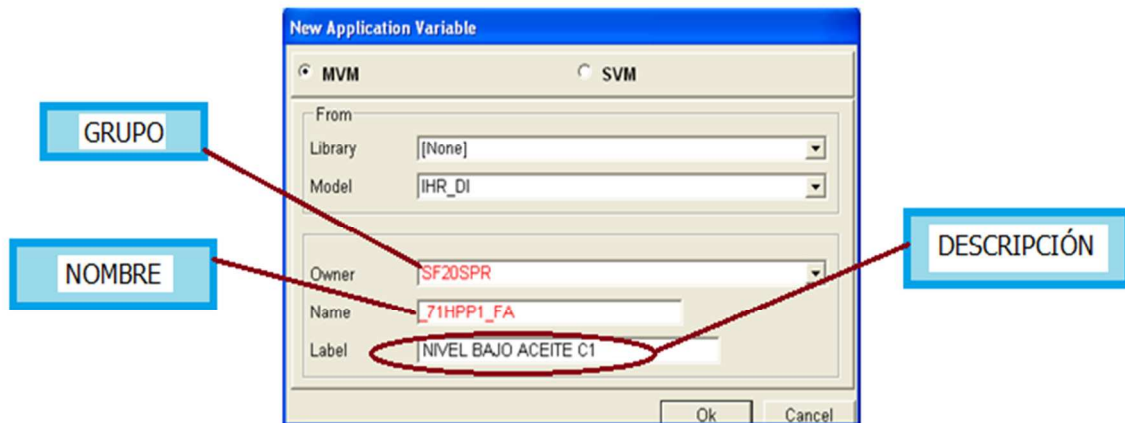


Figura. 5.10. New Application Variable

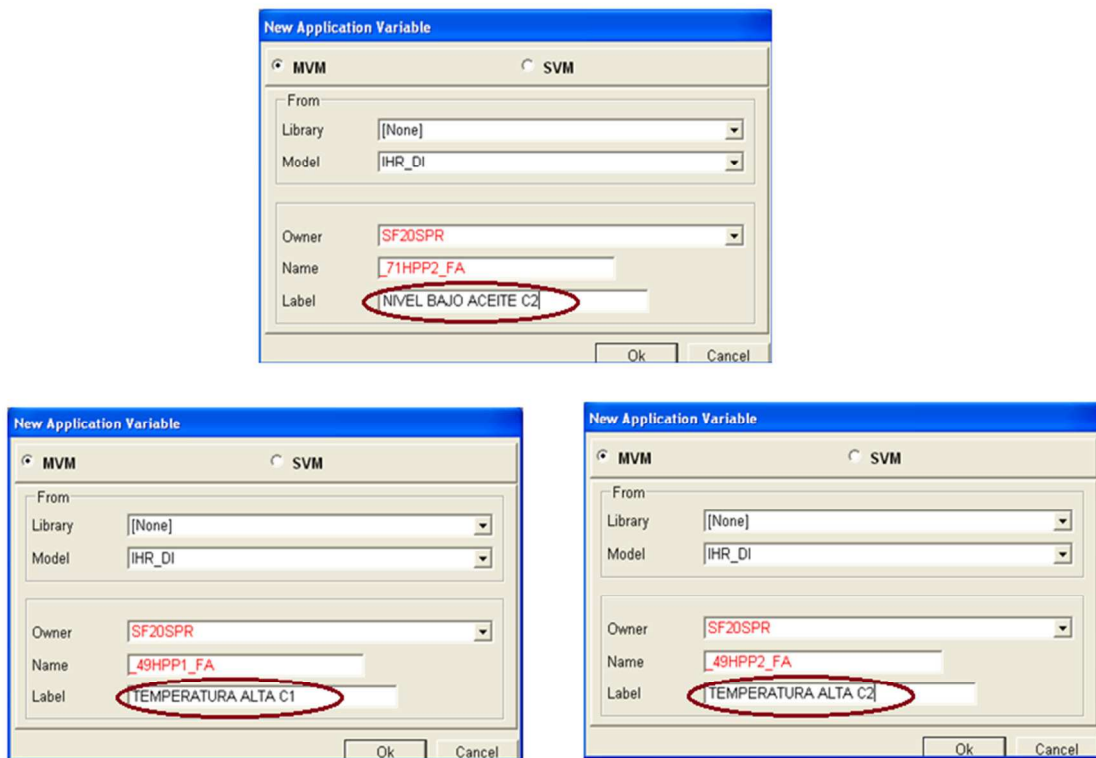


Figura. 5.11. New Application Variable

- ❖ En la figura 5.12 se muestra las variables anteriores y las nuevas en el sistema digital: NIVEL BAJO ACEITE C1, NIVEL BAJO ACEITE C2, TEMPERATURA ALTA C1 y TEMPERATURA ALTA C2.

