

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

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

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

TEMA: “MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL
COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL
LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE
REPSOL - BLOQUE 16”

AUTOR:

ALEXIS FABIÁN LÓPEZ GONZÁLEZ

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2013

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL****CERTIFICADO**

Ing. Diego Morillo,
Ing. Hugo Ortiz

CERTIFICAN

Que el proyecto “MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE REPSOL - BLOQUE 16”, realizado por el Sr. Alexis Fabián López González, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

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

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autorizan al Sr. Alexis Fabián López González que lo entreguen al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de Carrera.

Ing. Diego Morillo
DIRECTOR

Ing. Hugo Ortiz
CO-DIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Alexis Fabián López González

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE REPSOL - BLOQUE 16”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros; conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Alexis Fabián López González

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Alexis Fabián López González

AUTORIZO a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la Biblioteca virtual de la Institución el trabajo “MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE REPSOL - BLOQUE 16”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mí exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Octubre de 2013

Alexis Fabián López González

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres, Fabián y Mariana, quienes son un pilar fundamental en mi vida y las personas que han estado conmigo siempre, cuidándome, protegiéndome y esforzándose todos los días por darme lo mejor. Gracias padres por enseñarme que a pesar de los problemas, tengo que luchar y dar lo mejor de mí para alcanzar todas mis metas.

A mi hermana María Virginia, y a mi novia Bianca, por todas sus palabras de aliento cuando me encontraba lejos, por cada noche subirme el ánimo y darme fuerzas para seguir adelante. Las amo mucho.

A toda mi familia, y a mis amigos, porque de una u otra forma, han sido parte de mi formación como persona y profesional, porque han compartido conmigo grandes aventuras, experiencias y sobre todo una bonita y sincera amistad.

Alexis Fabián López González

AGRADECIMIENTO

A Dios, por día a día brindarme la fuerza y sabiduría necesaria, por darme el valor para superar todos los obstáculos, por ser siempre mi guía y permitirme culminar con éxito y gran satisfacción esta etapa de mi vida.

A mis padres, por ser siempre mi apoyo y fortaleza, por los valores inculcados, los consejos, y las palabras que me ayudan a ser mejor persona cada día. Gracias por su paciencia, esfuerzo, dedicación y su gran amor.

A mi hermana, por estar a mi lado cuando lo necesitaba, por levantarme el ánimo y no dejarme caer en esta lucha, por ser un ejemplo a seguir, tanto como profesional así como persona.

A una persona muy especial, mi novia Bianca, por ser mi apoyo incondicional, por compartir conmigo mis frustraciones y alegrías, por estar siempre pendiente de mí y brindarme todo su amor.

A todas las personas de Repsol que hicieron grata esta dura experiencia, de manera especial al personal que integra el Departamento de Instrumentación, por darme la oportunidad y confianza de realizar este importante proyecto. Gracias por su apoyo, por compartir conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis profesores, cada uno de ellos dejó en mi una gran enseñanza, a mis Directores de Tesis, Ing. Diego Morillo e Ing. Hugo Ortiz, gracias por su dedicación, paciencia y por cada uno de sus consejos.

De corazón gracias y este triunfo es de todos, que Diosito les bendiga.

Alexis Fabián López González

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE REPSOL - BLOQUE 16	1
1.1. Definición del proyecto.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Alcance	5
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. General	7
1.5.2. Específicos.....	7
CAPÍTULO 2.....	9
FUNDAMENTO TEÓRICO	9
2.1. ¿Qué es una Migración?.....	9
2.2. Sistemas de Control en Procesos Industriales	10
2.2.1. Introducción.....	10
2.2.2. Controlador Lógico Programable	11
2.2.3. Lazo de control.....	13
2.2.4. Factores en el Control de Procesos	16

2.3. Instrumentación dentro de un Sistema o Proceso.....	18
2.3.1. Definición y uso.....	18
2.3.2. Instrumentos de campo y su importancia.....	19
2.4. Generación Eléctrica - Bloque 16	21
2.4.1. Generalidades.....	21
2.4.2. Sistema de Generación a Gas.....	23
2.4.3. Acumuladores de gas.....	25
2.4.4. Turbinas	26
2.4.5. Descripción del Compresor de Gas C-3121A	29
CAPÍTULO 3.....	32
HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL	32
3.1. Levantamiento de Información.....	32
3.1.1. Análisis de los Diagramas Eléctricos del Compresor de Gas....	34
3.1.2. Análisis de los Diagramas P&ID del Compresor de Gas.....	40
3.1.3. Multilin GE 369.....	49
3.2. Requerimientos preliminares del Sistema.....	51
3.2.1. Controlador Lógico Programable	52
3.2.2. Interfaz de Operador	53
3.2.3. Comunicación	53
3.3. Características de los elementos existentes en el Sistema de Control a ser reemplazado	54
3.3.1. Características PLC General Electric.....	54
3.3.2. Características Terminal de Operador QuickPanel.....	55
3.4. Elementos necesarios para la Migración del Sistema de Control	57

3.4.1. Características PLC Allen Bradley	57
3.4.2. Características Terminal de Operador	59

CAPÍTULO 4.....62

ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL SOFTWARE62

4.1. Descripción del Software utilizado en el Sistema de Control a ser reemplazado.....	62
4.2. Descripción del Software necesario para la Migración del Sistema de Control.....	65
4.2.1. Software RSLogix 5000	65
4.2.2. Software de comunicación RSLinx	67
4.2.3. Software Factory Talk	69
4.3. Información General para desarrollo del nuevo Software.....	71
4.3.1. Señales de entrada y salida a ser utilizadas en el Sistema de Control	72
4.3.2. Secuencia de Arranque.....	76
4.3.3. Set de Alarma y Shutdown para el Compresor de Gas.....	78
4.3.4. Matriz Causa - Efecto.....	80
4.4. Elaboración programa en RSLogix 5000	80
4.4.1. Tipos de Lenguaje de Programación.....	81
4.4.2. Creación nuevo proyecto	82
4.4.3. Configuración módulos de entrada/salida	84
4.5. Estructura y descripción del Programa	85
4.5.1. Rutina Principal (MainRoutine).....	86
4.5.2. Subrutina EVENTOS.....	88
4.5.3. Subrutina LIMITES_VAR_ANALOGICAS	91

4.5.4.	Subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES	92
4.5.5.	Subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS.....	94
4.5.6.	Subrutina ASIGNACION_PID	96
4.5.7.	Subrutina BOCINA	98
4.5.8.	Subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS	99
4.5.9.	Subrutina HOROMETRO	111
4.6.	Diseño y creación HMI.....	112
4.6.1.	Creación nueva aplicación	112
4.6.2.	Configuración de Comunicación	115
4.6.3.	Creación de una pantalla	116
4.6.4.	Creación de objetos	117
4.6.5.	Descripción HMI.....	117
CAPÍTULO 5.....		131
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....		131
5.1.	Pruebas internas de Funcionamiento	131
5.2.	Implementación en campo del Sistema de Control.....	137
5.2.1.	Desmontaje de los elementos a ser reemplazados.....	137
5.3.	Montaje nuevo Sistema de Control.....	141
5.4.	Conexión de señales al nuevo PLC.....	144
5.5.	Pruebas de campo.....	148
5.5.1.	Pruebas Punto a Punto	149
5.5.2.	Pruebas de Operabilidad del Sistema	152
5.5.3.	Pruebas de Arranque	155
5.6.	Resultados.....	159

CAPITULO 6.....165

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....165

6.1. Conclusiones165

6.2. Recomendaciones168

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

ANEXOS.....

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Bloques del bucle de Control.....	14
Figura 2. Diagrama de Bloque - Lazo Cerrado	15
Figura 3. Instrumentación digital de campo	20
Figura 4. Sistema de Generación y Distribución de Energía – Bloque 16	22
Figura 5. Tratamiento del Gas	24
Figura 6. Acumuladores de Gas - Planta SPF	25
Figura 7. Turbina LM2500.....	26
Figura 8. Turbina Solar Centauro H50.....	27
Figura 9. Turbina LM2500 de la Planta SPF.....	28
Figura 10. Compresor de Gas C-3121A	30
Figura 11. Vista Frontal Compresor de Gas C-3121A	30
Figura 12. Vista Lateral Compresor de Gas C-3121A.....	31
Figura 13. Panel Local Compresor de Gas C-3121A.....	33
Figura 14. Interior Panel Local Compresor de Gas C-3121A.....	33
Figura 15. Relés Salidas Digitales	37
Figura 16. Módulos de Entrada/Salida Analógica y Digital	39
Figura 17. Válvula de Succión (SDV-2026)	40
Figura 18. RTD (TE-2050)	41
Figura 19. Compresor de Gas - Primera Etapa.....	42
Figura 20. Aeroenfriador	42
Figura 21. RTD (TE-2123)	43
Figura 22. Compresor de Gas - Segunda Etapa.....	44
Figura 23. RTD (TE-2062)	44
Figura 24. Compresor de Gas - Filtro	45
Figura 25. Válvula Controladora de Presión (PCV-2032)	46
Figura 26. Válvula Blowdown (BDV-2024).....	47
Figura 27. Switch de Vibración (VSHH-1510).....	48

Figura 28. Indicadores y transmisores de presión del Compresor de Gas ...	48
Figura 29. Multilin GE 369	50
Figura 30. Relés ubicados en el Panel Local.....	51
Figura 31. Panel View 1000 de Allen Bradley.....	53
Figura 32. Comunicación Controlador Fanuc	54
Figura 33. Comunicación Controlador ControlLogix	54
Figura 34. PLC GE Fanuc Series 90-30	55
Figura 35. PanelView 1000 de Allen Bradley.....	59
Figura 36. Interfaz gráfica VersaPro	63
Figura 37. Pantalla principal HMI del Terminal QuickPanel.....	64
Figura 38. Interfaz gráfica Software RSLogix 5000.....	67
Figura 39. Interfaz gráfica Software RSLinx Classic Gateway.....	69
Figura 40. Interfaz gráfica Software FactoryTalk View Studio	70
Figura 41. Resumen Secuencia de Arranque.....	77
Figura 42. Ventana para la creación de un nuevo proyecto.....	83
Figura 43. Interfaz gráfica software RSLogix 5000	83
Figura 44. Módulos agregados en el Backplane.....	84
Figura 45. Rutinas del Programa C3121A	86
Figura 46. Diagrama de flujo Rutina Principal (MainRoutine)	87
Figura 47. Ejemplos instrucción JSR (Jump to Subrutina).....	88
Figura 48. Instrucción ALMA para la entrada Presión de aceite (PT_1572) .	88
Figura 49. Programación de shutdown para Máximo Nivel Scrubber 1	89
Figura 50. Diagrama de Flujo subrutina EVENTOS.....	90
Figura 51. Diagrama de Flujo subrutina LIMITES_VAR_ANALOGICAS	92
Figura 52. Subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES.....	93
Figura 53. Propiedades de la variable PB_1.....	93
Figura 54. Diagrama de Flujo subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES	94
Figura 55. Subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS	95
Figura 56. Propiedades de la variable PT_1572.....	95
Figura 57. Diagrama de flujo subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS...	96
Figura 58. Subrutina ASIGNACION_PID	97
Figura 59. Diagrama de Flujo subrutina ASIGANCION_PID	98

Figura 60. Diagrama de Flujo subrutina BOCINA	99
Figura 61. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 1).....	101
Figura 62. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 2).....	102
Figura 63. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 3).....	103
Figura 64. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 4).....	104
Figura 65. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 5).....	105
Figura 66. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 6).....	106
Figura 67. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 7).....	107
Figura 68. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 8).....	108
Figura 69. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 9).....	109
Figura 70. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 10).....	110
Figura 71. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 11).....	110
Figura 72. Subrutina HOROMETRO.....	111
Figura 73. Ventana para selección del tipo de aplicación	112
Figura 74. Creación nueva aplicación.....	113
Figura 75. Interfaz gráfica Factory Talk Studio Machine Edition.....	113
Figura 76. Explorador de la Aplicación creada.....	114
Figura 77. Configuración de la Comunicación	115
Figura 78. Ventana de Configuración de Comunicación.....	116
Figura 79. Creación nueva pantalla	116
Figura 80. Pantalla de Inicio.....	118

Figura 81. Pantalla Presiones.....	119
Figura 82. Pantalla Temperaturas.....	119
Figura 83. Pantalla Mediciones.....	120
Figura 84. Pantalla Control Succión.....	121
Figura 85. Pantalla Control Descarga.....	122
Figura 86. Pantalla Alarmas Activas.....	123
Figura 87. Pantalla Histórico Alarmas.....	123
Figura 88. Pantalla Grafica Proceso.....	124
Figura 89. Pantalla Ajustes Compresor de Gas C-3121A.....	125
Figura 90. Pantalla Ajuste Valores Set de Presion.....	126
Figura 91. Pantalla Ajuste Valores Sets de Temperatura.....	126
Figura 92. Pantalla Ajuste Parámetros PID (1).....	127
Figura 93. Pantalla Ajuste Parámetros PID (2).....	128
Figura 94. Pantalla Mantenimiento.....	129
Figura 95. Pantalla Señales I/O Digitales.....	130
Figura 96. Materiales nuevos a ser utilizados en la Migración.....	131
Figura 97. Fuente de alimentación Allen Bradley instalada en el chasis.....	132
Figura 98. Procesador LOGIX 5555 Allen Bradley.....	133
Figura 99. Módulos de Salidas Analógicas Allen Bradley.....	133
Figura 100. PLC a ser instalado en el Panel Local.....	134
Figura 101. Conexión del Sistema de Control para pruebas internas.....	134
Figura 102. PLC en línea.....	135
Figura 103. Fuente de alimentación externa.....	136
Figura 104. Pantalla Grafica Proceso.....	137
Figura 105. Desmontaje del PLC.....	138
Figura 106. Chasis a ser reemplazado.....	139
Figura 107. Panel Local con el PLC desinstalado.....	139
Figura 108. Chasis General Electric.....	140
Figura 109. Alimentación del Terminal de Operador a ser reemplazado.....	140
Figura 110. Vista Frontal del Panel Local sin el Terminal de Operador.....	141
Figura 111. Terminal de Operador a ser reemplazado.....	141
Figura 112. Instalación Chasis Allen Bradley.....	142

Figura 113. Conexión de los Módulos de entrada/salida en el chasis	142
Figura 114. Terminales de Operador	143
Figura 115. Parte posterior Panel View 1000	143
Figura 116. Panel View 1000 instalado en el Panel Local	144
Figura 117. Módulo General Electric.....	144
Figura 118. Señales conectadas en el módulo de entradas digitales	145
Figura 119. Señales de entrada y salida conectadas en los diferentes Módulos	145
Figura 120. Interior Panel Local durante la Migración.....	146
Figura 121. PLC Allen Bradley instalado en el Panel Local	146
Figura 122. Implementación PLC Allen Bradley finalizada	147
Figura 123. Conexión realizada entra la PC y el PLC.....	149
Figura 124. Indicadores LED	150
Figura 125. Diagrama Eléctrico utilizado en el comisionado de las señales	151
Figura 126. Ventana para registrar el usuario.....	152
Figura 127. Pantalla AJUSTES COMPRESOR DE GAS.....	153
Figura 128. Pantalla MANTENIMIENTO VALVULAS	154
Figura 129. Pantalla PRESIONES.....	154
Figura 130. PIC-101.....	156
Figura 131. Respuesta Válvula de Venteo (PV-103)	157
Figura 132. Respuesta Válvula de Recirculación (PCV-2032).....	157
Figura 133. Pantalla GRAFICA PROCESO durante las pruebas de arranque.	158
Figura 134. Filtros	160
Figura 135. Respuesta del Sistema de Control (Presión de Succión)	160
Figura 136. Respuesta del Sistema de Control (Presión de Descarga).....	161
Figura 137. Panel Local con el Compresor de Gas en funcionamiento	162
Figura 138. Diferencia Pantalla Principal HMI antigua y HMI nueva.....	163
Figura 139. Diferencia Pantalla “Temperaturas” HMI antigua y HMI nueva	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen Generación Eléctrica Facilidades Repsol	22
Tabla 2. Datos técnicos Acumuladores de Gas	26
Tabla 3. Lista de Señales Digitales de Entrada	36
Tabla 4. Lista de Señales Digitales de Salida.....	37
Tabla 5. Lista de Señales Analógicas de Entrada.....	38
Tabla 6. Lista de Señales de Entradas RTD.....	38
Tabla 7. Lista de Señales Analógicas de Salida	39
Tabla 8. Especificaciones Terminal de Operador QuickPanel	56
Tabla 9. Elementos del Sistema de Control a ser reemplazados.....	56
Tabla 10. Elementos necesarios para el nuevo Sistema de Control.....	60
Tabla 11. Lista de materiales para compra.....	61
Tabla 12. Señales de Entrada Digital (Slot 1)	73
Tabla 13. Señales de Salida Digital (Slot 2).....	74
Tabla 14. Señales de Entrada Analógica (Slot 3)	74
Tabla 15. Señales de Salida Analógica (Slot 4).....	75
Tabla 16. Señales de Entrada RTD (Slot 5).....	75
Tabla 17. Señales de Entrada RTD (Slot 7).....	75
Tabla 18. Valores de alarma y shutdown de Presión.....	78
Tabla 19. Valores de alarma y shutdown de Temperatura	79
Tabla 20. Distribución de Módulos de Entrada y Salida.....	85
Tabla 21. Lista de conexión de los Módulos	132
Tabla 22. Lista de Direcciones IP	135

PRÓLOGO

En este documento se presenta las características principales de los elementos que componen el Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A de la Facilidad de Producción Sur de Repsol, así como su ingeniería y funcionamiento, información necesaria e indispensable para realizar el cambio y estandarización de los equipos tanto en hardware como en software.

En el Capítulo 1, se presenta la definición y las razones por las cuales se requiere realizar el proyecto, de igual forma la importancia que tiene el mismo para la Planta SPF de Repsol.