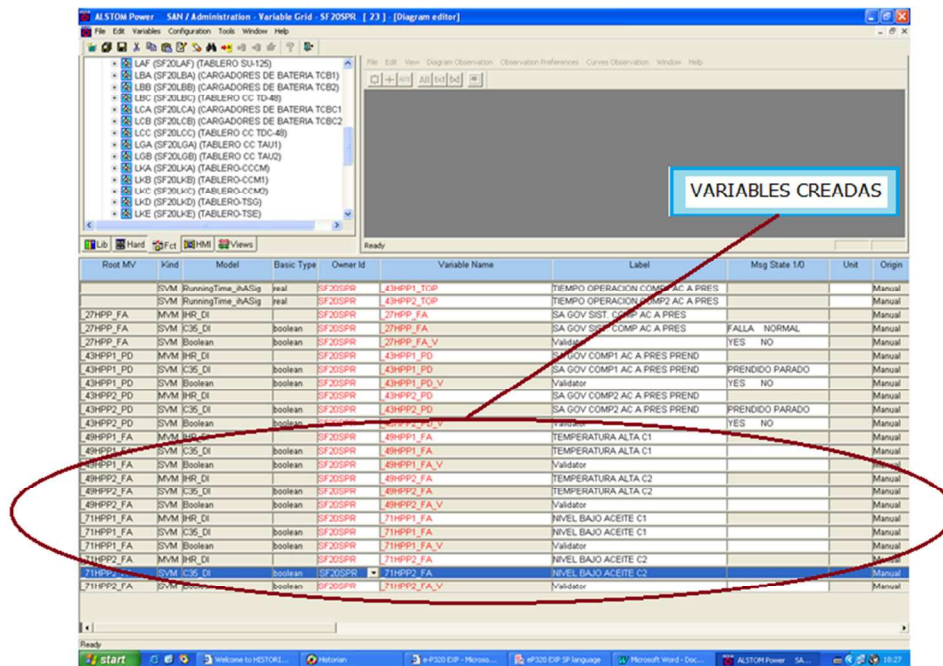


Figura. 5.12. Nuevas Variables

- ❖ A continuación es necesario editar las propiedades de las variables creadas. Realizar clic derecho sobre la variable a editar y seleccionar **propiedades**.
- ❖ Se despliega un cuadro con varias opciones como se muestra en la figura 5.13, de las cuales es necesario editar las siguientes:
- ❖ **HMI DB.-** Seleccionar 134, esto determina que la alarma se muestre en C-30 (PC sala de control “Agoyán” y “San Francisco”) y en C-10 (PC casa de máquina “San francisco”).
- ❖ **Msg State 1/0.-** Escribir “BAJO” para 1 y “NORMAL” para 0.
- ❖ **Evt log.-** Seleccionar **YES**, esto permite que se muestre en el sistema digital HISTORIAN y en el sistema digital EXP.
- ❖ **Archiving.-** Seleccionar **NO**, para evitar que se guarde la alarma en el sistema digital EXP.
- ❖ Las opciones no mencionadas en el apartado anterior se configuran automáticamente y no es necesario realizar cambios. Realizar el mismo proceso para las variables NIVEL BAJO ACEITE C1, TEMPERATURA ALTA C1 y TEMPERATURA ALTA C2.

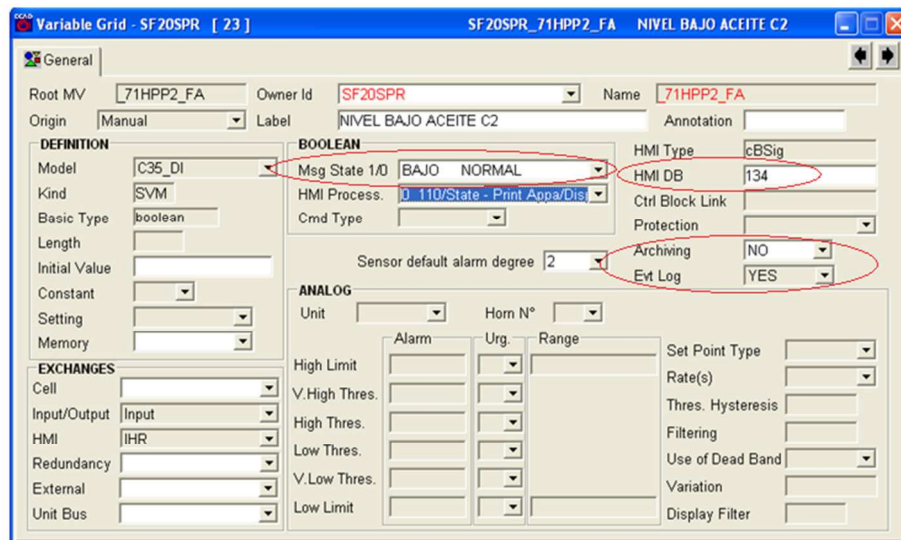


Figura. 5.13. Propiedades

- ❖ Para continuar con el proceso es necesario dirigirse a la pantalla Hard (hardware) la misma que despliega las direcciones de los PLC's de la central como se muestra en la figura 5.14.
- ❖ Seleccionar "CELL 203 SAN FRANCISCO SERV. AUXILIARES" y se despliega los módulos de entrada y salida del PLC de servicios auxiliares.

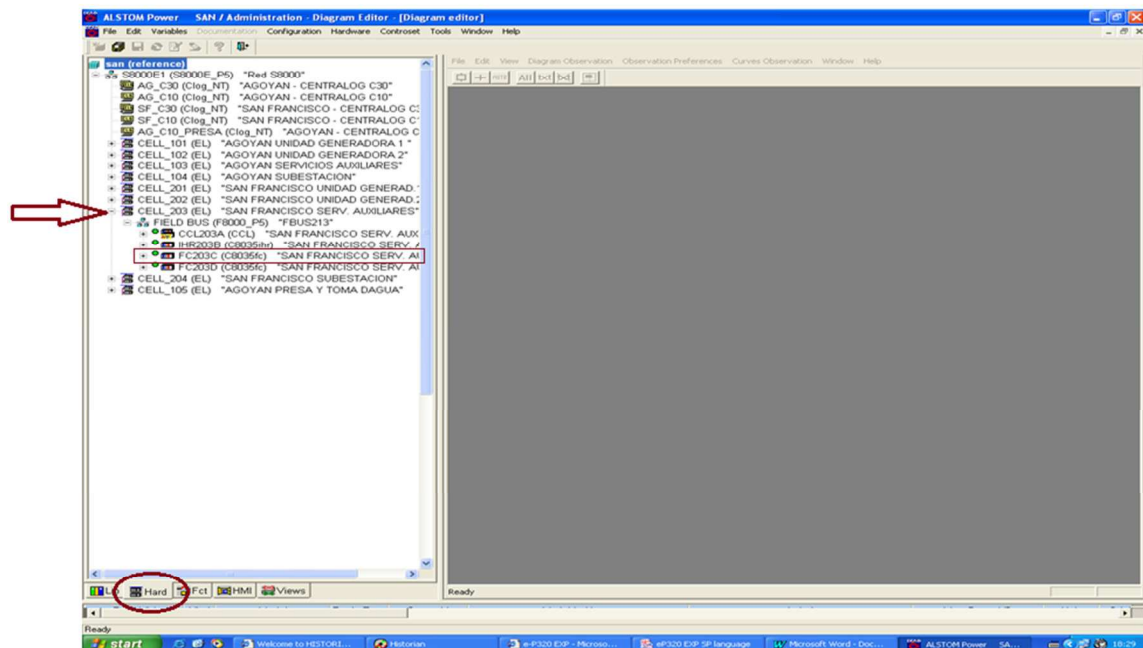


Figura. 5.14. Pantalla de Hardware

- ❖ Realizar clic derecho sobre AI seleccionar “FC203C SAN FRANCISCO SERV. AUX. FC_C” que muestra la figura 5.14 y se despliega la pantalla con las direcciones del PLC como se muestra en la figura 5.15.
- ❖ Escoger la entrada según las conexiones detalladas en el plano No.12 Interconexión Sala de Control del capítulo 3.
- ❖ Ingresar el grupo de la variable, seguido el nombre de la variable SF20SPR-71HPP1_FA como se muestra en la figura 5.15. Note a la izquierda las variables que contiene el PLC verificar y no utilizar nombres o descripciones similares.
- ❖ Realizar el mismo procedimiento para las variables SF20SPR-71HPP2_FA, SF20SPR-49HPP1_FA y SF20SPR-49HPP2_FA. Pulsar **OK**, guardar los cambios y regresar a la pantalla principal.

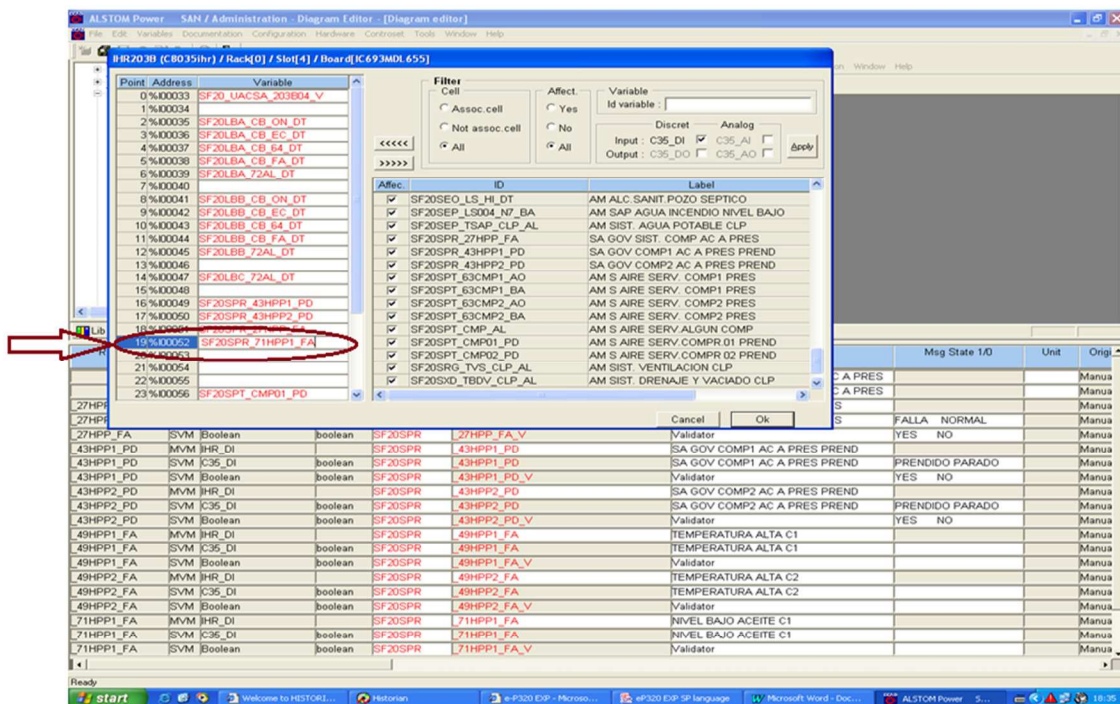


Figura. 5.15. Entradas PLC

- ❖ Para validar todos los cambios en el sistema digital control Cad realizar clic derecho sobre “IHR 203 SAN FRANCISCO SERV. AUX IHR_B” y escoger la opción **Generate Code** como se muestra en la figura 5.16.

- ❖ Seleccionar **generation With Automatic Mode** como se muestra en la figura 5.16, para generar la base de datos necesaria para cargar en las PC's de casa de máquinas C-10 y en sala de control C-30 "Agoyán" y "San Francisco".
- ❖ Finalmente cargar la base de datos generada en la PC principal del sistema / sistema digital de cada central y se reinicia todo el sistema.
- ❖ Culminado este proceso empieza el monitoreo de las nuevas variables en el sistema digital **HISTORIAL** y **EXP**.