En el Capítulo 2, se explica de forma general varios temas que son importantes conocer para familiarizarse con el sistema y cómo interviene dentro del proceso.

En el Capítulo 3, se describe de forma detallada el Hardware del Sistema de Control del Compresor de Gas mediante el análisis de planos y diagramas.

Dentro del Capítulo 4 se realiza un análisis general del software utilizado en el Sistema de Control, es uno de los capítulos más importantes ya que también se detalla la elaboración del programa principal y la creación de la HMI.

En el Capítulo 5, se explica la implementación en campo del Sistema de Control y las pruebas realizadas para comprobar su correcto funcionamiento.

Finalmente, el Capítulo 6 presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas del proyecto realizado.

RESUMEN

Este documento presenta el proyecto de la *Migración del Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A* ubicado en la Facilidad de Producción Sur de Repsol, el cual es el encargado de elevar la presión de gas a 385 PSI, el mismo que sirve como combustible para el funcionamiento de la Turbina LM2500. El proyecto se basa principalmente en el cambio del controlador ubicado en el Panel Local del compresor, este se encuentra muy deteriorado debido a las condiciones bruscas en las que trabaja, motivo por el cual el sistema es poco confiable e inseguro. De igual forma se reemplaza el Terminal de Operador que se encuentra fuera de servicio, es así que los operadores del área de Generación a Gas no cuentan con una interfaz para control y monitoreo del proceso. El proyecto se desarrolla en varias etapas, primero se realiza el levantamiento de información mediante el estudio y análisis de los diagramas eléctricos y diagramas P&ID del compresor, posteriormente se elabora el programa para el controlador en el software RSLogix 5000 y la HMI en el software Factory Talk View Studio. Finalmente se efectúa la implementación en campo, los equipos que componen el sistema de control tanto el PLC como el Panel View son de marca Allen Bradley, los mismos que permiten el control y supervisión del Compresor de Gas C-3121A.

Sistemas de Control Automático

Compresor de Gas

Turbina Dual LM2500

Diagramas Eléctricos

Diagramas P&ID

CAPÍTULO 1

MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A PARA LA TURBINA DUAL LM2500 DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DE REPSOL - BLOQUE 16

1.1. Definición del proyecto

El proyecto de la Migración del Sistema de Control del Compresor de Gas será realizado en REPSOL, ubicado en el Oriente Ecuatoriano en las provincias de Sucumbíos y Orellana, específicamente en la planta SPF¹ del Bloque 16. En la planta SPF se procesa el crudo que se extrae de los diferentes Wellpads², el gas es separado del crudo y mediante los compresores de alta se eleva la presión de dicho gas, el mismo que es utilizado como combustible para la turbina que forma parte del sistema de Generación Eléctrica. El correcto desarrollo y seguimiento del mismo está a cargo del Departamento de Instrumentación del SPF, el proyecto se ajusta a las necesidades de la empresa, los Coordinadores de Instrumentación en conjunto con los Coordinadores de Generación Gas/Diesel toman las decisiones necesarias para que el proyecto se realice con total normalidad.

1.2. Antecedentes

REPSOL YPF es una de las petroleras más reconocidas a nivel mundial, su sede está ubicada en España y nace como grupo en el año de 1987 como resultado de la reordenación del sector petrolero español y la adecuación a los cambios que acontecen a nivel mundial, su actividad engloba la exploración, producción, transporte y refinamiento de petróleo y gas.

¹ SPF: Facilidades de Producción Sur

² Wellpad: Plataforma de Producción

El grupo adquiere este nombre de la marca de lubricantes comercializada por REPESA, por su notoriedad y con el objetivo de transformarse en una marca líder, de prestigio y reconocimiento mundial.

La compañía avanza en su proceso de internacionalización y la presencia en Latinoamérica constituía una de las claves para el crecimiento de la compañía, desde el año de 1997 inicia su producción en Ecuador en el Bloque 16, parte del mismo se encuentra dentro del Parque Nacional Yasuní, el cual es una reserva ecológica. Sus excelentes instalaciones permiten realizar la exploración, explotación y producción de crudo manteniendo estándares de calidad y cumpliendo con todos los parámetros establecidos, permitiéndoles, desde hace varios años, ser una empresa líder en el campo petrolero.

Repsol en lo que respecta a seguridad y confiabilidad maneja como prioridad el bienestar de los operarios y de todo el personal en general, así, para evitar cualquier tipo de accidentes, se imparte charlas indicando a todos sus trabajadores el correcto cumplimiento de las *“7 Reglas para salvar tu vida”* y las medidas de seguridad que deben tomarse en cada una de ellas.

Con la necesidad de mantener los equipos operando correctamente y el deseo de que el proceso no se detenga, se realizan mantenimientos preventivos a todos los equipos e instrumentos de la planta, pues, un mal funcionamiento de uno de sus equipos podría desencadenar un sin número de problemas que podrían llegar a detener la producción, lo cual, para Repsol como empresa sería muy perjudicial; además, al estar trabajando siempre con temperaturas y presiones altas, se expone la vida de los trabajadores, por lo que cuidar la seguridad de la personas, es aún más importante.

Dentro de la Planta SPF existía solo una planta de compresión de gas, ésta fue implementada en el año de 1998 por la empresa Universal Compression Inc, el avance y crecimiento de la planta mostró un problema, cuando el compresor C-3121A³ entraba a mantenimiento se tenía que quemar gas en la tea de alta, es decir, el gas que se obtenía del proceso al no ser utilizado por la turbina para generación eléctrica tenía que ser quemado en la tea de la planta y provocaba un impacto ambiental muy preocupante además que el olor que emitía el gas al ser quemado era un fastidio para la gente que trabajaba en esa área y hasta se dieron casos en los que afectó la salud de los trabajadores.

El Sistema de Generación Eléctrica de Repsol se compone de varios equipos, uno de ellos es la Turbina LM2500 GE que se encuentra instalada en el SPF. La característica principal de esta turbina es que puede operar con dos combustibles distintos en este caso gas y diesel. La turbina al no utilizar gas para su funcionamiento necesita diariamente una cantidad muy elevada de barriles para la generación de energía, los mismos que representan una suma de dinero bastante considerable pues el diesel tiene un costo muy alto, mientras que el gas utilizado es el que se obtiene durante el tratamiento del crudo extraído, por eso para Repsol no representa ningún valor económico adicional.

A raíz de esto en el año 2008 por medio de la empresa Palmero se instala una nueva planta de compresión de gas, con el fin de tener un respaldo al momento de que un compresor se encuentre en mantenimiento, es decir se observó la necesidad de que exista un compresor back-up del Compresor C-3121A para dar oportunidad de mantenimiento de los equipos y para dar mayor confiabilidad al sistema de generación, pero sobre todo evitar que la turbina funcione con diesel.

³ C3121A: Tag del Compresor de Gas en el cual se realizará la migración

1.3. Justificación e importancia

La planta SPF del bloque 16 procesa el crudo separando el agua y gas que éste contiene, dicho gas es utilizado como fuente de energía para 16 motores Wuakesha y una Turbina LM2500 GE que se encuentran dentro de la planta la misma que tiene una capacidad de 18MW, existen 3 tanques almacenadores de gas de 115 metros cúbicos cada uno, con un peso en vacío de 30 toneladas y la línea de uno de ellos se dirige hacia los compresores C-3121A y C-3121B.

La planta compresora de gas es fundamental dentro de la planta SPF ya que se utiliza para asegurar el abastecimiento de gas para la turbina LM2500 GE, el trabajo de la planta compresora consiste en elevar la presión del gas por medio de un compresor eléctrico de dos cilindros, en dos etapas. El compresor consta de un motor eléctrico y dichas etapas permiten elevar la presión de 95 psi hasta 385 psi.

Los compresores de la planta disponen cada uno de un controlador y trabaja uno a la vez para el sistema de generación, como se menciona anteriormente un compresor actúa como back-up del otro. El paso de los años, clima, corrosión y sobre todo el ambiente agresivo en el que trabajan los equipos han sido determinantes para que el controlador del compresor C-3121A se vea afectado y actualmente se encuentre deteriorado por lo que se requiere un cambio del equipo.

Siendo un punto crítico el hecho de que el compresor deje de funcionar correctamente, conjuntamente con el Departamento de Instrumentación se vio la necesidad de realizar el proyecto de la MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL COMPRESOR DE GAS C-3121A, con el objetivo de prevenir fallas en el sistema y sobre todo para que exista seguridad y total confianza de los mismos para un correcto desarrollo de los procesos dentro

de la planta. Además el controlador actual fue instalado hace varios años y es el único de su marca lo cual representa un problema en cuestiones de mantenimiento y adquisición de repuestos originales.

La implementación del proyecto ayudará principalmente a brindar mayor confiabilidad y seguridad para lograr mejorar el sistema de control del compresor asegurándonos que funcione correctamente, además de estandarizar los equipos de la planta pues como se menciona anteriormente de todos los compresores existentes en la misma el compresor C3121-A es el único que posee un PLC⁴ General Electric.

1.4. Alcance

La etapa inicial de este proyecto consistirá en la identificación de los equipos que componen el sistema de control para poder efectuar la migración del controlador, es decir, se llevará a cabo el levantamiento de la información con el fin de conocer cada uno de los componentes y saber cuáles son sus funciones dentro del sistema, de igual manera se desea conocer más a fondo su funcionamiento, cuáles son la señales de entrada-salida, y todo lo relacionado al compresor de gas con el fin de que exista mayor confianza y seguridad al momento de realizar el proyecto.

Luego de recopilar toda la información, se podrán dimensionar los elementos a ser utilizados, como son el controlador, tarjetas de entrada y salida, chasis, fuente, panel view, podremos también determinar la posibilidad de utilizar equipos disponibles en la bodega del SPF, así como las partes de los sistemas que se encuentran fuera de servicio y que serán revisados para considerar la posibilidad de ocuparlos, evitando la compra de estos equipos y acelerando el trabajo del mismo.

⁴ PLC: Controlador Lógico Programable

Se implementará un nuevo PLC el mismo que será de marca Allen Bradley, sustituyendo el controlador General Electric que se encuentra deteriorado y en mal estado debido a los años que lleva funcionando y al ambiente agresivo en el que trabaja.

Se analizará la lógica de programación tanto del compresor C-3121A como del C-3121B, estudiando dicha lógica se conocerá el funcionamiento de cada uno de los sistemas, esto facilita la programación, de igual forma es muy importante no dejar de lado ningún detalle de las condiciones en las que trabaja el sistema, pues el nuevo controlador deberá cumplir con todas las funciones que actualmente tiene el controlador del compresor C-3121A.

REPSOL desea ir poco a poco estandarizando los equipos existentes en la planta, una de las razones es que la mayoría son de marca Allan Bradley, esto facilita al momento de realizar compras así como la disponibilidad de repuestos, además que son muy eficientes y confiables para este tipo de industrias. Por tal motivo es que se decide cambiar el controlador General Electric por un Allen Bradley e instalarlo en el panel del compresor de gas.

El análisis de riesgos también es muy importante en este proyecto, es una industria muy grande y los procesos deben realizarse correctamente, REPSOL no puede detener su producción porque incide directamente en los costos de producción y en la seguridad de sus empleados, que es de alta prioridad.

Es de suma importancia en todo proyecto realizar la documentación del trabajo realizado, con la finalidad de poseer información clara y detallada sobre los cambios realizados durante las diferentes etapas del proyecto.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Realizar la migración del Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A para la turbina LM2500 de la planta SPF de REPSOL en el Bloque 16 mediante la sustitución del controlador actual como mejora y estandarización de los sistemas de control existentes en la planta.

1.5.2. Específicos

Realizar el levantamiento y recopilación de información del hardware y software necesario analizando los planos P&ID, diagramas eléctricos y lógicas de programación para llevar a cabo el proyecto de la migración del controlador del compresor C-3121A.

Conocer el funcionamiento del Sistema de Control de los compresores C-3121A y C-3121B, estudiando la ingeniería de cada uno de los sistemas así como el funcionamiento de los instrumentos y dispositivos que intervienen en el equipo (Compresor de Gas) para el cambio del controlador lógico programable General Electric por un Allen Bradley.

Realizar la lógica de programación mediante el uso del software RSLogix 5000 el cual permita funcionar de manera segura, confiable y totalmente automática al Sistema de Control del compresor de gas C-3121A.

Implementar en el panel de control del compresor el nuevo controlador Allen Bradley conectando al mismo las señales análogas y digitales de entrada y salida respectivamente para mejorar la disponibilidad y confiabilidad del sistema de control del Compresor de Gas C-3121A.

Elaborar los diagramas eléctricos del cableado de campo del nuevo controlador, facilitar al Departamento de Instrumentación la documentación sobre los cambios realizados en el Sistema de Control del Compresor de Gas así como un manual de usuario sobre el funcionamiento y manejo de la interfaz hombre - máquina (HMI).

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ¿Qué es una Migración?

Se conoce como migración al cambio o actualización de un sistema, ya sea en lo referente a su hardware o a su software. La migración de un sistema se realiza mediante un procedimiento a través del cual se “cambian” los elementos del actual sistema por otros productos o por versiones que se adapten de mejor manera a las necesidades del sistema o proceso.

Durante el proceso de migración se ejecutan diferentes fases, primeramente se realiza un estudio del actual sistema conociendo a profundidad sus características y funcionamiento. Es importante la estimación del tiempo requerido para la migración así como la planificación del proyecto. Sin duda la fase más complicada es la implementación de la migración, en esta fase no pueden existir errores ni fallas y debe tener un impacto mínimo sobre la rentabilidad de la empresa pues en grandes industrias el retraso en la finalización del proyecto afecta directamente al nivel de producción lo cual tiene como consecuencia principal pérdidas económicas.⁵

Para realizar con éxito una migración y cumplir con el objetivo planteado no sólo es necesario encontrar la mejor solución técnica para el sistema o soluciones que se adapten a las necesidades del cliente, sino también tener una aplicación que sea rápida y efectiva la cual cuente con elementos de primera calidad.

⁵http://es.devoteam.com/index.php?option=com_content&task=view&id=266&pays=es&Itemid=446&lang=6

2.2. Sistemas de Control en Procesos Industriales

2.2.1. Introducción

Para definir que es un Sistema de Control es preciso saber que un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada.

Para entender cómo está funcionando un sistema es importante conocer cuál es la relación que existe entre la entrada y salida del proceso. El aspecto más importante de un sistema radica en el conocimiento de cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada, un correcto conocimiento de esta relación permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla, de esta manera se puede tomar decisiones sobre la acción de control para conseguir el objetivo final.

Con lo expuesto anteriormente, se puede definir un sistema de control como el conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea, mediante una acción de control.

En las industrias para un óptimo funcionamiento de la planta es necesario controlar y monitorear los procesos y de esta manera detectar cualquier anomalía que se presente para poder actuar sobre dicha falla permitiendo que el proceso se mantenga en correcto funcionamiento. Los sistemas de control y monitoreo permiten realizar el análisis de cualquier proceso industrial.⁶ Las variables básicas que se pueden encontrar en

⁶ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Sistemas de Control.ppt*

procesos industriales generalmente son la presión, el nivel, la temperatura y el caudal.

Cada variable del proceso va a tener su propia característica, independientemente de la aplicación particular y el conocimiento de dichas características es muy útil a la hora de diseñar o ajustar el lazo de control.

Al conocer los valores de dichas variables se puede saber con certeza que es lo que está sucediendo en la planta, si su operación es correcta y sobre todo si las condiciones operativas están dentro de los rangos de operación normales.

En sistemas industriales grandes además de computadores se utilizan PLC's, son los encargados de recibir la información de los instrumentos que están instalados en el campo y a través de un sistema de comunicaciones los datos son enviados al computador principal para la visualización de las variables y el estado en el que se encuentre la planta.

2.2.2. Controlador Lógico Programable

Un PLC (Programable Logic Controller) es un equipo electrónico programable, que usa una memoria la cual permite almacenar una secuencia de instrucciones lógicas y ejecutarlas con el objetivo de realizar funciones específicas, para controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, distintos tipos de máquinas o procesos.⁷

Son varios los elementos que componen un PLC, cada uno con una función específica. Por ejemplo tenemos el Rack principal, donde se conectan el resto de elementos. Uno de los elementos principal es la Unidad Central de Proceso que es considerado el “cerebro” del PLC ya que es la

⁷ <http://www.slideshare.net/dorissaravia/controlador-lgico-programable>

encargada de almacenar y procesar la información para la toma de decisiones relacionadas al control de la máquina o proceso.⁸

Los módulos de entrada y salida así como los módulos especiales se conectan al Rack Principal y se comunican con la CPU. A través de estos módulos los cuales pueden tener diferente número de entradas y salidas, el PLC monitorea y controla el proceso.

Los PLC's han ganado popularidad en las industrias y probablemente continuarán predominando por algún tiempo, debido a las ventajas que ofrecen⁹:

- Son un gasto efectivo para controlar sistemas complejos
- Son flexibles y pueden ser aplicados para controlar otros sistemas de manera rápida y fácil
- Permite programar de manera fácil y reduce el tiempo de inactividad del proceso.
- Capacidad de conectar varios tipos de módulos
- Permite monitorear el proceso en tiempo real
- Velocidad de operación
- Están diseñados para trabajar en condiciones severas como: vibraciones, campos magnéticos, humedad, temperaturas extremas.

Actualmente existe un gran número de aparatos que son controladores, algunos necesitan del elemento humano para llevar a cabo el control. El momento en que se utiliza un PLC dentro de un proceso o sistema lo podemos considerar como un Sistema de Control Automático, es así que un controlador automático realiza la conexión entre entrada y salida mediante un algoritmo de control.

⁸ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Control Automático.ppt*

⁹ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/maza_c_ac/capitulo4.pdf

Un sistema de control automático mide una variable y actúa de una forma determinada para que esa variable se mantenga en un valor deseado o de referencia.