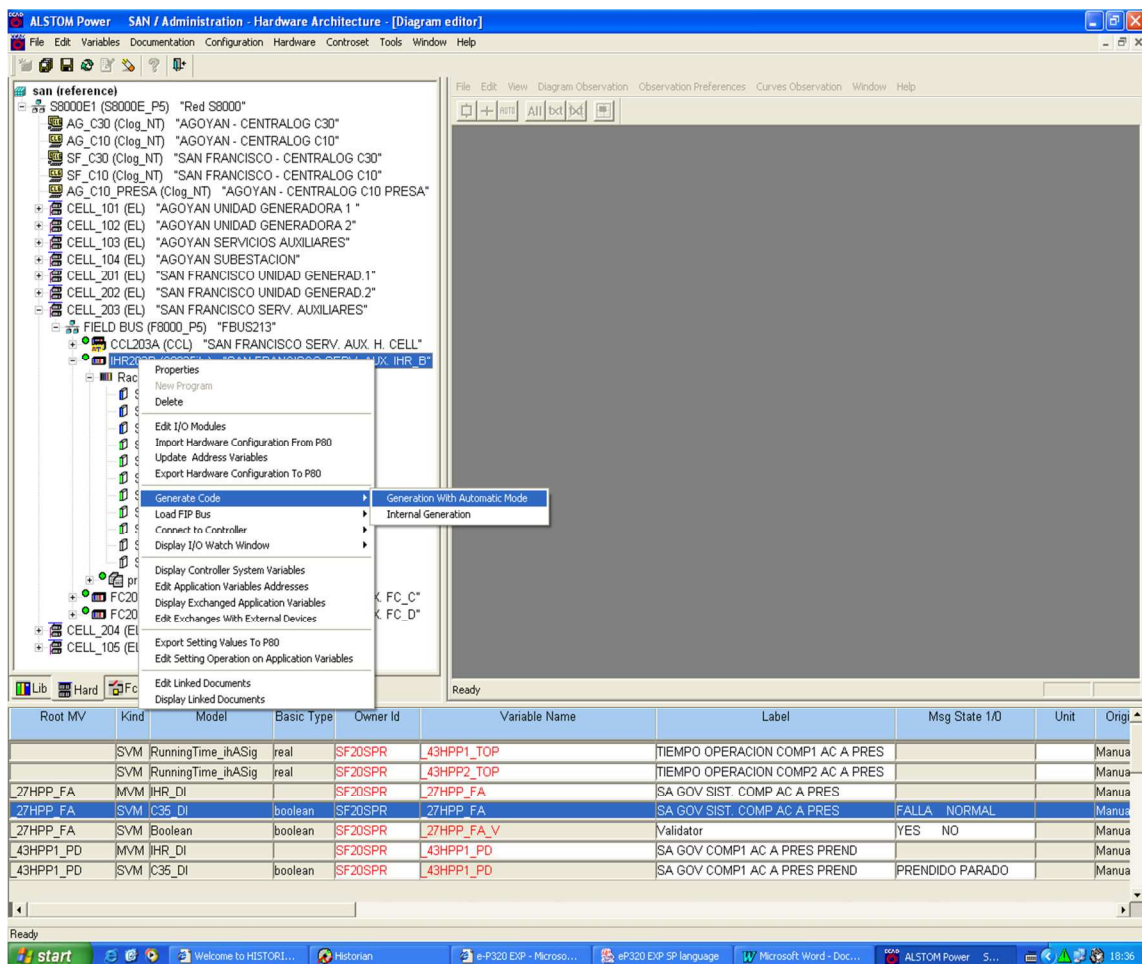


Figura. 5.16. Generación base de datos

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para determinar que el sistema automático de control planteado cumpla con los requerimientos establecidos en este proyecto se realizó varias pruebas en el simulador, pruebas en mando local y pruebas en mando remoto; para lo cual el sistema se configuró con los siguientes parámetros operativos:

- ❖ Presión de arranque del compresor principal 63.0 Bar.
- ❖ Presión de arranque del compresor secundario 61.0 Bar.
- ❖ Presión Normal 64.5 Bar
- ❖ Presión máxima 66.5 Bar.
- ❖ Presión mínima 58.8 Bar.

5.2.1 Pruebas en mando local

5.2.1.1 Prueba No.1.- Arranque de compresor C1 y C2

Como se observa en la tabla 5.1 al activar la señal de entrada digital al PLC COMPRESOR ON en el TABLERO DE PRUEBAS o en la HMI, los compresores C1 y C2 se energizan, y los indicadores de estado se activan.

Al activar la señal de entrada digital al PLC COMPRESOR OFF en el TABLERO DE PRUEBAS o en la HMI, los compresores C1 y C2 se desenergizan, los indicadores de estado se desactivan, permaneciendo así hasta recibir una nueva señal de entrada en el PLC.

| P R U E B A No.1 ARRANQUE DE COMPRESOR C1 Y C2 | | | |
|---|--------------------|---|---------------------------------|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 60 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | COMPRESOR 1: Off | COMPRESOR 2: Off |
| ACCIÓN | UBICACIÓN | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Presionar pulsador ON de compresor C1 y C2 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 y V2 energizados | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 y C2 energizados | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| Presionar pulsador OFF de compresor C1 y C2 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 y V2 desenergizados | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 y C2 desenergizados | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| Presionar pulsador ON de compresor C1 y C2 | HMI | Ventilador V1 y V2 energizados | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 y C2 energizados | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| Presionar pulsador OFF de compresor C1 y C2 | HMI | Ventilador V1 y V2 desenergizados | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 y C2 desenergizados | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| Presionar pulsador OFF de compresor C1 y C2 | HMI | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 y C2 desenergizados | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: Off |
| | | | |

Tabla. 5.1. Prueba - Arranque de compresor de C1 y C2

5.2.1.2 Prueba No.2.- Perdida de precondiciones C1 y C2

Como se observa en la tabla 5.2 al activar la señal de entrada digital al PLC PRESIÓN DE SEGURIDAD en el TABLERO DE PRUEBAS, los compresores C1 y C2 que inicialmente estaban energizados se desenergizan, los indicadores de alarma se activan en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan alarmas de “PRESIÓN DE SEGURIDAD C1” y “PRESIÓN DE SEGURIDAD C2”. Esta prueba se realizó para todos las señales de alarma en el compresor C1 y C2 en el modo de operación local.

| P R U E B A No.2 PERDIDA DE PRECONDICIONES | | | |
|--|--------------------------------|---|---|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 60 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | COMPRESOR 1: On | COMPRESOR 2: On |
| ACCIÓN | UBICACIÓN | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Se activa Alarma de presión seguridad compresor C1 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: On | | |
| | | | HISTORIAL: Alarma presión de seguridad C1 |
| Se activa Alarma de presión seguridad compresor C2 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: Off | | |
| | | | HISTORIAL: Alarma presión de seguridad C2 |

Tabla. 5.2. Prueba - Perdida de precondiciones C1 y C2

5.2.1.3 Prueba No.3.- Emergencia C1 y Emergencia del sistema

Como se observa en la tabla 5.3 al activar la señal de entrada digital al PLC EMERGENCIA C1 en el TABLERO DE PRUEBAS, el compresor C1 que inicialmente estaba energizado se desenergiza, el indicador de alarma se activa en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan la alarma “EMERGENCIA C1”. Continuando con la prueba se activa la señal de entrada digital al PLC EMERGENCIA GENERAL en el TABLERO DE PRUEBAS, el compresor C2 que inicialmente estaba energizado se desenergiza, el indicador de alarma se activa en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan la alarma “EMERGENCIA GENERAL”.

Mientras esta activa la alarma de “EMERGENCIA C1” se activa la señal de entrada digital al PLC COMPRESOR C1 ON en el TABLERO DE PRUEBAS, el compresor C1 continua desenergizado.

Mientras esta activa la alarma de “EMERGENCIA C1” y “EMERGENCIA GENERAL” se activa el botón de reset desde la HMI, las alarmas “EMERGENCIA C1” y “EMERGENCIA GENERAL” no se despejan y continúan presentes en el historial.

Después de realizar las pruebas en mando local se pudo observar que el sistema responde acorde a los requerimientos del proyecto planteado.

| P R U E B A No.3 EMERGENCIA C1 Y EMERGENCIA DEL SISTEMA | | | |
|--|------------------------------------|---|--|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 63 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | COMPRESOR 1: On | COMPRESOR 2: On |
| ACCIÓN | UBICACIÓN | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Se activa pulsador emergencia C1 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C1: Off INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| | HISTORIAL: Emergencia compresor C1 | | |
| se activa pulsador ON C1 | Tablero de pruebas | Compresor 1 no responde, continua presionado emergencia C1 | |
| Se activa pulsador emergencia general | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Local |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Alarma sonora | INDICADOR DE ESTADO C1: Off INDICADOR DE ESTADO C2: Off |
| | HISTORIAL: Emergencia general | | |
| se activa reset de alarmas | HMI | Alarmas no responden al reset, continua presionado emergencia C1 y emergencia general | HISTORIAL: Emergencia general Emergencia compresor C1 |

Tabla. 5.3. Prueba - Emergencia C1 y Emergencia del sistema

5.2.2 Pruebas en mando remoto

5.2.2.1 Prueba No.4.- Nivel bajo de aceite C1 y C2

Como se observa en la tabla 5.4 al activar la señal de entrada digital al PLC NIVEL BAJO DE ACEITE en el TABLERO DE PRUEBAS, los compresores C1 y C2 que inicialmente estaban energizados se desenergizan, los indicadores de alarma se activa en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan las

alarmas “NIVEL BAJO DE ACEITE C1” y “NIVEL BAJO DE ACEITE C2”. Esta prueba se realizó para todos las señales de alarma en el compresor C1 y C2 en el modo de operación remoto

| P R U E B A No.4 NIVEL BAJO DE ACEITE C1 Y C2 | | | |
|---|-----------------------------|---|---|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 63 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | COMPRESOR 1: On | COMPRESOR 2: On |
| ACCIÓN | UBICACIÓN | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Se activa Alarma de nivel bajo de aceite Compresor C1 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: On | | |
| | | | HISTORIAL: Alarma nivel bajo de aceite C1 |
| Se activa Alarma de nivel bajo de aceite Compresor C2 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: Off | | |
| | | | HISTORIAL: Alarma nivel bajo de aceite C2 |

Tabla. 5.4. Prueba - Nivel bajo de aceite C1 y C2

5.2.2.2 Prueba No.5.- Descenso de presión

Como se observa en la tabla 5.5 al descender la presión con la ayuda del potenciómetro que simula la entrada analógica al PLC, el compresor principal C2 que inicialmente estaba desenergizado se energiza en 63.0 bares, los indicadores de estado se activan en el TABLERO DE PRUEBAS y la HMI. El compresor

secundario C1 que inicialmente estaba desenergizado se energiza en 61.0 bares, los indicadores de estado se activan en el TABLERO DE PRUEBAS y la HMI.

Al llegar la presión a 58.8 bares los compresores C1 y C2 continúan energizados, los indicadores de estado continúan energizados en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presenta la alarma de “NIVEL MUY BAJO”.

| P R U E B A No.5 DESCENSO DE PRESIÓN | | | |
|--|---------------|---|-----------------------------------|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 64 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | COMPRESOR 1: Off | COMPRESOR 2: Off |
| ACCIÓN | PRESIÓN (Bar) | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Disminuir presión con la ayuda del potenciómetro | 63.0 | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 62,5 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| Disminuir presión con la ayuda del potenciómetro | 61.0 | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| | | Ventilador V1 energizado | PRESIÓN: 60,5 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| Disminuir presión con la ayuda del potenciómetro | 58.8 | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 energizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Alarma sonora | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| | | | NIVEL MUY BAJO: Encendido |
| | | | HISTORIAL: Alarma de nivel bajo |

Tabla. 5.5. Prueba - Descenso de presión

5.2.2.3 Prueba No.6.- Incremento de presión

| P R U E B A No.6 INCREMENTO DE PRESIÓN | | | |
|--|---------------|---|-----------------------------------|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 58.5 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | COMPRESOR 1: On | COMPRESOR 2: On |
| ACCIÓN | PRESIÓN (Bar) | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Aumentar presión con la ayuda del potenciómetro | 62.5 | Ventilador V1 energizado | PRESIÓN: 62,5 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 energizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: On |
| Disminuir presión con la ayuda del potenciómetro | 65.0 | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 65.0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: Off |
| Disminuir presión con la ayuda del potenciómetro | 67.0 | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 67.0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | PRINCIPAL: Compresor 1 |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | | | INDICADOR DE ESTADO C2: Off |
| | | Alarma sonora | NIVEL MUY ALTO: Encendido |
| | | | HISTORIAL: Alarma de nivel alto |

Tabla. 5.6. Prueba - Incremento de presión

Como se observa en la tabla 5.6 al incrementar la presión con la ayuda del potenciómetro que simula la entrada analógica al PLC, el compresor C1 y C2 continúan energizados en 63.0 bares, los indicadores de estado continúan energizados en el TABLERO DE PRUEBAS y la HMI. Cuando la presión llega a 64.5 bares los compresores C1 y C2 que estaban energizados se desenergizan, los indicadores de estado se desactivan en el TABLERO DE PRUEBAS y la HMI.

Al llegar la presión a 66.5 bares los compresores C1 y C2 continúan desenergizados, los indicadores de estado continúan desactivados en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presenta la alarma de “NIVEL MUY ALTO”.