Un controlador automático cuando detecta que la variable no está en el punto deseado, aplica una corrección al proceso, luego mide nuevamente el efecto producido por esa primera corrección y aplica una segunda corrección, y así sucesivamente, esto no quiere decir que las correcciones o mediciones se apliquen por etapas o pasos, el controlador se encuentra midiendo y corrigiendo continuamente hasta lograr un objetivo.¹⁰

Los controladores automáticos tienen también la habilidad de sentir si una condición está correcta o incorrecta y actuar para corregirla. Las mayores ventajas en comparación al ser humano es que los controladores no se cansan de realizar una tarea repetitiva o no necesitarán tomar un descanso antes de continuar su labor esto permite que el proceso no se detenga a ningún momento y que la producción aumente.

2.2.3. Lazo de control

Anteriormente se determinó que es un proceso y cuáles son sus características, así como que es un PLC y cómo funciona un Sistema de Control Automático, de esta forma se pudo ahora generalizar los dos tipos en los que se realiza el control de un proceso, y estos se caracterizan porque la información de proceso sea o no realimentada al controlador para iniciar la acción correctora adecuada.

Existe el control en lazo abierto el cual no realimenta la información del proceso al controlador. Este tipo de control se encuentra pocas veces en los procesos industriales. Como ejemplo se tiene las válvulas automáticas

¹⁰ Sánchez, José (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Madrid España: Díaz de Santos S.A, página 159.

actuadas manualmente o las válvulas motorizadas mandadas a distancia, pero sin ningún sistema de realimentación al sistema de control. La posición de estas válvulas las fija el operador.¹¹

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques de un bucle de control. Un circuito abierto de regulación carece de detector de señal de error y de controlador. Un ejemplo puede consistir en el calentamiento de agua en un tanque por medio de un interruptor a resistencia eléctrica sumergido. Dada una tensión de alimentación, una temperatura de entrada del agua, unas condiciones externas y una demanda del agua constante, la temperatura de salida del agua permanecerá constante. Si se cambia cualquiera de estas condiciones, la temperatura de salida del agua debe variar.¹²

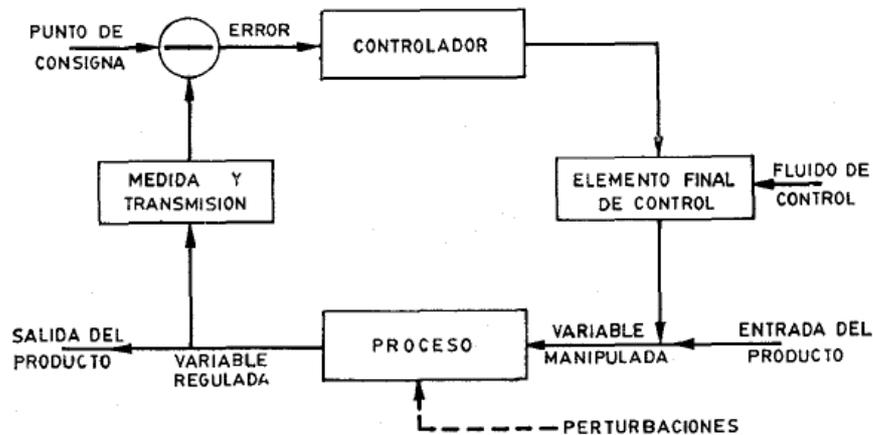


Figura 1. Diagrama de Bloques del bucle de Control

El control en lazo cerrado aparece en el diagrama de bloque de la Figura 2. En este caso, la información de la variable controlada de proceso se capta por medio de un sistema de medición adecuado y se utiliza como entrada al controlador. Un dispositivo detector de error compara esta señal

¹¹ Sánchez, José (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Madrid España: Díaz de Santos S.A, página 158.

¹² Creus, Antonio (1997). *Instrumentación Industrial*. Barcelona España: Marcombo S.A, página 482.

de entrada con otra de referencia que representa la condición deseada, y cualquier diferencia hace que el controlador genere una señal de salida para corregir el error.¹³

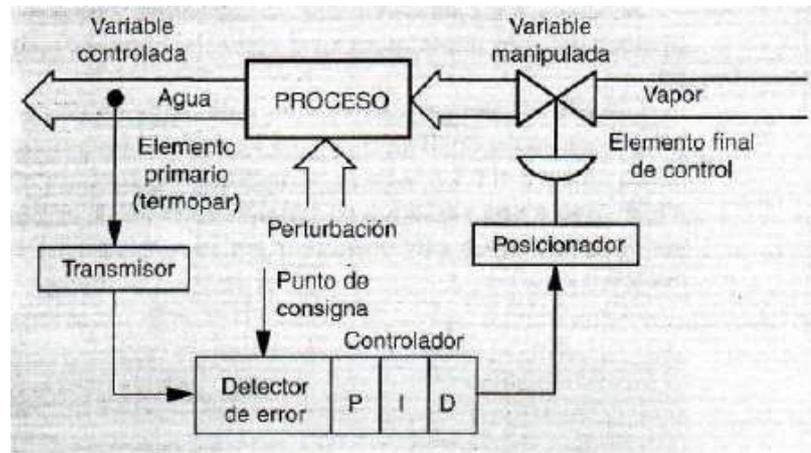


Figura 2. Diagrama de Bloque - Lazo Cerrado

La señal de salida del controlador se aplica al elemento final de control, el cual manipula una entrada al proceso en la dirección adecuada para que la variable controlada retorne a la condición deseada. Este circuito cerrado proporciona un esfuerzo continuo para mantener la variable controlada en la posición de referencia o punto de consigna.

Asociado al control aparecen tres tipos de variables fundamentales¹⁴:

- **Variable controlada (CV):** Es la característica de calidad o cantidad que se mide y controla. La variable controlada es una condición o característica del medio controlado, entendiendo por tal la materia o energía sobre la cual se encuentra situada esta variable.

¹³ Sánchez, José (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Madrid España: Díaz de Santos S.A, página 158.

¹⁴ Sánchez, José (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Madrid España: Díaz de Santos S.A, página 159.

Por ejemplo, cuando se controla automáticamente la temperatura del agua de la Figura 2, la variable controlada es la temperatura mientras que el agua es el medio controlado.

- **Variable manipulada (MV):** Es la cantidad o condición de materia o energía que se modifica por el controlador automático para que el valor de la variable controlada resulte afectado en la proporción debida.

La variable manipulada es una condición o característica de la materia o energía que entra al proceso. Por ejemplo, cuando el elemento final de control de la Figura 2 modifica el caudal de vapor al proceso, la variable manipulada es el caudal mientras que el vapor es la energía de entrada.

- **Variable de perturbación (DV):** Es toda variable que tiene influencia sobre la variable controlada pero no puede ser modificada directamente por la variable manipulada. Por ejemplo la temperatura de entrada de agua al proceso de la Figura 2. El sistema tiene que esperar a que el cambio en la temperatura del agua alcance la salida del proceso, donde se encuentra situada la variable controlada, para que ésta realice la acción correspondiente sobre la variable manipulada.

2.2.4. Factores en el Control de Procesos¹⁵

Lo último que se debe conocer dentro de los Sistemas de Control son los factores que influyen en los mismos. Con lo descrito en el punto anterior se dice que el parámetro que se desea controlar en algún nivel deseado se llama variable controlada, típicamente la variable controlada es el nivel, presión, temperatura, etc. Para realizar el control de un proceso son necesarias dos entradas; la variable medida y el set point.

¹⁵ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Control Automático.ppt*

El valor de la variable medida representa la condición actual de la variable controlada y el set point de la variable controlada representa el valor deseado del proceso, sin embargo se puede dar el caso en el que la variable controlada y la variable medida no sea el mismo parámetro. De esta forma el set point y el valor de la variable controlada son comparados y de existir una desviación se tomará una acción para eliminarla, esta acción envuelve ajustes en la variable manipulada, y causa cambios en la variable controlada, lo que permite que esta diferencia se reduzca.

Existen también otros factores que pueden afectar el correcto funcionamiento del proceso, los mismos que pueden ser controlados o no controlados por el operador por ejemplo los cambios de carga o perturbaciones respectivamente. Para compensar estos cambios de carga y perturbaciones, una constante circulación de información es necesaria.

En un sistema de lazo cerrado, información del proceso es constantemente alimentada por la instrumentación la cual es fundamental ya que es utilizada para indicar y/o leer el valor de la variable, registrar sus valores, controlarse a sí misma o controlar otra variable en el proceso, hacer actuar una alarma cuando la variable alcance una condición operativa insegura todavía controlable, causar una acción de seguridad cuando la variable alcanza una condición operativa insegura no controlable.¹⁶

Como conclusión, podemos decir que las principales funciones de un sistema de control son adquirir información, evaluar, comparar y tomar una decisión, y, realizar una acción de acuerdo a la decisión tomada.

¹⁶ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Introducción y Simbología.ppt*

2.3. Instrumentación dentro de un Sistema o Proceso.

2.3.1. Definición y uso

La instrumentación se puede definir como el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste.¹⁷

Los instrumentos de campo realizan la medición de presión, temperatura, flujo y demás variables que se puede encontrar dentro de un proceso. Dichos instrumentos de campo ofrecen varias ventajas para la mejora de los sistemas cumpliendo con la normativa y alcanzando estándares de calidad. También proporcionan medidas de campo precisas para mantener el máximo rendimiento de un proceso.¹⁸

Los instrumentos de campo forman parte de cualquier sistema, y son parte fundamental para lograr un correcto funcionamiento del proceso, por tal motivo la prioridad radica en obtener siempre la máxima precisión y la más alta fiabilidad. En los procesos industriales no hay nada más importante que medir, registrar, regular, posicionar pues así se logra tener un control total de las plantas o sistemas como tal.¹⁹

Los procesos industriales cuentan con varias de estas características o parámetros, y es común monitorear algunos de estos parámetros con el fin de obtener datos o información de cómo se están comportando dentro del proceso. Cabe recalcar que normalmente se usa diferente instrumentación por cada parámetro que se desea monitorear.

¹⁷ http://www.sapiensman.com/control_automatico/control_automatico7.htm

¹⁸ http://www.honeywellsp.com/hw_productos_servicios/hw_industrial/FieldInst/Hw_FI.htm

¹⁹ <http://www.automation.siemens.com/w1/automation-technology-instrumentaci%C3%B3n-de-procesos-20955.htm>

2.3.2. Instrumentos de campo y su importancia.

Para el correcto funcionamiento de un sistema de control es imprescindible una buena medida de las variables y una efectiva transmisión de datos, por lo cual es de suma importancia para el sistema el uso de una adecuada instrumentación. Existen actualmente una gran cantidad de dispositivos se los puede clasificar de acuerdo a la función que cumplen dentro del proceso o también de acuerdo a la variable que miden.

Básicamente, la instrumentación es más utilizada para monitorear un proceso y realizar los ajustes necesarios ya sean manuales o automáticos con la finalidad de que en el proceso se produzcan los cambios deseados. Para monitorear o controlar un proceso, se debe medir una característica o parámetro específico.²⁰

Los instrumentos son diseñados y contruidos para ser utilizados y montados en paneles o líneas de proceso, así como para trabajar en ambientes agresivos. La función que cumplen los instrumentos de campo es proteger el sistema y hasta la vida humana, como se ha mencionado anteriormente el instrumento mide una variable del proceso y el valor de la variable es usado para activar una alarma cuando la variable alcance una condición específica.

En toda industria lo más importante es la seguridad y gracias a la instrumentación de campo se logra controlar cualquier tipo de proceso. Los instrumentos de las variables más comunes, pueden representar un 90 o 95% de la instrumentación de una planta, estos pueden ser switches o interruptores de posición, válvulas solenoides, válvulas de control, transmisores de presión, nivel y temperatura.²¹

²⁰ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Introducción a la Instrumentación*, página 5.

²¹ <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/481/1/Instrumentaci%C3%B3n.pdf>

El sistema de control es un componente esencial de la instrumentación de la planta. Permite leer las variables del proceso, y en base a una lógica programada, tomar acciones para corregirlas a través de los instrumentos y elementos de control de campo.

Actualmente es cada vez mayor el desarrollo de equipos de instrumentación y control que se comunica a través de señales digitales en reemplazo de las señales analógicas. A pesar que la señal de 4-20 mA, como ejemplo de señal estándar de transmisión, es todavía empleada en la mayoría de casos, los últimos años se ha presenciado una importante transformación de instrumentación analógica a digital. La Figura 3 muestra una recopilación de varios instrumentos digitales que se usan hoy en día. Una de las ventajas de la transmisión digital es la eliminación de las conversiones de analógico a digital, sin embargo los costos también se incrementan.²²



Figura 3. Instrumentación digital de campo

²² <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/229-instrumentos-digitales-de-campo-medios-y-modos-de-transmision-y-comunicacion-parte-1.html>

2.4. Generación Eléctrica - Bloque 16

2.4.1. Generalidades

El objetivo fundamental del área de Generación eléctrica es proporcionar la energía necesaria para la explotación, producción y transporte de PETROLEO.

El sistema de generación eléctrica en el Bloque 16 se lo realiza con:

- ✓ Turbinas LM2500 de GE (General Electric).
- ✓ Generadores gas Waukesha
- ✓ Motores Wartsila

Las turbinas del NPF trabajan solo con diesel, el mismo que es producido por la Planta Topping. Los motores Waukesha tanto del NPF como del SPF utilizan gas natural el mismo que es separado en la planta de procesos y luego entregado a los compresores del sistema de generación. Los motores Wartsila utilizan crudo como combustible principal. El área de generación eléctrica es de vital importancia para poder desarrollar las actividades de producción de petróleo en el Bloque 16.

La Figura 4 presenta un esquema general de cómo se compone el Sistema de Generación Eléctrica en el Bloque 16, donde observamos que en la Facilidad de Producción Norte (NPF) se encuentra instalado dos Turbinas LM2500 y cuenta con seis generadores Waukesha, mientras tanto en la Facilidad de Producción Sur se tiene una Turbina LM2500, 15 generadores Waukesha y además 7 generadores Wartsila los cuales utilizan crudo como combustible.

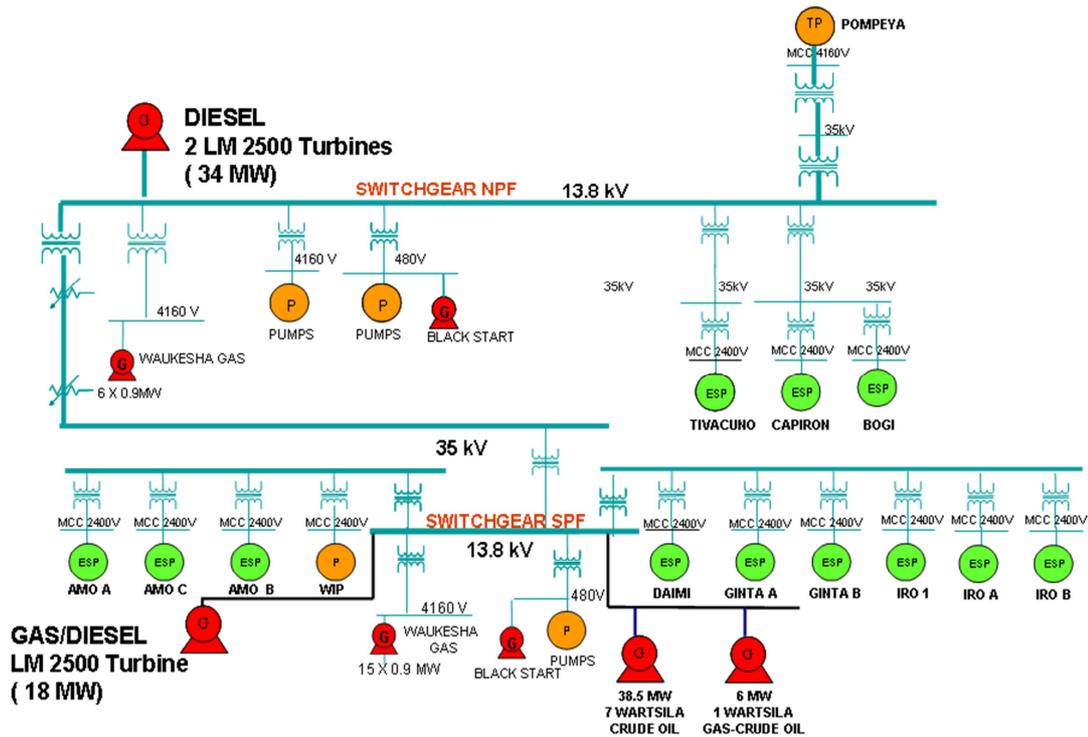


Figura 4. Sistema de Generación y Distribución de Energía – Bloque 16²³

La Tabla 1 muestra en resumen los equipos que utiliza Repsol para la generación de energía en el Bloque 16, especificando la cantidad de equipos existentes en cada Facilidad de Producción así como la capacidad en [MW] de cada uno de los equipos.

Generación Eléctrica Facilidades Repsol			
NPF		Cantidad	Capacidad
Turbina LM2500		2	18 MW
Generadores Waukesha		6	1 MW
SPF		Cantidad	Capacidad
Turbina LM2500		1	18 MW
Generadores	a Gas	15	1 MW
Generadores	a Crudo	7	6 MW
Wartsila			
Shushufindi		Cantidad	Capacidad
Turbina Solar Centauro		2	6 MW

Tabla 1. Resumen Generación Eléctrica Facilidades Repsol

²³ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Bloque16 – Resumen.ppt*.

2.4.2. Sistema de Generación a Gas.²⁴

Para la Migración del Sistema de Control resulta importante explicar acerca de cómo trabaja el Sistema de Generación a Gas ya que el Compresor C-3121A está directamente involucrado en este Sistema. En la planta SPF, durante el tratamiento de crudo y agua también se realiza la separación del gas.

El gas por ser menos denso que el agua y el petróleo tiende a depositarse en la parte superior de los tanques por lo que es extraído mediante tuberías y es enviado a unos enfriadores que consisten en un ventilador y un motor, con el fin de que se condensen las moléculas de agua y crudo que llegan en el gas.