5.2.2.4 Prueba No.7.- Emergencia y Reset historial

Como se observa en la tabla 5.7 al activar la señal de entrada digital al PLC EMERGENCIA C2 en el TABLERO DE PRUEBAS, el compresor C2 que inicialmente estaba energizado se desenergiza, el indicador de alarma se activa en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan la alarma “EMERGENCIA C2”. Continuando con la prueba se activa la señal de entrada digital al PLC EMERGENCIA GENERAL en el TABLERO DE PRUEBAS, el compresor C1 que inicialmente estaba energizado se desenergiza, el indicador de alarma se activa en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI se presentan la alarma “EMERGENCIA GENERAL”.

Mientras está activa la alarma de “EMERGENCIA C2” y “EMERGENCIA GENERAL” se desciende la presión con la ayuda del potenciómetro que simula la entrada analógica al PLC hasta llegar a 60.0 bares, los compresores C1 y C2 continúan desenergizados ya que las alarmas continúan presentes en el sistema.

Se desactiva la alarma de “EMERGENCIA C2” y “EMERGENCIA GENERAL” y los compresores C1 y C2 se energizan, los indicadores de estado se energizan en el TABLERO DE PRUEBAS y en la HMI continúan las alarmas de EMERGENCIA C2” y “EMERGENCIA GENERAL”.

Se presiona el botón de reset en la HMI y las alarmas de EMERGENCIA C2” y “EMERGENCIA GENERAL” se eliminan del historial.

Después de realizar las pruebas en mando remoto se pudo observar que el sistema responde acorde a los requerimientos del proyecto.

| P R U E B A No.7 EMERGENCIA Y RESET HISTORIAL | | | |
|--|-----------------------------|---|--|
| PARÁMETROS DE INICIO: | | PRESIÓN: 63 BAR | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | COMPRESOR 1: On | COMPRESOR 2: On |
| ACCIÓN | UBICACIÓN | RESULTADO EN TABLERO | RESULTADO EN HMI |
| Se activa pulsador emergencia C2 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 energizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 energizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: Off | | |
| | | | HISTORIAL: Emergencia C2 |
| Se activa pulsador emergencia general | Tablero de pruebas | Ventilador V1 desenergizado | PRESIÓN: 63,0 Bar |
| | | Ventilador V2 desenergizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 desenergizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 desenergizado | INDICADOR DE ESTADO C1: Off |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: Off | | |
| | | | HISTORIAL: Emergencia general |
| Se disminuye presión a 60.0 Bares | Tablero de pruebas | Compresor C1 y C2 continúan desenergizados | HISTORIAL: Emergencia general Emergencia compresor C2 |
| Se desactiva pulsadores emergencia general y emergencia compresor C1 | Tablero de pruebas | Ventilador V1 energizado | PRESIÓN: 60,0 Bar |
| | | Ventilador V2 energizado | MODO DE OPERACIÓN: Remoto |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C1 energizado | ESTADO DEL SISTEMA: Habilitado |
| | | | PRINCIPAL: Compresor 2 |
| | | Indicador de ENCENDIDO compresor C2 energizado | INDICADOR DE ESTADO C1: On |
| | INDICADOR DE ESTADO C2: On | | |
| | | | HISTORIAL: Emergencia general |

Tabla. 5.7. Prueba – Emergencia y Reset historial

En conformidad con las pruebas y resultados obtenidos cabe señalar que el rediseño de la automatización es la respuesta más adecuada a las necesidades actuales del sistema de aire comprimido de los reguladores de velocidad, para mejorar su eficiencia, la productividad y la gestión de operación del sistema. En síntesis los resultados obtenidos fueron:

- a) En el modo de operación LOCAL el sistema cumplió con las especificaciones planteadas en el proyecto, el sistema respondió correctamente a la simulación de fallas y su visualización en la HMI fue correcta.
- b) En el modo de operación REMOTO el sistema cumplió con las especificaciones planteadas en el proyecto, el sistema de control respondió correctamente a las variaciones de presión, simulación de fallas y su visualización en la HMI fue correcta.
- c) La respuesta del sistema de control es rápida, casi instantánea lo cual no permite tomar un tiempo de respuesta del controlador.
- d) El controlador es confiable y eficiente ya que no presentó fallas durante las pruebas realizadas en mando LOCAL y REMOTO.
- e) La simulación del sistema de control modo de operación REMOTO fue óptima.
- f) El historial de alarmas permitió identificar de manera rápida y precisa las alarmas que se presentaron en el sistema durante la simulación.
- g) El sistema de control brindó seguridad contra las operaciones equivocadas que se realizaron durante la simulación.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1 INTRODUCCIÓN¹⁰

Este capítulo contiene la información básica detallada a lo largo de este estudio en capítulos anteriores, es necesario incluir parámetros empleados para los cálculos financieros y de costo/beneficio, como por ejemplo el tiempo mínimo de recuperación del capital invertido requerido por la empresa para autorizar inversiones.

Cada medida de ahorro debe documentarse para contener:

Beneficios: presentación de todos los beneficios que va a obtener la empresa al implementar el proyecto.

Costos de inversión: Detalles de los costos requeridos para realizar el proyecto, incluyendo equipos, ingeniería, instalación, impuestos, y otros costos.

Rentabilidad Financiera: Para medidas que requieren baja inversión, la rentabilidad financiera se puede definir sencillamente con el periodo simple de recuperación en años. Para medidas con periodos de recuperación de dos años o más, se sugiere agregar un análisis de flujo de caja, y calcular la tasa interna de retorno.

¹⁰ www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/

6.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Los beneficios obtenidos con la implementación del nuevo sistema, viene dado por la facilidad de programación, mantenimiento y la apertura para que el personal de la empresa CELEC EP supervise y realice modificaciones en el futuro. Por lo tanto es necesario realizar un presupuesto inicial y conocer cual sería el costo de la inversión a fin de determinar si es recomendable realizar la implementación.

La tabla 6.1 muestra el presupuesto de los equipos para la implementación, los costos reales se muestra en el ANEXO 09(son cotizaciones reales realizadas en el mercado actual).