Una vez hecho esto el gas se envía al tanque especial en donde a través de un separador se extrae el gas disuelto en el agua. El agua extraída del tanque es bombeada a los Scrubbers de agua para ser procesada. El gas extraído es enviado al Recovery Gas Compressor, en donde mediante la diferencia de presión se separan aún más las moléculas de agua y gas.

El gas que viene del compresor es enviado al Vacuum Pump Water Separator²⁵ en donde se separa el agua totalmente del gas; el agua es enviada al Scrubber de Agua y el gas es enviado al tanque de separación de crudo y gas, en donde se seca el gas con la finalidad de separar las moléculas de crudo que pueda contener el gas. El crudo condensado es enviado al Closed Drain Vessel²⁶.

²⁴ Granda, Maricela (2009). *Estudio de la factibilidad de migración de los sistemas Plant Scape Process de Honeywell en NPF y del sistema de control distribuido foxboro en SPF a un sistema de rockwell automation en el bloque 16, Repsol YPF*. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE): Sangolquí, Ecuador.

²⁵ Vacuum Pump Water Separator: Tanque de separación de mayor cantidad de agua y gas.

²⁶ Closed Drain Vessel: Tanque de acumulación de residuos y condensados de los procesos.

Este gas que obtenemos luego de la separación se suma al gas que sale de los Free Water que son los tanques de separación de agua de formación y gas, y Separadores de Producción es almacenado en el Fuel Gas Scrubber²⁷. El gas almacenado en el Fuel Gas Scrubber que se encuentra a unos 30 psi es enviado a comprimir en los Compresores de Gas a una presión de 200 a 220 psi. Finalmente el gas es utilizado para la operación de los generadores Waukesha y la Turbina que operan en la parte de Generación Eléctrica.

El exceso de gas que sale de los procesos anteriores se lo acumula en el Tambor de Tea el cual es un tanque de almacenamiento de excesos de Gas. Finalmente el gas acumulado en dicho tanque es quemado en la Tea.

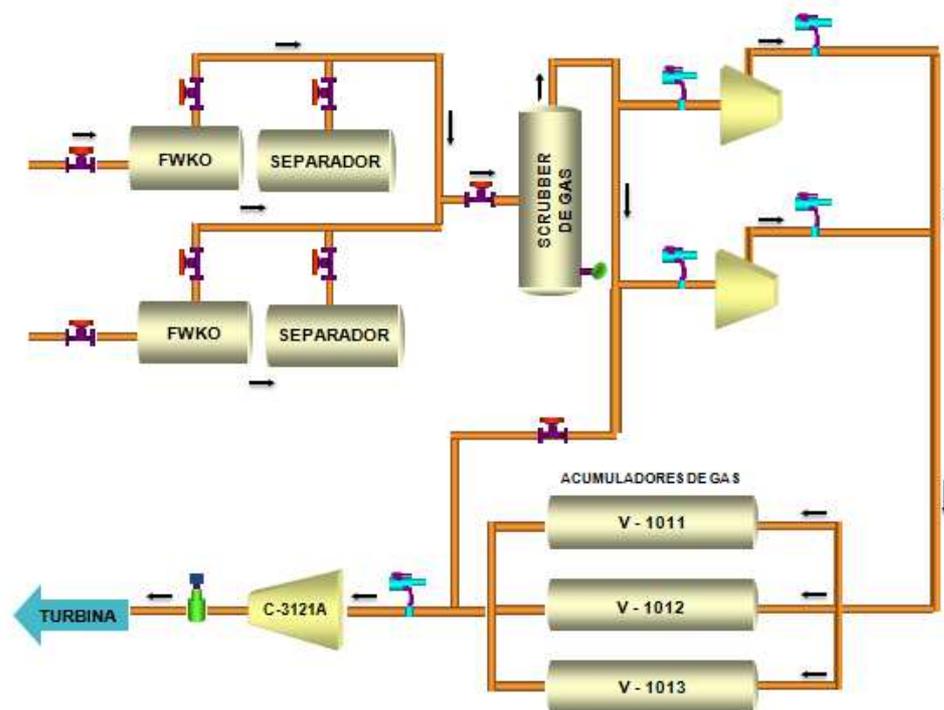


Figura 5. Tratamiento del Gas²⁸

²⁷ Fuel Gas Scrubber: Tanque de almacenamiento de Gas.

²⁸ Documentación Técnica - Archivos Repositorio REPSOL. *Bloque16 –Facilidades.ppt*.

En la Figura 5 se puede observar el proceso de captación de gas que se realiza en el SPF. Como se explicó anteriormente el gas que sale de los Free Water y de los Separadores de producción es almacenado en el tanque de almacenamiento o scrubber de gas y luego de ser comprimido se lo almacena en los acumuladores de gas el mismo que es enviado a los compresores de alta para finalmente enviarlo hacia la turbina.

2.4.3. Acumuladores de gas

Luego de que se ha realizado el proceso de separar el gas del crudo que se extrae de los wellpads este es almacenado en los acumuladores V-1011, V-1012 y V-1013 los cuales son tanques de almacenamientos de gas como lo muestra la Figura 6, la salida de cada uno de ellos se unen en una salida común la cual lleva el gas hacia los compresores de alta uno de ellos el Compresor de Gas C-3121A para finalmente enviar el gas que servirá de combustible para la Turbina LM2500.



Figura 6. Acumuladores de Gas - Planta SPF²⁹

²⁹ Fotografía Tomada el 15 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16

Los datos técnicos de los acumuladores de gas mostrados en la Figura 6 se especifican en la Tabla 2.

CAPACIDAD	115 metros cúbicos
PRESIÓN DE DISEÑO	254 PSI
PESO VACIO	30 Toneladas

Tabla 2. Datos técnicos Acumuladores de Gas

2.4.4. Turbinas³⁰

Una turbina es básicamente una máquina caliente en la que se genera energía térmica y luego lo convierte en energía mecánica a través de la aplicación de un proceso termodinámico.

Repsol YPF cuenta con dos tipos de turbinas que son:

- Turbinas LM2500 de General Electric
- Turbinas Solar Centauro H50

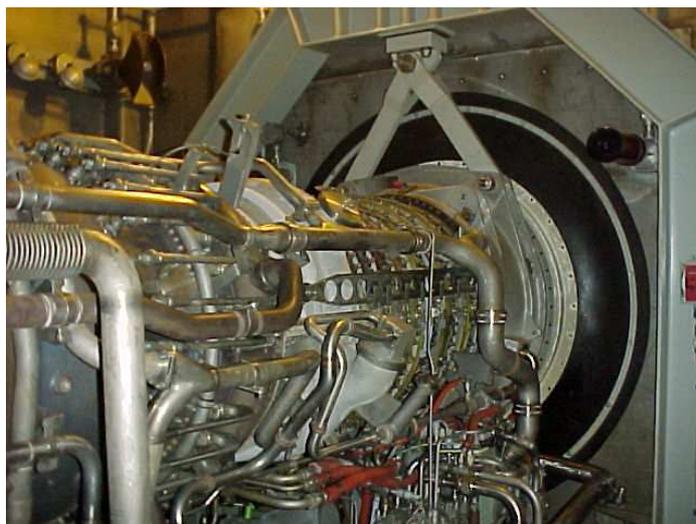


Figura 7. Turbina LM2500

³⁰ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *Capacitación interna Generación G&D.ppt*

Las Turbinas LM2500 se encuentran instaladas en las facilidades del Bloque 16, en la Figura 7 se puede observar una parte de la estructura interna de una Turbina LM2500. Por otro lado, la Figura 8 muestra la estructura de una Turbina Solar Centauro, se disponen dos turbinas de este tipo instaladas en Shushufindi.



Figura 8. Turbina Solar Centauro H50

La Turbina LM 2500 GE Gas Turbina es la que utiliza el Gas enviado desde el Compresor de Gas C-3121A, está equipada con un sistema de combustible provista con motores eléctricos impulsando bombas que elevan la presión del combustible para atomizarlo en los inyectores más la presión de aire del compresor para crear los gases de combustión que moverán a las turbinas de alta y baja presión.

Las Turbinas Dual pueden quemar combustible líquido como el Diesel y Gas Natural, como la turbina G-2170B, los inyectores que posee son dúplex (líquido, gas).

Las turbinas de gas operan en base en el principio del ciclo Brayton, en donde aire comprimido es mezclado con combustible y quemado bajo

condiciones de presión constante. El gas caliente producido por la combustión se le permite expandirse a través de la turbina y hacerla girar para llevar a cabo trabajo.

El factor limitante para la cantidad de combustible utilizado es la temperatura de los gases calientes creados por la combustión, debido a que existen restricciones a las temperaturas que pueden soportar los alabes de la turbina y otras partes de la misma.

En la Figura 9 se puede apreciar en su totalidad la estructura de una Turbina LM2500, la fotografía de la turbina fue capturada mientras se realizaba el mantenimiento e instalación de la misma. Los planes de mantenimiento de las turbinas y demás equipos instalados en Repsol se los realiza dependiendo de las horas que se encuentra en funcionamiento.

La turbina que se muestra en la Figura 2.8 es la que se encuentra instalada actualmente en la Facilidad de Producción Sur del Bloque 16.



Figura 9. Turbina LM2500 de la Planta SPF³¹

³¹ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *Capacitación interna Generación G&D.ppt*

2.4.5. Descripción del Compresor de Gas C-3121A³²

El equipo al que se hace referencia, realiza el trabajo de elevar la presión del gas, desde 100 a 385 PSIG, por medio de un compresor de cilindros opuestos JGJ-2, en dos etapas. El gas en la succión pasa a través de un scrubber en el que se retiene todo restos de líquidos en estado de gotas que normalmente son arrastrados con el gas. Este scrubber tiene un sistema de drenaje automático comandado neumáticamente, drenaje manual, visor de nivel e instrumentos de presión y temperatura.

Luego el gas pasa a un pequeño scrubber de succión del cilindro de primera etapa. En este cilindro se encuentra el variador de espacio nocivo VVP, que tiene por objeto hacer una regulación manual de caudal comprimido, luego de la compresión el gas pasa por un botellón o scrubber de descarga y a continuación pasa al aero-enfriador. El compresor es accionado por un motor eléctrico de media tensión 4160 V, dicho motor está vinculado al compresor por medio de un acople mecánico.

Luego del enfriamiento el gas pasa por el segundo scrubber o scrubber de succión de segunda etapa, de allí al botellón de succión y cilindro de compresión de segunda etapa, para salir por el botellón o scrubber de descarga.

A partir de aquí el gas pasa al filtro coalescente que retendrá el aceite mezclado con el gas y finalmente saldrá por la válvula de descarga. A la descarga del de la segunda etapa hay una derivación con una válvula de control que retorna el caudal de gas comprimido a un aero enfriador y de allí nuevamente a la succión. La válvula de control está vinculada a la presión de descarga del skid.

³² Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *Descripción Compresores de Gas.doc*

Todo el proceso se realiza en forma totalmente automática, supervisado por un PLC desde un panel de control general. Por ser un área clasificada, debido a la naturaleza del fluido a tratar, los componentes y la instalación son a prueba de explosión. El PLC controla las válvulas de bloqueo, succión, descarga, recirculación y venteo. El control de caudal se hace en forma automática por la válvula de control en la recirculación.



Figura 10. Compresor de Gas C-3121A³³



Figura 11. Vista Frontal Compresor de Gas C-3121A³⁴

³³ Fotografía Tomada el 18 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 12. Vista Lateral Compresor de Gas C-3121A³⁵

Las Figuras 10, 11 y 12 muestran diferentes vistas del Compresor de Gas C-3121A instalado en la Planta SPF.

³⁴ Fotografía Tomada el 18 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16

³⁵ Fotografía Tomada el 20 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16

CAPÍTULO 3

HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

Para efectuar la migración del sistema de control del Compresor de Gas C-3121A es necesario conocer a profundidad su funcionamiento así como los elementos de los que está compuesto.

Desde que el compresor fue implementado se han realizado varios cambios tanto en su hardware como en su software por lo que es de vital importancia realizar el levantamiento de información sobre el sistema de control que actualmente se encuentra funcionando para así saber que elementos son necesarios para la migración.

3.1. Levantamiento de Información

La empresa Universal Compression encargada del montaje del Compresor de Gas C-3121A proporciona a REPSOL información técnica, planos y diagramas del Compresor luego de finalizado su trabajo con el fin de que personal del Departamento de Instrumentación así como el Departamento de Generación Gas & Diesel puedan realizar futuras modificaciones y cambios según el proceso lo requiera.

Se conoce de forma general el funcionamiento del Compresor de Gas, y los elementos principales que actúan en el proceso. El sistema de control del Compresor de Gas es comandado por un PLC, cuenta con módulos de entrada y salida ya sean analógicas o digitales, también posee módulos RTD.

Los módulos de Entrada/Salidas son conectados en un chasis el mismo que se encuentra en el Panel Local (Figura 13) instalado en el Compresor de Gas C-3121A. La Figura 14 muestra el interior de Panel Local, en la parte superior se observa el PLC a ser reemplazado.



Figura 13. Panel Local Compresor de Gas C-3121A³⁶

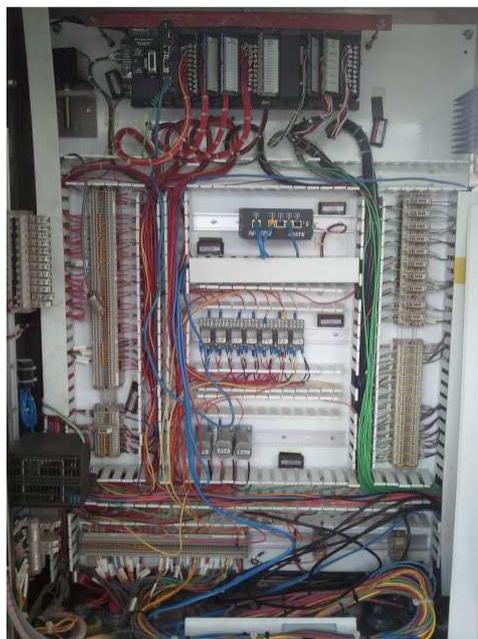


Figura 14. Interior Panel Local Compresor de Gas C-3121A³⁷

³⁶ Fotografía tomada el 20 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16.

³⁷ Fotografía tomada el 21 de Julio del 2012 en el SPF - Bloque 16

3.1.1. Análisis de los Diagramas Eléctricos del Compresor de Gas

El análisis de los diagramas eléctricos nos ayuda a determinar las señales de entrada/salida analógicas y digitales con las que cuenta el Compresor de Gas, estos diagramas indican la descripción de los instrumentos instalados y la conexión de las señales a cada uno de los módulos.

Es muy importante observar cómo se encuentran conectadas las señales del compresor y conocer en qué módulo se localiza cada una de las mismas. La Migración del Sistema de Control consiste principalmente en el reemplazo del PLC, sin embargo es muy importante estudiar y analizar los diagramas eléctricos con el fin de entender de manera general el cableado eléctrico de todo el sistema para poder realizar cambios o modificaciones según lo requiera el proyecto.

El Anexo A muestra el diagrama de cableado eléctrico para alimentación de los diferentes elementos que componen el Sistema de Control del Compresor de Gas.

La alimentación de 120VAC es proporcionada por REPSOL, Universal Compression instala dentro del Panel Local una fuente de alimentación externa de donde se obtienen 24VDC para la fuente que alimenta el chasis del PLC, el Terminal de Interfaz de Operador (Quick Panel), cada uno es protegido con un fusible de 5 amperios (F3 y F4).

Los 24VDC son también utilizados para alimentación de las solenoides BY-2026 (Válvula de succión), BY-2025 (Válvula de bypass), BY-2024 (Válvula blowdown), BY-2030 (Válvula de descarga), dichas solenoides son las que permiten abrir o cerrar las válvulas según lo requiera el proceso.

Adicionalmente para que los solenoides se activen un contacto asociado a un relé debe cerrarse, así como debe pasar corriente a través de los fusibles de 2 amperios (F5, F6, F7 y F8) instalados para protección de estos elementos.

De igual forma se requiere 24VDC para alimentación de los instrumentos instalados en el Compresor de Gas, se instalan fusibles para protección de los elementos y del sistema de control en general, el fusible F9, F10 y F11 para protección de los módulos de entradas digitales, el fusible F12 para el módulo de salidas digitales, el módulo de entradas analógicas también necesita de 24VDC, más adelante se analiza cada uno de estos módulos y las señales que se conectan en cada uno de ellos.

Se analiza los diagramas eléctricos de cada uno de los módulos de entrada/salida para conocer que señales se encuentran conectadas. El Anexo B muestra el Diagrama de cableado del Módulo 01 y el Módulo 02 ambos de entradas digitales. Cada módulo posee 16 entradas, sin embargo, estos dos módulos tienen conectado cada uno solo 12 señales de entrada digital y los demás puntos se encuentran libres.

El Anexo C muestra el diagrama eléctrico del tercer módulo de entradas digitales, al igual que los módulos del Anexo B, este cuenta con 16 entradas digitales, físicamente se tiene ocho señales conectadas en el módulo, todas relacionadas con la posición de la Válvula de Succión, Válvula de Bypass, Válvula de Blowdown y Válvula de Descarga, es decir, estas señales indican si estas válvulas se encuentran abiertas o cerradas.

En total existen 30 señales de entrada digital entre los tres módulos, la Tabla 3 muestra el nombre de la señal, la descripción y el punto en donde se

encuentra conectada cada una, de debe realizar el análisis del sistema para verificar si existen señales que hayan sido eliminadas o modificadas.

GE DIGITAL INPUT			
TAG	DESCRIPCIÓN	MÓDULO	PUNTO
PB-1	Compressor start	1	A1
PB-2	Compressor stop	1	A2
PB-3	Compresor E-Stop	1	A3
HS-2	Compresor Hand Mode	1	A4
HS-2	Compresor Auto Mode	1	A5
GDS	Gas detection shutdown	1	A8
RST	Compressor remote start	1	B2
RSP	Compressor remote stop	1	B3
REM-ESR	Compresor remote E-Stop	1	B4
CSR	Compressor motor running	1	B5
PSR	Compressor pre-lube oil pump motor running	1	B6
CFR	Off-skip cooler fan motor running	1	B7
VSHH-1012	Compressor motor high high vibration	2	A1
FSLL-1501A	Compressor lubricator "A" no-flow	2	A2
LSLL-1574	Compressor oil low low level	2	A3
LSHH-7402	1st stage suction scrubber high high level	2	A4
LSHH-7452	2nd stage suction scrubber high high level	2	A5
LSHH-7703	Skid coalescing filter high high upper level	2	A6
VSHH-1510	Compressor high highh vibration	2	A7
LSHH-7704	Skid coalescing filter high high lower level	2	A8
FSLL-1501B	Compressor lubricator "B" no-flow	2	B1
VSHH-1410	Cooler fan motor high high vibration	2	B2
DPSH-7725	Skid coalescing filter high diff pressure	2	B3
PSS	Process shutdown	2	B6
ZSO-2026	Fuel gas suction valve open	3	A1
ZSC-2026	Fuel gas suction valve closed	3	A2
ZSO-2025	Bypass valve open	3	A3
ZSC-2025	Bypass valve closed	3	A4
ZSO-2024	Blowdown valve open	3	A5
ZSC-2024	Blowdown valve closed	3	A6
ZSO-2030	Gas discharge valve open	3	A7
ZSC-2030	Gas discharge valve closed	3	A8

Tabla 3. Lista de Señales Digitales de Entrada

El diagrama de cableado del módulo de salidas digitales se muestra en el Anexo D, este módulo tiene 16 salidas en dos grupos de ocho, por lo que se puede observar la conexión de 24VDC en las borneras 1 y 11 para alimentación de cada grupo. Este módulo posee 12 señales de salida digital, las mismas que se describen en la Tabla 4.

GE DIGITAL OUTPUT			
TAG	DESCRIPCIÓN	MÓDULO	PUNTO
PR1	Pre-lube oil pump "auto run" relay	4	A2
CR1	Cooler fan "auto run" relay	4	A4
ESR	Compressor emergency stop relay	4	A6
FR	Compressor fault relay	4	A7
AR	Compressor alarm relay	4	A8
SVR	Fuel gas suction valve relay	4	B1
BVR	Bypass valve relay	4	B2
BDR	Blowdown valve relay	4	B3
DVR	Gas discharge valve relay	4	B4
RST	Compressor remote start relay	4	B5
RSP	Compressor remote stop relay	4	B6
RSI	Remote status indicator relay	4	B7

Tabla 4. Lista de Señales Digitales de Salida

En la Figura 15 se puede observar un grupo de relés pertenecientes a diferentes señales de salida digital, por ejemplo según la lista de la Tabla 3.2 el relé SVR pertenece a la válvula de succión de gas.



Figura 15. Relés Salidas Digitales³⁸

³⁸ Fotografía Tomada el 12 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

El Anexo E muestra el diagrama de conexión para el módulo de entradas analógicas, el Módulo 05 posee 16 canales de los cuales se utilizan 7 canales, seis para los transmisores de presión y uno para un transmisor de posición. Para proteger los instrumentos se instala en el Panel de Control Local un fusible de 0.5 amperios para cada uno de los elementos. La lista de entradas analógicas es presentada en la Tabla 5.

GE ANALOG INPUT			
TAG	DESCRIPCIÓN	MÓDULO	PUNTO
PT-1572	Compressor oil pressure	5	CH0
PT-2100	1st stg suction pressure	5	CH1
PT-2102	2nd stage suction pressure	5	CH2
PT-2105	Skid discharge pressure	5	CH3
ZT-2032	Recyclevalve position	5	CH4
PT-2101	1st stage discharge pressure	5	CH6
PT-2103	2nd stage discharge pressure	5	CH7

Tabla 5. Lista de Señales Analógicas de Entrada

En el Anexo F encontramos el diagrama de conexión de los módulos de entradas RTD³⁹, cada módulo posee seis entradas, el Módulo 08 tiene conectado dos RTD y el Módulo 09 seis RTD. La Tabla 6 indica la descripción de cada señal de entrada RTD.

GE RTD INPUT			
TAG	DESCRIPCIÓN	MÓDULO	# RDT
TE-1511A	Compressor bearing A temperature	8	RTD1
TE-1511B	Compressor bearing B temperature	8	RTD2
TE-2054	Compressor cylinder #1 discharge temperature	9	RTD1
TE-2062	Compressor cylinder #2 discharge temperature	9	RTD2
TE-1576	Compressor oil temperature	9	RTD3
TE-2123	1st stage/aftercooler discharge temperature	9	RTD4
TE-2070	Skid discharge temperature	9	RTD6

Tabla 6. Lista de Señales de Entradas RTD

³⁹ RTD: Resistance Temperature Detector

Por último el Anexo G muestra el diagrama de cableado para el módulo de salidas analógicas. El Módulo 07 cuenta con dos salidas analógicas, la salida uno para la válvula de reciclaje y la salida dos se encuentra libre para futuras conexiones, de igual forma para proteger los instrumentos se instala un fusible de 0.5 amperios para cada salida. Las señales se muestran en la Tabla 7.

GE ANALOG OUPUT			
TAG	DESCRIPCIÓN	SLOT	PUNTO
PY-2032	Skid recycle valve	7	IOUT1
--	Libre	7	IOUT2

Tabla 7. Lista de Señales Analógicas de Salida

En la Figura 16 se puede observar los módulos instalados en el chasis, en la parte izquierda se encuentra conectada la fuente de alimentación seguida del controlador y a continuación los módulos de entrada/salida analógica y digital.



Figura 16. Módulos de Entrada/Salida Analógica y Digital⁴⁰

Cabe mencionar que más adelante se realiza una inspección en campo con la finalidad de verificar la información obtenida de los diagramas eléctricos del Compresor de Gas C-3121A. Las modificaciones, cambios, o nuevas conexiones serán registrados en los nuevos diagramas de conexión a realizarse antes de la implementación.

⁴⁰ Fotografía Tomada el 12 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

3.1.2. Análisis de los Diagramas P&ID del Compresor de Gas

Se analiza los diagramas P&ID con el fin de conocer con detalle la instrumentación que controla el compresor, nos permite ubicar los instrumentos que se encuentran instalados, para esto también se dirige al campo a una inspección más personalizada donde se observa físicamente los instrumentos y elementos disponibles en el Panel de Control Local.

El Anexo H muestra el diagrama P&ID de la primera etapa, donde podemos encontrar varios de los instrumentos que son parte de las señales de entradas analógicas y digitales. El gas que sale de los acumuladores pasa primero por unos filtros antes de ingresar al compresor.

El gas proporcionado por el cliente en este caso Repsol, ingresa al compresor a través de una válvula shutdown o válvula de succión SDV-2026 (Figura 17), mientras esta válvula se abre un posicionador gira y cuando se encuentra totalmente abierta se activa un contacto indicando que la válvula ha cambiado de posición, el contacto ZSC-2026 indica que la válvula de succión se mantiene cerrada y el ZSO-2026 indica que la válvula está abierta, estas son señales de entrada digital.



Figura 17. Válvula de Succión (SDV-2026)⁴¹

⁴¹ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

Una vez que la válvula de succión se abre el gas ingresa al scrubber 1 (8001) donde encontramos tres instrumentos, se tiene instalado un transmisor de presión (PT-2100) que indica la presión de succión en el scrubber así como una RTD (TE-2050) que permite saber cuál es la temperatura.

La Figura 18 muestra el sensor de temperatura instalado a la salida del scrubber 1. En este mismo scrubber se encuentra instalada un switch de nivel (LAHH-7402), el mismo que se activa cuando el nivel del gas alcanza un límite establecido, en este caso el compresor de gas se apagará.



Figura 18. RTD (TE-2050)⁴²

A continuación el gas pasa a un pequeño scrubber de succión (8013) y luego de la compresión el gas pasa por un botellón o scrubber de descarga (8014) como lo muestra la Figura 19, en este punto se cuenta con dos instrumentos más un transmisor de presión (PT-2101) para indicar la presión de descarga de la primera etapa y una RTD (TE-2054) para la temperatura de descarga de la primera etapa.

⁴² Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

Finalmente el gas pasa al aero-enfriador (Figura 20) donde se tiene instalado un switch de vibración (VSHH-1410), cuando este switch de vibración se activa el compresor inmediatamente procede a apagarse.



Figura 19. Compresor de Gas - Primera Etapa⁴³



Figura 20. Aeroenfriador

⁴³ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

El Anexo I muestra el diagrama P&ID de la segunda etapa, una vez que el gas sale del aroenfriador ingresa al scrubber número 2 (8003), donde se tiene el mismo esquema del scrubber 1, es decir, encontramos instalado un transmisor de presión (PT-2100) para la presión de succión del scrubber 2, una RTD (TE-2123) para la temperatura de succión del scrubber 2 y un switch de nivel (LSHH-7452).

La Figura 21 muestra el sensor de temperatura que se encuentra instalado en el scrubber 2.



Figura 21. RTD (TE-2123)

De igual forma el gas pasa a un pequeño scrubber de succión de segunda etapa (8015), el gas es comprimido y sale por el botellón o scrubber de descarga de segunda etapa (8016) como lo muestra la Figura 22. En este punto se cuenta con un transmisor de presión (PT-2103) que indica la presión de descarga de segunda etapa y una RTD (TE-2062) para la temperatura.

La Figura 23 muestra el sensor que indica la temperatura que existe en la descarga de segunda etapa.



Figura 22. Compresor de Gas - Segunda Etapa⁴⁴



Figura 23. RTD (TE-2062)

En el Anexo J encontramos lo que podríamos nombrar como la tercera etapa, donde el gas luego de salir del scrubber de descarga de segunda etapa pasa al filtro (8011) que se muestra en la Figura 24 para finalmente obtener el gas que es enviado a la turbina.

⁴⁴ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 24. Compresor de Gas - Filtro⁴⁵

En el Anexo J también se puede observar también la derivación que se tiene luego de la descarga de la segunda etapa. La Figura 25 muestra la válvula de control de presión (PCV-2032), esta válvula es la que permite mantener la presión de descarga en un set determinado, retornando el caudal de gas comprimido al aereo enfriador y de allí nuevamente a la succión.

La válvula se controla mediante la salida analógica (PY-2032), esta válvula cuenta también con un transmisor de posición (ZT-2032) para conocer el porcentaje de apertura de la misma. En esta derivación se encuentra instalada la válvula de bypass (BV-2025) de donde se obtienen dos señales de entrada digital que indican su posición, (ZSC-2025) para cuando la válvula está cerrada y (ZSO-2025) para cuando la válvula se encuentra abierta.

⁴⁵ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 25. Válvula Controladora de Presión (PCV-2032)⁴⁶

En el filtro (8011) se tiene instalado dos switch de nivel, el primero para indicar el nivel inferior de filtro (LSHH-7704) y el segundo para el nivel superior del filtro (LSHH-7703). También tiene instalado un switch de presión diferencial (PDISH-7725).

A la descarga final se cuenta con un transmisor (PT-2105) que indica la presión de descarga del skid y una RTD (TE-2070) que indica la temperatura. Todos los transmisores y RTD instalados en el compresor entregan señales de entrada analógica.

Por último se tiene la válvula de blowdown (BDV-2024) que se observa en la Figura 26 y la válvula de descarga (SDV-2030). La primera se abre cuando el compresor se apaga por alguna falla, enviando el gas a la tea para ser quemado. Esta válvula también posee un posicionador que indica si está abierta o cerrada mediante los contactos (ZSO-2024) y (ZSC-2024) respectivamente. La segunda funciona también como protección ya que cuando el compresor presenta alguna falla esta válvula se cierra evitando el paso de gas hacia la turbina, los contactos (ZSO-2030) y (ZSC-2030) indican si la válvula de descarga se encuentra abierta o cerrada.

⁴⁶ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 26. Válvula Blowdown (BDV-2024)⁴⁷

El diagrama del sistema de lubricación de aceite del compresor se muestra en el Anexo K, se identifica el Compresor Ariel (1501) donde se encuentra instalado un transmisor de presión (PT-1572) que indica la presión de aceite del compresor, una RTD (TE-1576) para la temperatura del aceite, un switch de flujo (1501A) y un switch para indicar el nivel de aceite del compresor (LSLL-1574) que se activa cuando el nivel de aceite es muy bajo.

En el Anexo L podemos encontrar el switch de vibración del compresor (VSHH-1510) el mismo que se puede observar en la Figura 27 y el switch de vibración del motor (VSHH-1012) cuando cualquiera de estos se activa inmediatamente el compresor se apaga. Se tiene instalado en el compresor dos RTD para monitorear la temperatura de los cojinetes del compresor (TE-1511A) y (TE-1511B).

Mediante los transmisores de presión y los sensores de temperatura instalados en los diferentes puntos del compresor, se puede monitorear los valores de dichas variables realizando acciones sobre las diferentes válvulas para mantener al compresor en un correcto funcionamiento. Cuando los valores tanto de presión como de temperatura alcanzan valores previamente definidos ya sean muy altos o muy bajos el compresor se apaga.

⁴⁷ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 27. Switch de Vibración (VSHH-1510)⁴⁸

La figura 28 muestra los transmisores que se tienen instalados en el Compresor de Gas C-3121A, se instala manómetros adicionales para verificar los valores de cada una de las presiones.



Figura 28. Indicadores y transmisores de presión del Compresor de Gas⁴⁹

⁴⁸ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

⁴⁹ Fotografía Tomada el 18 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

La información que proporcionan los diagramas eléctricos y los diagramas P&ID se complementa con la información que se obtiene a lo largo de las diferentes etapas del proyecto, esto permite conocer y entender a profundidad el funcionamiento y las características principales del Compresor de Gas C-3121A.

3.1.3. Multilin GE 369

El Multilin GE 369 es un elemento fundamental dentro del Sistema de Control del Compresor, es un relé digital que proporciona protección y vigilancia de los motores trifásicos y sus sistemas mecánicos asociados.

El Multilin GE 369 se encuentra instalado en el Control Room de Generación Gas, este envía señales digitales hacia el controlador del Compresor de Gas. El Multilin 369 posee un puerto RS232 del panel frontal y tres puertos RS485, los puntos de ajuste o set point pueden ser introducidos a través del teclado frontal o mediante el software de configuración.

Varias son las características que ofrece el Multilin 369, pero específicamente este Multilin cumple una función especial dentro del sistema de control, cuando el relé de salida para el arranque del motor principal se activa el Multilin recibe una señal de contacto seco para iniciar el accionamiento del motor. El Multilin devuelve una señal de contacto seco indicando que el motor se encuentra en funcionamiento.

Otras de las funciones principales del Multilin 369 es para la parada normal o parada por falla del Compresor de Gas C-3121A, cuando se da un evento de falla o cuando se presiona el pulsador de Stop ubicado en el Panel Local del compresor el Multilin recibe una señal de contacto seco para detener el motor principal de accionamiento.

Las señales más importantes que intervienen en el funcionamiento del Multilin 369 son las señales de salida digital RST (Compressor Remote Start Relay) y RSP (Compressor Remote Stop Relay), cuando el relé RST es energizado el Multilin recibe esta señal y acciona el motor principal, de la misma manera si el relé RSP es energizado el Multilin apaga el motor principal. De la misma manera, el Multilin envía señales de entrada digital hacia el controlador indicando si el motor principal ha sido accionado.

La Figura 29 muestra el Multilin GE 369 que se encuentra instalado en el Control Room de Generación Gas.



Figura 29. Multilin GE 369⁵⁰

En la Figura 30 podemos observar los relés RST y RSP que se encuentran instalados en el Panel Local del Compresor de Gas, estos son los encargados de enviar la señal al Multilin 369 para accionar o parar el motor principal según el proceso lo requiera.

⁵⁰ Fotografía Tomada el 20 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16



Figura 30. Relés ubicados en el Panel Local⁵¹

3.2. Requerimientos preliminares del Sistema

Se conoce que el Compresor de Gas C-3121A cuenta con un sistema de control un poco antiguo en relación a los sistemas instalados en los diferentes Compresores del SPF, y se han realizado varias modificaciones y ajustes con el objetivo de que el compresor se mantenga en correcto funcionamiento. Sin embargo existen elementos los cuales al pasar los años se han deteriorado considerablemente motivo por el cual se realiza también esta migración.

Al ser varios años que el Compresor de Gas se encuentra en funcionamiento son varios los cambios que se han realizado en el Sistema de Control así como en la instrumentación de campo instalada.

El primer paso para poder realizar la migración es realizar un estudio de ingeniería sobre el sistema a ser reemplazado con la finalidad de identificar todos los elementos que intervienen en el Sistema de Control del

⁵¹ Fotografía Tomada el 12 de Agosto del 2012 en el SPF - Bloque 16

Compresor de Gas C-3121A y así seleccionar de manera correcta los elementos necesarios que formarán parte del nuevo Sistema de Control.

3.2.1. Controlador Lógico Programable

Para la migración del sistema de control el procesador es el elemento más importante a tomar en cuenta, se cuenta con un PLC Fanuc de General Electric el mismo que será reemplazado por un PLC ControlLogix de Allen Bradley, que realizará las mismas funciones de control tales como iniciar, detener y controlar la secuencia de arranque y normal funcionamiento del compresor.

Al darse el cambio del procesador se logra una considerable mejora en el sistema de control que maneja al equipo, pues se obtiene un sistema mucho más estable aumentando confiabilidad del proceso en este caso la compresión del gas, al mismo tiempo que se realiza la estandarización con respecto al modelo de controladores que se utilizan en la planta del SPF.

El PLC ControlLogix tiene la capacidad de comunicarse vía Ethernet con el Sistema Scada del cuarto de control de Generación Gas-Diesel, además localmente en el panel local se instalará un Terminal de Operador como interface con el personal en campo.

El PLC realizará el control de las siguientes señales:

- Entradas Digitales
- Salidas Digitales
- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas
- Entradas RTD

3.2.2. Interfaz de Operador

La interfaz de operador es una pantalla táctil que permite monitorear y/o controlar las diferentes variables del proceso, por ejemplo controlar los valores de presión, monitorear las variables de temperatura del compresor. También permite el acceso a parámetros de configuración tales como la activación de alarmas e históricos de valores de temperatura, presión, posicionamiento de las válvulas de control, etc.