El presupuesto está repartido en rubros de hardware, software y mano de obra de la implementación del proyecto.

| CANT | UNID | DESCRIPCIÓN | COSTO |
|--------------|------|---|--------------------|
| 1 | u | SIMATIC S7-300, CPU 313C CPU COMPACTA CON MPI, 16 ED/16 SD,3EA/5SA, ALIMENTACIÓN INTEGR. DC 24V, CONECTORES FRONTALES, MEMORY CARD. | \$2,017.00 |
| 1 | u | Multipanel táctil MP277. Pantalla TFT a color de 10", con interfaz PROFIBUS DP / MPI /USB. Configurable con WinCC Flexible Standard | \$3,430.00 |
| 1 | u | Cable para comunicación PROFIBUS. Apto para implementar sistema de conexionado fácil FAST CONNECT | \$142.80 |
| 1 | u | CABLE DE COMUNICACIÓN PLC-PC | \$125.00 |
| 1 | u | STEP7 Profesional V11 para configuración, programación y diagnóstico de los controladores SIMATIC S7-300 y WinAC. | \$3,400.00 |
| 1 | u | WinCC Comfort V11. Software de ingeniería para la configuración de todas las gamas de paneles Simatic HMI | \$1,295.00 |
| 200 | m | Conductor de cobre | \$80.00 |
| 1 | u | Luminaria led 24VCC | \$5.00 |
| 1 | u | Mano de Obra Implementación, Programación y pruebas operativas | \$5,500.00 |
| TOTAL | | | \$15,994.80 |

Tabla. 6.1. Presupuesto del proyecto

6.3 ANÁLISIS DE RELACIÓN COSTO / BENEFICIO

Para la relación costo beneficio, primero es necesario determinar cuáles son los beneficios que se obtendrán al realizar el cambio de sistema automático de control, estos beneficios son:

- ❖ La central hidroeléctrica “San Francisco” necesita un confiable sistema de control y monitoreo del aire comprimido de los reguladores, por lo tanto el principal beneficio fue obtener un sistema de control seguro, simple y fácil de operar.
- ❖ El coste del nuevo sistema de control no es significativo comparado con la inversión total de la central hidroeléctrica “San Francisco”.
- ❖ El nuevo sistema está libre de errores, de fácil mantenimiento y sin necesidad de personal extra para las tareas de mantenimiento.
- ❖ El sistema está diseñado para operar con el mínimo personal. Los controles automáticos y semi/automáticos ahorran costes operacionales.

Sin duda y en base a lo expuesto es necesario realizar un análisis Costo/Beneficio que permita justificar la adquisición e implementación del nuevo sistema automático de control.

6.3.1 Análisis costo/beneficio del sistema implementado

El Valor Presente Neto (VPN) ¹¹

Es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero, es decir MAXIMIZAR la inversión. El Valor Presente Neto permite determinar si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor. Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significará que el valor de la firma tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que la

¹¹ www.definicionabc.com/tecnologia/vpn.php

firma reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor.

Como se mencionó en capítulos anteriores el sistema de control actual del sistema de aire comprimido posee un software cerrado de propiedad de la empresa constructora ALSTOM (Brasil), motivo por el cual la central “San Francisco” se ve obligado a contratar sus servicios para realizar mantenimientos preventivos o correctivos en el sistema automático.

Costo Actual.- Los costos de mantenimiento ascienden alrededor de 12600\$ cada año como se muestra en la tabla 6.2 y tabla 6.4, este costo corresponde a dos visitas del personal de ALSTOM (Brasil) para realizar el mantenimiento preventivo o correctivo del sistema automático de control actual.

Costo Proyectado.- Presupuesto del proyecto detallado en la tabla 6.1, costo de capacitación al personal y costo de mantenimiento del sistema.

| DESCRIPCIÓN | Inversión | Gastos de capacitación | Gastos de mantenimiento 1er. año | V.P.N. |
|--------------------|--------------|------------------------|----------------------------------|-------------|
| Sistema Actual | \$ 0.00 | \$ 0.00 | \$ 12,600.00 | \$12,600.00 |
| Sistema Proyectado | \$ 15,994.80 | \$ 1,500.00 | \$ 1,000.00 | \$16,994.80 |

Tabla. 6.2. Valor presente neto 1er.Año

Beneficio.- Diferencia del costo actual de mantenimiento y el costo proyectado del nuevo sistema.

Beneficio= Costo Actual - Costo Proyectado

| DESCRIPCIÓN | Inversión | Gastos de capacitación | Gastos de mantenimiento 1er. año | V.P.N. |
|--------------------|--------------|------------------------|----------------------------------|-------------|
| Sistema Actual | \$ 0.00 | \$ 0.00 | \$ 12,600.00 | \$12,600.00 |
| Sistema Proyectado | \$ 15,994.80 | \$ 1,500.00 | \$ 1,000.00 | \$16,994.80 |
| | | | Beneficio | -\$4,394.80 |

Tabla. 6.3. Beneficio 1er.Año

Con un VPN (valor presente neto) del sistema proyectado mayor que el VPN del sistema vigente y un beneficio negativo como se muestra en la tabla 6.2 y en la tabla 6.3 respectivamente no se puede tomar la decisión de implementar el nuevo sistema de control; sin embargo se conoce que el costo de mantenimiento con el nuevo sistema se reduce aproximadamente un 90% por lo cual es necesario realizar un análisis económico a dos años para determinar si el cambio del sistema de control es rentable.

| DESCRIPCIÓN | Inversión | Gastos de capacitación | Gastos de mant. 1er. año | Gastos de mant. 2do. año | V.P.N. |
|-------------------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| Sistema Actual | \$ 0.00 | \$ 0.00 | \$ 12,600.00 | \$ 12,600.00 | 25,200.00 |
| Sistema Propuesto | \$ 15,994.80 | \$ 1,500.00 | \$ 1,000.00 | \$ 1,000.00 | 19,494.80 |
| | | | | Beneficio | \$5,705.20 |

Tabla. 6.4. Beneficio 2do.Año

La Tasa Interna de Retorno (TIR).- Es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida. Para nuestro caso el TIR a dos años se detalla en la tabla 6.5.

| DESCRIPCIÓN | Costos de Inversión y TIR |
|-------------------------|---------------------------|
| Inversión | \$19,494.80 |
| Ahorro | \$25,200.00 |
| Tasa Interna de Retorno | 29% |

Tabla. 6.5. TIR 2do.Año

De los resultados obtenidos del análisis Costo/Beneficio y el cálculo del TIR (tasa interna de retorno) a los largo de este capítulo, se puede concluir que:

- ❖ Al implementar el proyecto el primer año no se obtiene beneficio, sin embargo el segundo año el beneficio es de \$5705,20 con respecto al gasto actual por mantenimiento correctivo o preventivo del sistema.