El panel que se procede a instalar es un Panel View 1000 de la marca Allen Bradley (Figura 31) y se comunica con el PLC por medio del puerto Ethernet. Este nuevo terminal de operador permite ejecutar los trabajos que realiza el panel a ser reemplazado, a la vez que se añadirá pantallas con más funciones para un mejor manejo del Compresor de Gas C-3121A y del proceso en general.

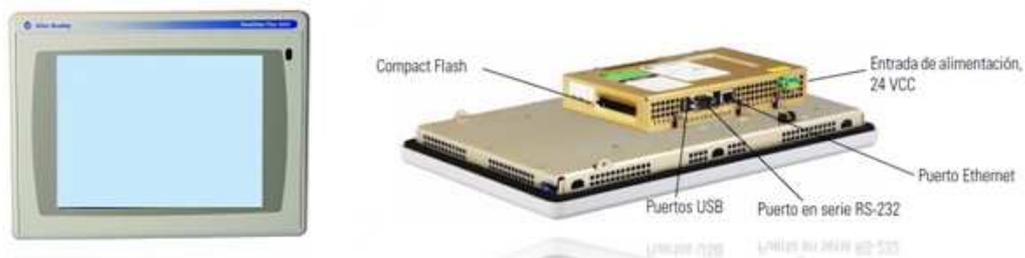


Figura 31. Panel View 1000 de Allen Bradley

3.2.3. Comunicación

La comunicación entre el controlador y el Compresor de Gas C-3121A se la realiza vía Ethernet. La Figura 32 muestra cómo se comunica el sistema a ser reemplazado, para leer los datos adquiridos por el PLC GE Fanuc desde campo se cuenta con el RSVIEW que es el SCADA instalado para el monitoreo y control del compresor. El RSVIEW se enlaza con el KEPSERVER, driver encargado de tomar y transformar los datos del procesador.

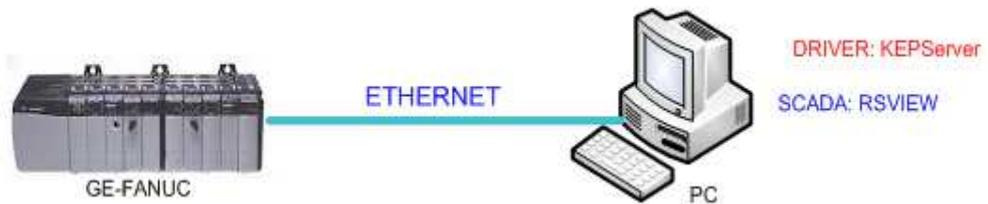


Figura 32. Comunicación Controlador Fanuc

En la Figura 33 se puede observar cómo se va a realizar la comunicación del nuevo PLC ControlLogix de Allen Bradley, se comunica de igual manera vía Ethernet pero el driver que se encarga de leer los datos se denomina RSLinx, el mismo que es necesario para realizar la comunicación entre el controlador y el Panel View 1000 a ser instalado.



Figura 33. Comunicación Controlador ControlLogix

3.3. Características de los elementos existentes en el Sistema de Control a ser reemplazado

3.3.1. Características PLC General Electric

La empresa Universal Compressor escoge para su sistema un PLC de la Serie 90-30 de GE Fanuc (Figura 34) para que realice las acciones de control en el compresor. Una característica principal de la Serie 90-30 se encuentra en las entradas y salidas que posee, existe más de 38 módulos discretos de E/S y 17 tipos de E/S analógicas, incluyendo contadores de alta velocidad, procesadores de E/S, controladores de temperatura, etc.



Figura 34. PLC GE Fanuc Series 90-30⁵²

El chasis que se encuentra instalado en el Panel Local del Compresor es de 10 Slot, es aquí donde se conectan los diferentes módulos de entrada/salida analógica y digital, así como los módulos especiales. En el chasis también conecta la fuente de alimentación y la CPU.

Para mayor información sobre las características, especificaciones técnicas, datos de conexión y cableado de campo de los módulos de entrada/salida así como de la fuente de alimentación y la CPU a ser reemplazados se puede consultar el Anexo M.

3.3.2. Características Terminal de Operador QuickPanel.

La familia Quickpanel son terminales de operador táctiles de bajo perfil, son muy prácticos, una buena alternativa de coste frente a una variedad de distintos dispositivos, desde pulsadores y pilotos hasta visualizadores de mensajes. Un completo rango de productos que van desde el panel de 5" LCD monocromo hasta un panel de 12" TFT color, soportando todas las necesidades del operador.

Los terminales de Operador se usan principalmente en las aplicaciones donde se precisa funcionalidad de SCADA. Todos los modelos Quickpanel comparten el mismo editor gráfico basado en Windows.

⁵² http://img.alibaba.com/photo/524200705/GE_FANUC_PLC_S90_30.jpg

Para el Compresor de Gas C-3121A Universal Compression ha instalado un Terminal QuickPanel de 10.5 pulgadas, las especificaciones técnicas se describen en la Tabla 8.

TERMINAL QUICKPANEL II	
Tipo de Display	LDC Monocromo
Resolución: Ancho	640
Alto	480
Colores	Blanco/Negro + Flash
Área de visualización	
Diagonal (ancho x alto)	10,4" (211,2mm x 158,4mm)
Memoria de pantalla	1MB Flash EPROM
Velocidad CPU	25MHz

Tabla 8. Especificaciones Terminal de Operador QuickPanel⁵³

La Tabla 9 muestra una lista de los elementos a ser reemplazados y que componen el Sistema de Control del Compresor de Gas, indicando el número de unidades y la característica principal de cada uno de ellos.

ELEMENTOS EXISTENTES EN EL SISTEMA DE CONTROL		
ELEMENTO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Controlador GE Fanuc	1	PLC Series 90-30
Módulo Entradas Digitales	3	16 entradas digitales - 24 VDC
Módulo Salidas Digitales	1	16 salidas digitales - 24 VDC
Módulo Entradas Analógicas	1	16 entradas analógicas - 4 a 20 mA
Módulo Salidas Analógicas	1	2 salidas analógicas - 4 a 20 mA
Módulo RTD	2	6 entradas RTD - 50 mA
Placa Base	1	Chasis 10 - Slot
Fuente de Alimentación	1	24 VDC
Quick Panel II	1	LCD Monocromo 10.5"

Tabla 9. Elementos del Sistema de Control a ser reemplazados

⁵³http://www.gepowercontrols.com/es/resources/literature_library/catalogs/control_automation/downloads/DS_EGC_PLC_Fanuc_spain.pdf

3.4. Elementos necesarios para la Migración del Sistema de Control

El Sistema de Control del Compresor de Gas se compone de varios elementos con características determinadas y que cumplen con funciones específicas dentro del proceso, como se mencionó anteriormente estos elementos son de marca General Electric.

Para realizar la migración se analiza que elementos se requiere y que características deben cumplir, motivo por el cual se compara las características de los elementos de los catálogos de Allen Bradley con las características de los elementos a ser reemplazados. De ser posible se utiliza el material existente en el Taller del Departamento de Instrumentación y en la Bodega del SPF.

Luego de realizar un minucioso análisis de las características que poseen los diferentes elementos de Allen Bradley se elige los materiales que serán necesarios para poder efectuar la migración del Sistema de Control.

3.4.1. Características PLC Allen Bradley

El controlador es la parte más importante del Sistema pues es el encargado de monitorear y controlar las entradas/salidas conectadas en los diferentes módulos. Estos módulos se conectan en un chasis ControlLogix 1756-A10 y utilizan un bloque de terminales extraíble (RTB) para la conexión de todo el cableado de campo.

Es importante mencionar que los bloques de terminales RTB no se incluyen con el módulo por lo cual hay que considerar que se requieren estos bloques para la conexión de las señales provenientes de la instrumentación de campo.

Cuando se realizó el levantamiento de información en primera instancia se propone comprar un nuevo Controlador Allen Bradley 1756-L61, por las características que este poseía, sin embargo al presentar la propuesta al coordinador del Departamento de Instrumentación y luego de un previo análisis se decide utilizar un Controlador 1756-L55 existente en el taller de Instrumentos.

Para la elección de los módulos que forman parte del nuevo sistema de control se analiza principalmente el número de entradas o salidas que tiene cada módulo, con el fin de contar con el número de entradas o canales suficientes para la conexión de las señales que intervienen en el sistema.

A diferencia del Sistema de Control implementado con elementos General Electric, para la migración se utiliza 2 módulos Ethernet adicionales, el uno se conecta a la computadora portátil para realizar la comunicación con el controlador y el otro módulo Ethernet se conecta al Panel View ya que la comunicación para la lectura de datos se la realiza por este medio.

El módulo Ethernet 1756-ENBT se instala en el chasis de la misma manera en que se instalan los módulos de entrada y salida. El primer módulo Ethernet ocupa la ranura nueve y el segundo módulo la ranura 10. La configuración del módulo Ethernet se lo realiza por software ya que estos módulos no poseen interruptores de hardware para asignar una dirección.

Otra característica importante que se observa son los valores de voltaje y corriente con el que opera cada módulo con el objetivo de proteger los equipos y el sistema en general. Para mayor información sobre las principales características y especificaciones técnicas así como información sobre las conexiones de campo de los módulos de entrada/salida Allen Bradley a ser instalados consultar el Anexo N.

3.4.2. Características Terminal de Operador

Como Terminal de Operador se elige un Panel View 1000 Allen Bradley, cabe recalcar que en el Sistema de Control a ser reemplazado se encuentra instalado un Quick Panel II el cual está fuera de servicio, esta es una de las razones principales por la cual es de carácter urgente realizar la migración pues los operadores de campo no cuentan actualmente con una interfaz para monitoreo y control del Compresor de Gas C-3121A.

Los terminales Panel View proporcionan una interface de operador rápida, fácil, flexible y de bajo costo, para el sistema PLC. Estos son reemplazos ideales para paneles de control tradicional ya que se presentan con una amplia gama de opciones, como tipo y tamaño de la pantalla, entrada del operador, puerto de comunicación, alimentación eléctrica, etc.

El Panel View 1000 tiene una pantalla táctil a color de 10 pulgadas (Figura 35). Este terminal tiene disponible un conector Ethernet/IP y un puerto RS-232 para su comunicación. La alimentación eléctrica del Panel View 1000 es de corriente continua. Se utiliza el conector Ethernet del Panel View 1000 para la descarga de aplicaciones así como para la lectura de datos del controlador.



Figura 35. PanelView 1000 de Allen Bradley⁵⁴

⁵⁴ <http://www.automation-drive.com/panelview-plus-1000-resolution>

La Tabla 10 muestra una lista de los elementos que forman parte del nuevo Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A. Los elementos seleccionados poseen las características necesarias para ser utilizados en la migración.

ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA MIGRACIÓN		
ELEMENTO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Controlador Allen Bradley	1	ControlLogix 555
Módulo Entradas Digitales	1	32 entradas digitales - 24 VDC
Módulo Salidas Digitales	1	16 salidas digitales - 24 VDC
Módulo Entradas Analógicas	1	16 entradas analógicas - 4 a 20 mA
Módulo Salidas Analógicas	1	8 salidas analógicas - 4 a 20 mA
Módulo RTD	2	6 entradas aisladas RTD
Módulo Ethernet	2	Tarjeta de comunicación
Placa Base	1	Chasis 10 - Slot
Fuente de Alimentación	1	120 VAC
Panel View 1000	1	Pantalla táctil a color de 10'

Tabla 10. Elementos necesarios para el nuevo Sistema de Control

Finalizado el análisis de los elementos necesarios para implementar el nuevo Sistema de Control se entrega la lista definitiva al Coordinador del Departamento de Instrumentación para que sea aprobada y así realizar la compra de los elementos que no se disponen en la Bodega del SPF.

Como se menciona anteriormente se trata de utilizar la mayor cantidad de equipos disponibles tanto en el taller como en la bodega, ahorrando así la compra del chasis, la fuente de alimentación, el controlador, las tarjetas Ethernet, y los módulos de salidas digitales y entradas analógicas.

La Tabla 11 muestra la lista de materiales aprobados para su compra. En el caso de las entradas digitales se menciona que es necesario un solo módulo sin embargo se aprueba la compra de dos módulos con la finalidad de tener un módulo adicional disponible en bodega.

ELEMENTOS NECESARIOS PARA COMPRA		
ELEMENTO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN MÓDELO
Módulo Entradas Digitales	1	1756-IB32
Módulo Salidas Analógicas	1	1756-OF8
Módulo Entradas RTD	2	1756-IR6I
Panel View 1000	1	2711P-RDT10C

Tabla 11. Lista de materiales para compra

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para efectuar la migración del sistema de control del Compresor de Gas C-3121A es necesario conocer ahora el software que ha utilizado Universal Compression para el funcionamiento del compresor y así poder determinar el software necesario y la configuración a realizar en la migración del sistema.

Lo más importante es realizar el análisis de la programación utilizada para realizar el control en el Compresor de Gas C-3121A y conocer las condiciones existentes en la programación para su correcto funcionamiento.

4.1. Descripción del Software utilizado en el Sistema de Control a ser reemplazado

En el Sistema de Control a ser reemplazado se utiliza para la programación del controlador el software VersaPro (Figura 36), se revisa el programa y junto con los Anexos analizados en el capítulo anterior se realiza la lista definitiva de las señales de entrada y salida a ser utilizadas en la programación del nuevo controlador.

El software manejado por Universal Compression es un poco antiguo, en su programación se observa varios escalamientos y operaciones matemáticas para obtener los datos reales que se obtiene de los diferentes instrumentos de campo, lo que complica de cierta forma el análisis y estudio del mismo.

Para realizar la programación del nuevo controlador es muy importante conocer a profundidad las condiciones de funcionamiento así como su secuencia de arranque y operación del compresor, motivo por el cual la información obtenida del Compresor de Gas C-3121A es de suma importancia para el correcto desarrollo del proyecto. Sin embargo, la información recopilada resulta no ser suficiente y verídica, el Compresor de Gas fue implementado hace varios años y en el transcurso de este tiempo se han realizado varios cambios y modificaciones, muchos de los cuales no se encuentran documentados.

La verificación en campo de las señales de entrada/salida y en sí de todo el sistema de control permite determinar las verdaderas condiciones en la que se encuentra funcionando el compresor antes de realizar la migración.

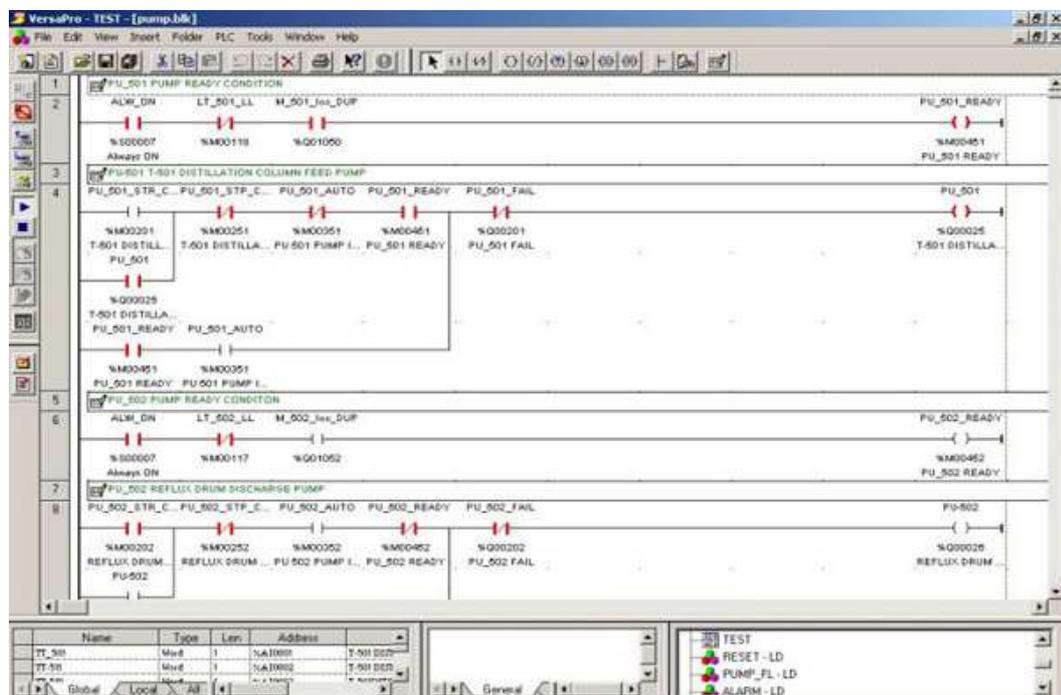


Figura 36. Interfaz gráfica VersaPro

El Terminal de Operador instalado por Universal Compression es un QuickPanel II el mismo que actualmente se encuentra fuera de servicio, por el ambiente brusco en el que trabaja su pantalla fue deteriorándose hasta que dejó de funcionar por completo, esta es una de las razones fundamentales por las que se decide realizar la migración ya que los operadores de Generación Gas no disponen de un terminal de operador que les facilite la adquisición de datos, de igual forma el terminal a ser reemplazado no les permite monitorear el estado del compresor así como operar el mismo, lo que resulta peligroso tanto para el personal como para el proceso.

No es necesario analizar el programa en el que se desarrollaron las pantallas para la interfaz pues se diseñan pantallas totalmente nuevas las cuales ofrecen más funciones y son mucho más útiles para los técnicos al momento de operar el Compresor. La Figura 37 muestra la pantalla principal que se podía observar en el terminal a ser reemplazado, en la misma se puede apreciar que el panel es un LCD monocromo y que el ambiente gráfico no es muy amigable para su operación.

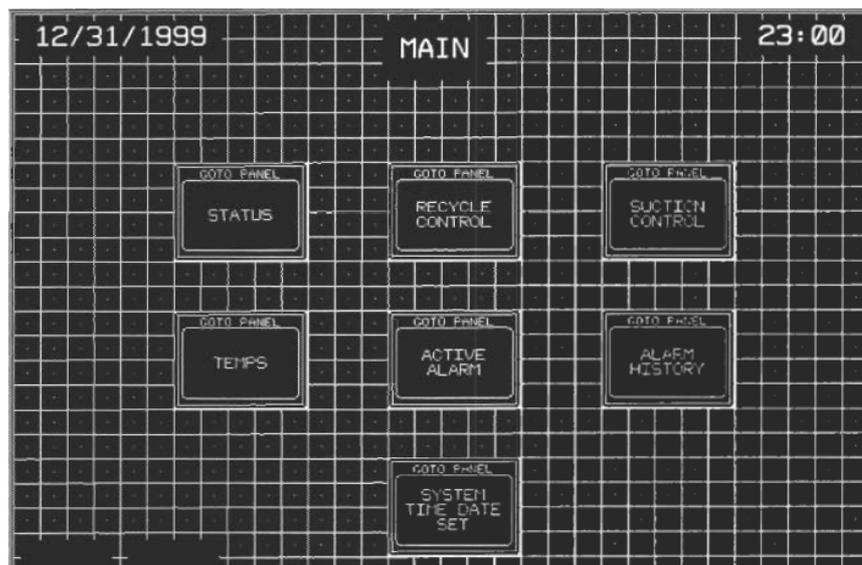


Figura 37. Pantalla principal HMI del Terminal QuickPanel⁵⁵

⁵⁵ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. UCO JOB#E00471 MANUAL.

El nuevo terminal de operador posee una pantalla a color lo que permite realizar una HMI mucho más acorde con lo que el personal del Departamento de Instrumentación y el personal de Generación Gas desea y necesita, se diseñan pantallas mucho más funcionales para monitoreo y operación del Compresor de Gas C-3121A, más adelante se indicarán las características y funciones de cada una de ellas.

4.2. Descripción del Software necesario para la Migración del Sistema de Control

Una vez analizado el software de sistema a ser reemplazado se describe el software que se va a utilizar en la migración del sistema de control, lo más importante es el software en el que se realiza la programación del nuevo controlador, de igual forma el software en el que se desarrolla el HMI para el Panel View 1000.

4.2.1. Software RSLogix 5000 ⁵⁶

Es un software muy útil para múltiples aplicaciones, con RSLogix 5000 sólo se necesita un paquete de software para la programación de control de movimiento, secuencial, de procesos y variadores.

El entorno RSLogix 5000 Enterprise Series ofrece una interfaz fácil de utilizar que posee programación simbólica con estructuras y matrices y un conjunto de instrucciones que sirve para muchos tipos de aplicaciones. Este entorno es común a todas las plataformas Logix de Rockwell Automation.

⁵⁶ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *logix_001_esp*.

Anteriormente, se necesitaban sistemas DCS o controladores de lazo individual para las aplicaciones de control de procesos y sistemas servo o variadores dedicados de las aplicaciones coordinadas de control de movimiento o variadores. El software RSLogix 5000 Enterprise Series y las plataformas Logix integran esa capacidad en un solo entorno.

Para RSLogix 5000 se dispone de editores flexibles de lógica de escalera de relé y de diagrama de bloques de funciones que permiten crear programas de aplicación con facilidad. Tanto en el editor de lógica de escalera como en el editor del diagrama de bloques de funciones se tiene una interfaz de programación intuitiva y fácil de utilizar. La interfaz de este software se muestra en la Figura 38.

El editor de lógica de escalera permite modificar varios renglones de lógica simultáneamente, las rutinas de bloques de funciones coexisten sin problemas con las rutinas de lógica de escalera en un mismo controlador, de modo que se puede elegir el lenguaje más apropiado para programar cada componente de la aplicación. También se pueden pasar parámetros entre rutinas del diagrama de bloques de funciones y de lógica de escalera.

Al descargar una aplicación en un controlador, el software RSLogix 5000 determina si el firmware del controlador es compatible. Si no lo es, el software le ayuda a buscar el firmware correcto y actualiza el controlador como parte del proceso de descarga.

El software RSLogix 5000 incluye instrucciones de diagrama de bloques de funciones y lógica de escalera de relé. Además de las instrucciones estándar, existen instrucciones específicas de la industria para aplicaciones de proceso, de variadores y de movimiento.

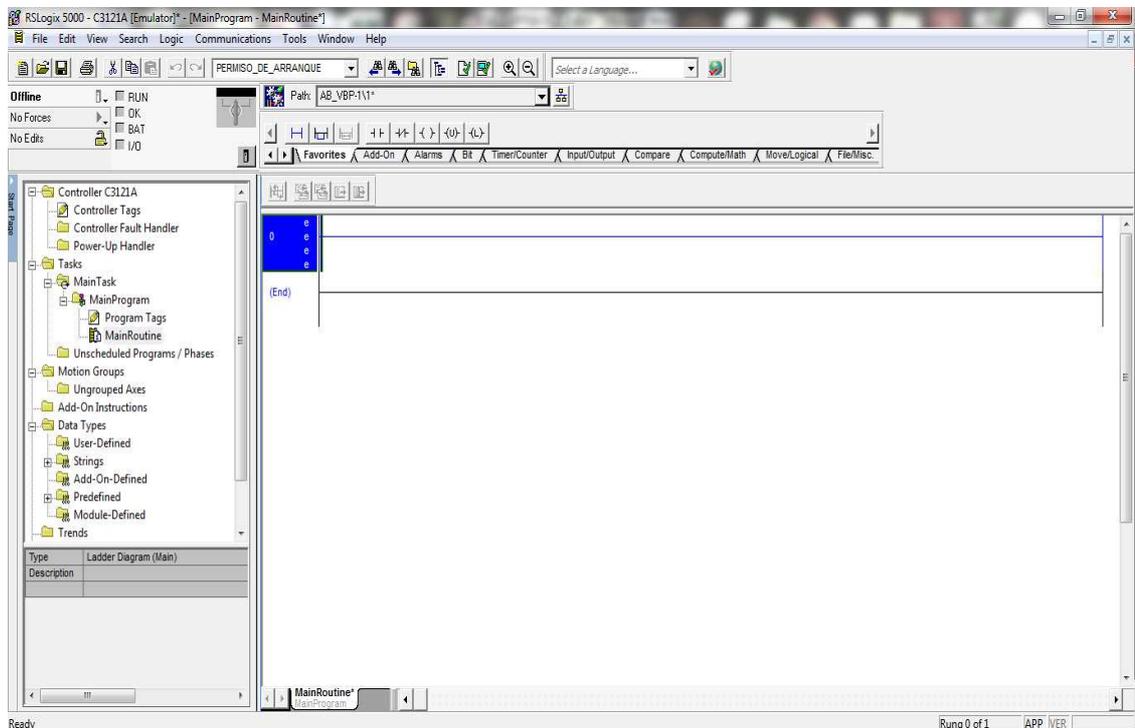


Figura 38. Interfaz gráfica Software RSLogix 5000

4.2.2. Software de comunicación RSLinx ⁵⁷

RSLinx Classic para redes y dispositivos de Rockwell Automation es una solución completa para comunicaciones industriales que puede utilizarse con los diferentes sistemas operativos de Microsoft Windows.

Permite que el controlador programable Allen-Bradley acceda a una amplia variedad de aplicaciones de Rockwell Software y Allen-Bradley. Entre estas aplicaciones se incluyen desde aplicaciones de configuración y programación tales como RSLogix y RSNetWorx hasta aplicaciones HMI (interfaz operador-máquina) como RSView32, hasta sus propias aplicaciones

⁵⁷ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *Inx-gr001_esp*.

de adquisición de datos mediante Microsoft Office, páginas Web o Visual Basic®.

RSLinx Classic está disponible en cinco versiones que satisfacen diversos requisitos en materia de costes y funciones. En función de la versión que ejecute, es posible que algunas funciones estén o no operativas.

La versión de RSLinx Classic que está ejecutando aparece en la barra de título en la parte superior de la ventana principal. Si se inicia una versión de RSLinx Classic sin los archivos de activación adecuados, se ejecuta como RSLinx Classic Lite. Para realizar el proyecto de la Migración del Sistema de Control se utiliza la versión RSLinx Classic Gateway, ver Figura 4.4. A continuación se describen algunas de sus principales características.

RSLinx Classic Gateway

RSLinx Classic Gateway conecta a los clientes en redes TCP/IP haciendo que las comunicaciones basadas en RSLinx Classic lleguen a cada rincón de la empresa.

Los productos de configuración y programación como RSLogix y RSNetWork utilizan RSLinx Classic Lite o superior con un controlador de dispositivos remotos vía Linx Gateway configurado para comunicarse con RSLinx Classic Gateway.

Además de ofrecer las mismas funciones que RSLinx Classic Professional, RSLinx Classic Gateway (Figura 39) proporciona conectividad remota con:

- Varios clientes RSView32 que acceden a datos por medio de un RSLinx Classic Gateway (conectividad OPC remota).

- Un equipo remoto que ejecuta RSLogix y se encuentra conectado a una red de la planta por medio de un módem para cambios de programa en línea.
- Aplicaciones Microsoft Office remotas que muestran datos de la planta como, por ejemplo, Excel.
- Una página Web que muestra datos de la planta cuando el servidor Web y RSLinx Classic se encuentran en equipos distintos.

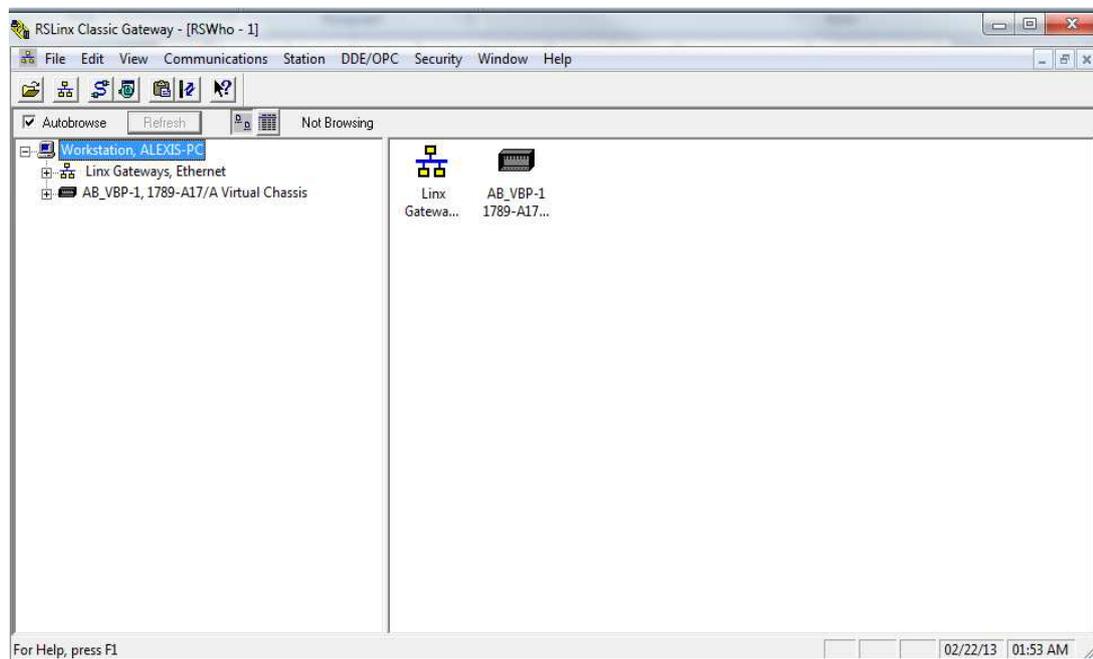


Figura 39. Interfaz gráfica Software RSLinx Classic Gateway

4.2.3. Software Factory Talk

“Factory Talk View Machine Edition (ME) es un producto HMI a nivel de máquina con soporte para soluciones de interfaz de operador tanto abiertas como dedicadas para la supervisión y el control de máquinas individuales o pequeños procesos”⁵⁸

⁵⁸ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *FactoryTalk_View_Studio.pdf*.

Este software fue creado por la empresa Rockwell Automation, el objetivo principal de utilizar este paquete en el diseño y creación del HMI para el Compresor de Gas C-3121A es que nos permite obtener los datos directamente de las máquinas o procesos.

Otra ventaja que obtenemos al utilizar este paquete es que ofrece una integración con la plataforma Control Logix Allen Bradley de Rockwell Automation, la misma que se utiliza en la migración de Compresor de Gas. Esta plataforma ha sido reconocida por la industria como el sistema de control multidisciplinar más versátil.

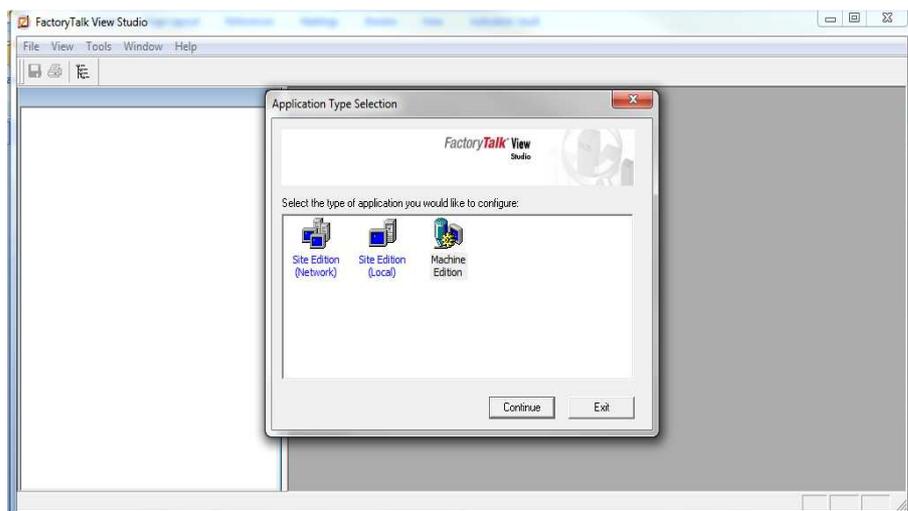


Figura 40. Interfaz gráfica Software FactoryTalk View Studio

La Figura 40 muestra la interfaz gráfica inicial del software Factory Talk, cuando se inicia el programa aparece un ventana en donde se muestran tres tipos de aplicación, para este caso se selecciona la opción Machine Edition, que es la aplicación donde se creará la HMI para el Compresor de Gas C-3121A.

FactoryTalk View Machine Edition consta de dos componentes⁵⁹:

⁵⁹ Documentación Técnica - Archivos Repositorio Repsol. *FactoryTalk_View_Studio.pdf*.

FactoryTalk View Studio: Este entorno de desarrollo contiene las herramientas necesarias para crear todos los aspectos de una interfaz hombre-máquina (HMI), incluidas las pantallas gráficas, tendencias, notificación de alarmas y animación en tiempo real. También ofrece herramientas para comprobar las distintas pantallas y aplicaciones completas. Una vez finalizado el desarrollo, podrá crear un archivo de ejecución (.MER) que se ejecutará en un PanelView Plus, PanelView Plus CE o un ordenador personal.

FactoryTalk View ME Station: éste es el entorno de ejecución. ME Station ejecuta su aplicación de ejecución (el archivo .MER). Station lleva integrados los terminales PanelView Plus y PanelView Plus CE. Las aplicaciones de ejecución también pueden ejecutarse en un ordenador personal. Se instala por defecto, pero necesita una activación adicional para que se ejecute de manera autónoma.

4.3. Información General para desarrollo del nuevo Software.

Una vez descrito el software a utilizar en la Migración del Compresor de Gas C-3121A, es necesario resaltar cierta información la cual es de suma importancia en este proyecto. Esta información ha sido definida luego de un estudio minucioso tanto de la información brindada por el Departamento de Instrumentación de Repsol así como de los diagramas, programas, y más información recopilada en el área de Generación Gas&Diesel.

Durante la primera etapa del proyecto se analiza toda la información obtenida, principalmente centrándose en los planos y diagramas del sistema así como en el programa desarrollado en el software VersaPro. Mediante el análisis y estudio del sistema de control realizado hasta este punto se obtiene la información necesaria para la programación del nuevo PLC así como para el diseño y elaboración de la HMI.

4.3.1. Señales de entrada y salida a ser utilizadas en el Sistema de Control

Como se menciona en el capítulo anterior las señales de entrada digital y analógica provienen de los diferentes instrumentos conectados en el compresor, dichas señales ya sean de entrada o salida son utilizadas para la programación del controlador. Existen instrumentos como transmisores de presión, RTD, válvulas de control, switch de nivel, etc. Se identifica cada uno de los elementos así como el módulo en donde se conecta cada señal de manera que al momento de realizar la migración no existan confusiones en la conexión de las mismas.

Con la verificación en campo realizada se determina cuáles son las señales definitivas que se utiliza en la programación del nuevo PLC. El Anexo O muestra los diagramas eléctricos de conexión para los nuevos módulos a ser implementados, en los mismos se indica que señales han sido eliminadas, y varias notas sobre la conexión de las mismas e información de los módulos que fueron reemplazados.

El Compresor de Gas C-3121A es un equipo considerado como crítico dentro de la planta SPF y sobre todo de Generación Gas&Diesel, motivo por el cual realizar la Migración del Sistema de Control es un proyecto muy delicado e importante y en esta etapa resulta indispensable tener totalmente claro el funcionamiento del mismo, conocer cada uno de los detalles sobre su operación y principalmente no dejar de lado ninguna de las señales que intervienen en el proceso.

La Tabla 12 muestra la lista de las entradas digitales a ser utilizadas en la programación del nuevo PLC, varias señales que se muestran en el Anexo B han sido eliminadas y no son utilizadas dentro de la lógica de control ya que no se encontraban conectadas en los módulos General Electric y no son importantes ni necesarias en la migración del controlador.