- ❖ El TIR (tasa interna de retorno) no es posible calcular el primer año ya que no existe ahorro, no obstante el segundo año el TIR alcanza el 29%.
- ❖ Como se observa en la tabla 6.4 y la tabla 6.5 el beneficio en dos años será de \$5705,20 y la tasa interna de retorno alcanza un 29%; estos valores continuaran creciendo año tras año por lo tanto se puede concluir que el cambio de sistema de control vigente por el sistema de control propuesto es rentable.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- ❖ Se realizó el levantamiento de información del sistema de control actual, determinando rangos de operación, funcionamiento y fallas.
- ❖ Se desarrollo ingeniería básica y de detalle del sistema de control actual y se determinó especificaciones técnicas de sus componentes.
- ❖ Se realizó planos eléctricos y electrónicos de los compresores y del sistema automático de control vigente.
- ❖ Se diseñó un nuevo y eficiente sistema automático de control y monitoreo para el aire comprimido de los reguladores de velocidad en la central “San Francisco”,
- ❖ Se diseño un sistema de control simple y fácil de operar para brindar seguridad contra operaciones equivocadas por parte del operador de la central.
- ❖ Se diseñó un sistema automático de control libre de fallas y se mejoró el tiempo de respuesta del controlador.
- ❖ Se realizó planos eléctricos y electrónicos para el nuevo sistema automático de control con una señalización clara y cableado reducido.
- ❖ Se desarrolló los diagramas lógicos para el sistema de control de aire comprimido.

- ❖ Se desarrolló el software de control y monitoreo con la ayuda del paquete de software WIN CC de SIEMENS que cumple con los requerimientos del proyecto.
- ❖ Se implementó un tablero de pruebas completo y adecuado para realizar la simulación del sistema automático de control del aire comprimido el mismo que permitió una simulación acorde a las exigencias del proyecto.
- ❖ Se realizó un HMI amigable y fácil de usar para el operador de la central “San Francisco”
- ❖ Se realizó la simulación de funcionamiento del sistema planteado en condiciones normales, anormales y críticas; determinando la confiabilidad del sistema.
- ❖ Se realizó la simulación de creación de las nuevas variables a implementar en el sistema digital EXP e HISTORIAN de la central “San Francisco”.
- ❖ Se desarrolló un completo análisis costo/beneficio para determinar la rentabilidad del nuevo el sistema de control sobre el sistema de control vigente.

7.2 RECOMENDACIONES

- ❖ La instalación de un PLC de respaldo en red con el principal aumentaría la confiabilidad del sistema.
- ❖ Crear una pantalla de historial de eventos en la HMI para tener un monitoreo más completo del sistema.
- ❖ Proyectar la instalación de fines de carrera en las válvulas manuales que permiten el paso de aire desde los compresores hacia el tanque de presión e incluirles en el sistema de control.
- ❖ Se recomienda incluir una electroválvula en el sistema de control para la purgar automática del condensado del tanque de presión, con restricciones de acuerdo a la presión del tanque y con tiempos cortos de actuación de la electroválvula.
- ❖ Sería importante incluir un contador de horas de operación de cada compresor en la HMI, esto ayudará a llevar un adecuado cronograma de mantenimiento.

- ❖ Para la adquisición de nuevos equipos se recomienda cumplir con todas las especificaciones técnicas establecidas en este proyecto.
- ❖ Se recomienda la conexión de todas las señales de alarma del sistema de aire comprimido con el sistema digital de la central “San Francisco” con el fin de obtener un monitoreo remoto del sistema.
- ❖ Es importante capacitar al personal sobre el nuevo sistema de control para evitar daños o mal funcionamiento de los compresores.
- ❖ Es necesario mantener en reserva varias entradas y salidas digitales para futuras implementaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ CREUS, Antonio, **Instrumentación Industrial**, tomo I, 6ta Edición, Editorial Alfa Omega, 1997, 200 páginas.
- ❖ VATECH, Análisis de la turbina Francis, Rev 2, Italia 2005.
- ❖ Automation de Small Hidropower Station, 3, 2da edición, Hydro Sri, Octubre 2007, 60 páginas.
- ❖ <http://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/14/turbinas-francis/>, Turbinas Francis.
- ❖ http://www.rodaindustria.com/fotos/090407194321_es_clean_compressed_air.pdf, Tratamiento de aire comprimido.
- ❖ VATECH, Autor F Pezzato/C. Baron, Análisis de alabe directriz, Rev 1, Italia 2005.
- ❖ SIEMENS, Simatic, step 7, Programación con step 7, Versión 5.1
- ❖ SIEMENS, Simatic, step 7, Configuración de Hardware con step 7, Versión 5.1.
- ❖ SIEMENS, Simatic, step 7, Introducción a step 7, Versión 5.1
- ❖ http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas/turbinas_hidraulicas.htm, Turbinas Hidráulicas.
- ❖ Documentación interna de la Central “Hidroeléctrica San Francisco”
- ❖ www.hidropastaza.gob.ec/sf.html, Características de la Central Hidroeléctrica “San Francisco”
- ❖ Planos AS BUILT, propiedad de la Central Hidroeléctrica “San Francisco”
- ❖ www.definicionabc.com/tecnologia/vpn.php, Definición VPN, TIR, VAN.
- ❖ www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/, Tasa interna de retorno.