ENTRADAS DIGITALES		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
IN-0	PB-1	Pulsador Start
IN-1	PB-2	Pulsador Stop
IN-2	PB-3	Pulsador E-Stop
IN-3	HS-2	Modo Manual
IN-4	HS-2	Modo Automático
IN-5	GDS	Gas Shutdown
IN-6	RST	Start Remoto
IN-7	RSP	Stop Remoto
IN-8	REM-ESR	E-Stop Remoto
IN-9	CSR	Motor encendido
IN-10	PSR	Bomba pre-lubr. encendida
IN-11	CFR	Aeroenfriador encendido
IN-12	VSHH-1012	Vibración Motor
IN-13	FSL-151-A	Compresor "A" sin flujo
IN-14	LSLL-1574	Bajo nivel de aceite
IN-15	LSHH-7402	Alto nivel scrubber 1
IN-16	LSHH-7452	Alto nivel scrubber 2
IN-17	LSHH-7703	Alto nivel filtro
IN-18	VSHH-1510	Vibracion compresor
IN-19	LSHH-7704	Alto nivel Coalescente
IN-20	FSL-1501B	Compresor "B" sin flujo
IN-21	VSHH-1410	Vibración aeroenfriador
IN-22	DPSH-7725	Diferencial de presión alta
IN-23	PSS	Process Shutdown
IN-24	ZSO-2026	Válvula succion abierta
IN-25	ZSC-2026	Válvula succion cerrada
IN-26	ZSO-2025	Válvula bypass abierta
IN-27	ZSC-2025	Válvula bypass cerrada
IN-28	ZSO-2024	Válvula blowdown abierta
IN-29	ZSC-2024	Válvula blowdown cerrada
IN-30	ZSO-2030	Válvula descarga abierta
IN-31	ZSC-2030	Válvula descarga cerrada

Tabla 12. Señales de Entrada Digital (Slot 1)

En la Tabla 13 se puede observar la lista de señales de salida digital, como se puede observar todas las salidas digitales energizan un relé para activar los diferentes equipos que forman parte del compresor.

SALIDAS DIGITALES		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
OUT-0	PR1	Relé bomba pre-lub.
OUT-1	CR1	Relé aerofriador
OUT-2	ESR	Relé Emergency Stop
OUT-3	FR	Relé falla compresor
OUT-4	AR	Relé alarma compresor
OUT-5	SVR	Relé válvula succión
OUT-6	BVR	Relé válvula bypass
OUT-7	BDR	Relé válvula blowdown
OUT-8	DVR	Relé válvula descarga
OUT-9	RST	Relé start remoto
OUT-10	RSP	Relé stop remoto
OUT-11	RSI	Relé indicador status

Tabla 13. Señales de Salida Digital (Slot 2)

La Tabla 14 muestra las señales de entrada analógica, en este caso dichas señales se obtienen de los diferentes transmisores de presión instalados en el Compresor de Gas C-3121A.

ENTRADAS ANALOGICAS		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
IN-0	PT-1572	Presion aceite
IN-1	PT-2100	Presion succion scrubber 1
IN-2	PT-2102	Presion Succion scrubber 2
IN-3	PT-2105	Presion descarga skid
IN-4	ZT-2032	Posicion valvula (PCV-2032)
IN-5	PT-2101	Presion descarga 1ra etapa
IN-6	PT-2103	Presion descarga 2da etapa

Tabla 14. Señales de Entrada Analógica (Slot 3)

La Tabla 15 nos indica las señales de salida digital, a diferencia de las señales obtenidas del diagrama eléctrico del Anexo F podemos observar que

se ha añadido una señal perteneciente a una válvula de venteo, esta es una válvula controladora de presión que ayuda a mantener la presión en el scrubber 1 en el set previamente establecido.

SALIDAS ANALOGICAS		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
OUT-0	PY-2032	Válvula Recirculación
OUT-2	PV-103	Válvula Venteo

Tabla 15. Señales de Salida Analógica (Slot 4)

La Tabla 16 y 17 muestra las señales de entrada RTD las mismas que provienen de los sensores de temperatura. Cada módulo posee 6 canales de entrada, en el compresor de gas se encuentran instalados un total de ocho sensores por lo que se necesita de dos módulos, las tablas muestran que señales se conectan a cada uno de ellos.

ENTRADAS RTD		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
IN-0	TE-2054	Temperatura descarga 1ra etapa
IN-1	TE-2062	Temperatura descarga 2da etapa
IN-2	TE-1576	Temperatura aceite
IN-3	TE-2123	Temperatura succion scrubber 2
IN-4	TE-2050	Temperatura succion scrubber 1
IN-5	TE-2070	Temperatura descarga skid

Tabla 16. Señales de Entrada RTD (Slot 5)

ENTRADAS RTD		
CANAL	TAG	DESCRIPCION
IN-0	TE-1511A	Temperatura cojinete A
IN-1	TE-1511B	Temperatura cojinete B

Tabla 17. Señales de Entrada RTD (Slot 7)

4.3.2. Secuencia de Arranque

Uno de los puntos fundamentales en la Migración del Compresor de Gas C-3121A es conocer y tener claro el funcionamiento y secuencia de arranque del mismo, para realizar la programación del nuevo controlador en el software RSLogix 5000 se debe tener definida la lógica de control y las rutinas a ser programadas.

Cuando el compresor se encuentra listo para ser arrancado el operador presionará el botón de Start en el Panel Local e inicia la secuencia de arranque. Para conocer a breve modo la secuencia de arranque del compresor se dialoga con los operadores de mayor experiencia del área de Generación a Gas, dicha secuencia es verificada mediante el análisis del programa y aprobada por el Coordinador del Departamento de Generación Gas&Diesel. A continuación se detalla la secuencia desde que el compresor arranca hasta que se encuentra en funcionamiento.

- ✓ Cerrando Válvula Bypass
- ✓ Abriendo Válvula Succión
- ✓ Purgando Aire del Sistema
- ✓ Cerrando Válvula de Blowdown
- ✓ Abriendo Válvula de Bypass
- ✓ Arrancando Bomba de Pre lubricación
- ✓ Bomba de Pre lubricación funcionando
- ✓ Verificando Presiones
- ✓ Arrancando Motor Principal

- ✓ Arrancando Aeroenfriador
- ✓ Esperando Fin de Pre lubricación
- ✓ Parando Bomba de Pre lubricación
- ✓ Abriendo Válvula de Descarga
- ✓ Cerrando Válvula de Bypass
- ✓ Compresor Funcionando

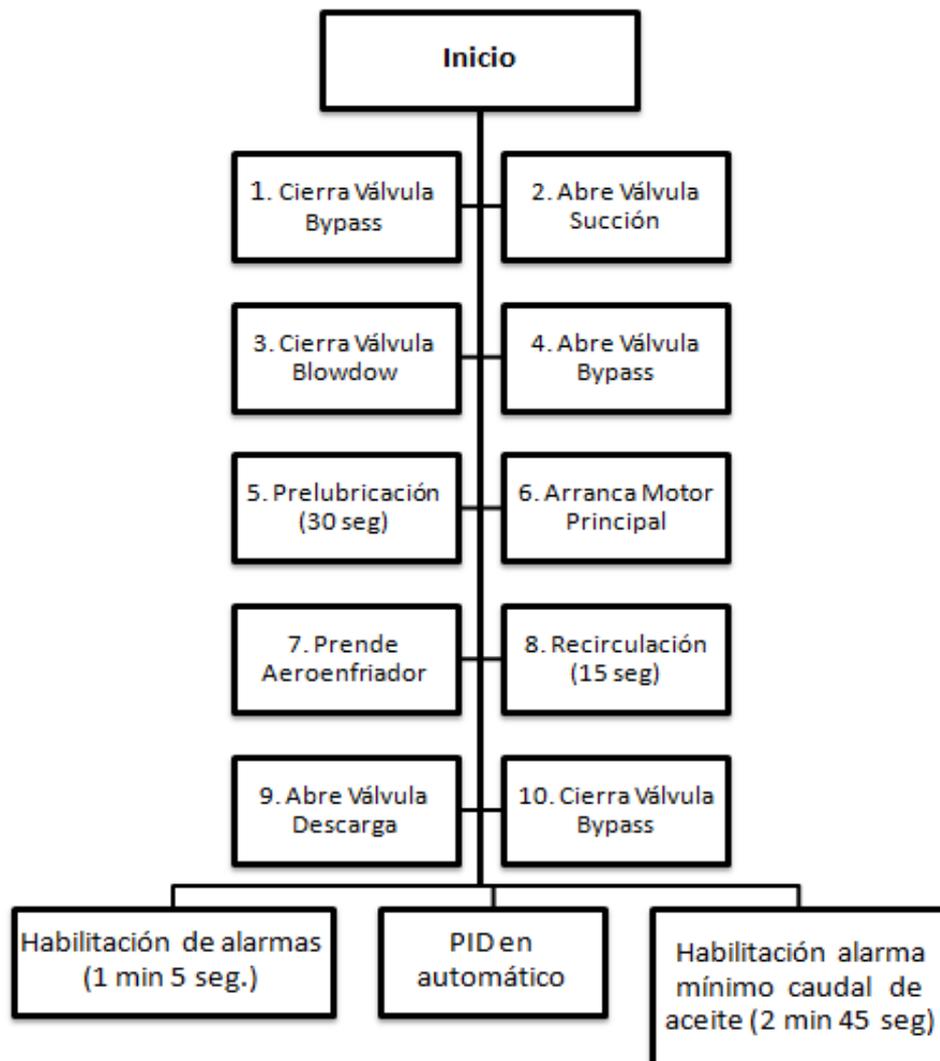


Figura 41. Resumen Secuencia de Arranque

La Figura 41 muestra la secuencia de arranque del Compresor de Gas C-3121A, en donde se puede observar también los tiempos que se dan en cada una de las etapas de arranque, por ejemplo se indica que una vez que ha sido abierta la válvula de bypass, la bomba de pre-lubricación debe permanecer 30 segundos en funcionamiento antes de ser apagada.

4.3.3. Set de Alarma y Shutdown para el Compresor de Gas

En todo proceso dentro de una industria existen valores establecidos en los cuales se presenta una alarma, así como valores los cuales obligan a que se dé un shutdown del equipo.

A continuación se especifican los valores de alarma y shutdown tanto de presión como de temperatura del Compresor de Gas C-3121A. Los valores de set point de los instrumentos de campo instalados se especifican en los diagramas P&ID, sin embargo durante el tiempo de funcionamiento del compresor estos valores han sido modificados por varias razones, los valores utilizados para la programación del nuevo controlador son proporcionados por el Coordinador del Departamento de Generación Gas&Diesel. La Tabla 18 muestra los valores de presión en los que el Compresor de Gas C-3121A presenta alarmas, de igual manera se indican los valores en los que se presenta un shutdown del equipo.

TAG	DESCRIPCION	MUY BAJA	BAJA	ALTA	MUY ALTA
PT-1572	Presión Aceite Compresor	30	35	–	–
PT-2100	Presión Succión Scrubber 1	55	65	110	120
PT-2102	Presión Succión Scrubber 2	135	145	220	230
PT-2101	Presión Descarga 1ra Etapa	135	145	220	230
PT-2103	Presión Descarga 2da Etapa	200	225	400	410
PT-2105	Presión Descarga Skid	200	225	–	–

Tabla 18. Valores de alarma y shutdown de Presión

De igual forma la Tabla 19 muestra los valores de temperatura para que se presente una alarma o shutdown del Compresor de Gas C-3121A.

TAG	DESCRIPCION	MUY BAJA	BAJA	ALTA	MUY ALTA
TE-1576	Temperatura Aceite Compresor	–	–	180	190
TE-2050	Temperatura Succion Scrubber 1	–	–	150	160
TE-2123	Temperatura Succion Scrubber 2	–	–	150	160
TE-2054	Temperatura Descarga 1ra Etapa	–	–	290	300
TE-2062	Temperatura Descarga 2da Etapa	–	–	290	300
TE-2070	Temperatura Gas Filtro	–	–	250	260
TE-1511A	Temperatura Cojinete A	–	–	210	220
TE-1511B	Temperatura Cojinete B	–	–	210	220

Tabla 19. Valores de alarma y shutdown de Temperatura

Los valores de alarma y shutdown han sido ya definidos, sin embargo para la programación de los mismos es necesario conocer en qué momento y bajo qué condiciones van a ser activados.

A continuación se presentan los puntos más importantes a tener en cuenta durante la programación de estos valores de alarma y shutdown:

- Las alarmas y shutdowns de presión de descarga del scrubber 1 y succión del scrubber 2 están habilitadas desde que el compresor está arrancado y un temporizador de 80 segundos haya finalizado.

- Las alarmas y shutdowns de presión de aceite en el compresor están habilitadas 15 segundos después de que el compresor haya arrancado.
- Las alarmas y shutdown de presión de descarga de la segunda etapa son temporizadas, la alarma se activa si la presión es mayor a 400 PSI por tres segundos, y el shutdown se activa si la presión es mayor a 410 PSI por más de 5 segundos.
- El shutdown por bajo caudal de aceite en el compresor se activa a los 3 minutos de arrancado el compresor.

4.3.4. Matriz Causa - Efecto

Para la programación de un equipo o proceso es siempre recomendable realizar una matriz Causa - Efecto, en esta matriz se determinan las variables de entrada y salida que intervienen en el Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A y la relación que existe entre ellas.

En el Anexo O se puede observar la matriz realizada, en esta se indica la descripción de los instrumentos instalados y las unidades en que trabaja cada uno de ellos, también se indica los valores de alarma y shutdown. El objetivo principal de esta matriz es enseñar cuando se presenta determinadas acciones en el compresor dependiendo el cumplimiento de ciertas condiciones, por ejemplo indicar en qué casos se apaga el motor principal o cuando se da la apertura y cierre de cada válvula.

4.4. Elaboración programa en RSLogix 5000

Luego de terminada la primera etapa el siguiente paso es realizar la programación para el nuevo controlador, toda la información antes

presentada es aprobada por el Coordinador del Departamento de Instrumentación y el Coordinador del Departamento de Generación Gas.

Tener claro el funcionamiento del compresor y conocer todas las condiciones necesarias para su operación nos ayuda a desarrollar de mejor manera la programación. Es de gran ayuda también la lista de señales de entrada y salida analógica y digital que se realizó en la primera etapa para no tener confusiones al momento de utilizarlas dentro de las rutinas de programación.

Como se indicó anteriormente el programa se lo realiza en el software RSLogix 5000. Se tiene un controlador ControlLogix 5555 (1756-L55) y las versiones de firmware recomendadas para este tipo de controlador es de la versión 13.32 a la versión 16.04 por lo que se elige utilizar la versión 16.02 de RSLogix 5000.

4.4.1. Tipos de Lenguaje de Programación

Existen varios tipos de lenguajes de programación, como el “Instruction list” este es el más antiguo de los lenguajes de programación de PLC y es la representación en forma de texto del lenguaje gráfico “Ladder”. Se tiene el lenguaje “Ladder” o comúnmente conocido como lenguaje en escalera, es el lenguaje de programación gráfico más popular. Otro lenguaje es el “Function block diagram” o diagrama de bloques, también muy utilizado para la programación de un PLC, describe la relación que existe entre las variables en un conjunto de bloques los mismos que están conectados por líneas de conexión. Por último se tiene el “Structured text” o texto estructurado, es un lenguaje de alto nivel, que es estructurado en bloques.

Para la programación del controlador Logix 5555 se utiliza un lenguaje tipo “Ladder” principalmente por el conocimiento previo que se tiene sobre este tipo de lenguaje de programación lo que facilita el correcto desarrollo

del trabajo. También se elige este tipo de lenguaje ya que en su mayoría los controladores Allen Bradley que se encuentran instalados en el Bloque 16 utilizan este tipo de lenguaje para su programación.

La información obtenida hasta este momento se refleja en la elaboración del programa, pues la lista de señales de entrada/salida, la matriz causa - efecto, las condiciones de alarma y shutdown, los sets de las variables, y todas las consideraciones generales antes mencionadas deben ser tomadas en cuenta al momento de la programación del nuevo controlador.

4.4.2. Creación nuevo proyecto

Al iniciar el software RSLogix 5000 se escoge la opción de “New Project” y se crea un nuevo proyecto, aparece una ventana en donde se tiene que escoger el tipo de controlador, la revisión, el tipo de chasis y darle el nombre que se desee en este caso lo llamaremos C3121A.

Para la elaboración y configuración de un nuevo proyecto es necesario tener un claro conocimiento de los elementos que se van a utilizar es por eso que se ejecuta previamente un levantamiento de información antes de comenzar a realizar la programación del controlador o cualquier otra actividad.

Al momento en el que se configura los parámetros del proyecto es muy importante escoger correctamente la revisión del controlador de manera contraria no se puede realizar la descarga del programa. La Figura 42 muestra la ventana donde se configuran los parámetros de un nuevo proyecto.

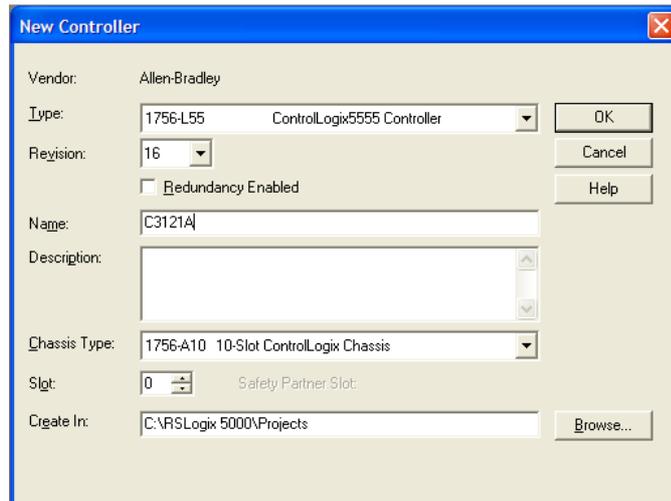


Figura 42. Ventana para la creación de un nuevo proyecto

Y en la Figura 43 podemos observar la interfaz gráfica que presenta el software RSLogix 5000, luego de configurar los parámetros antes indicados.

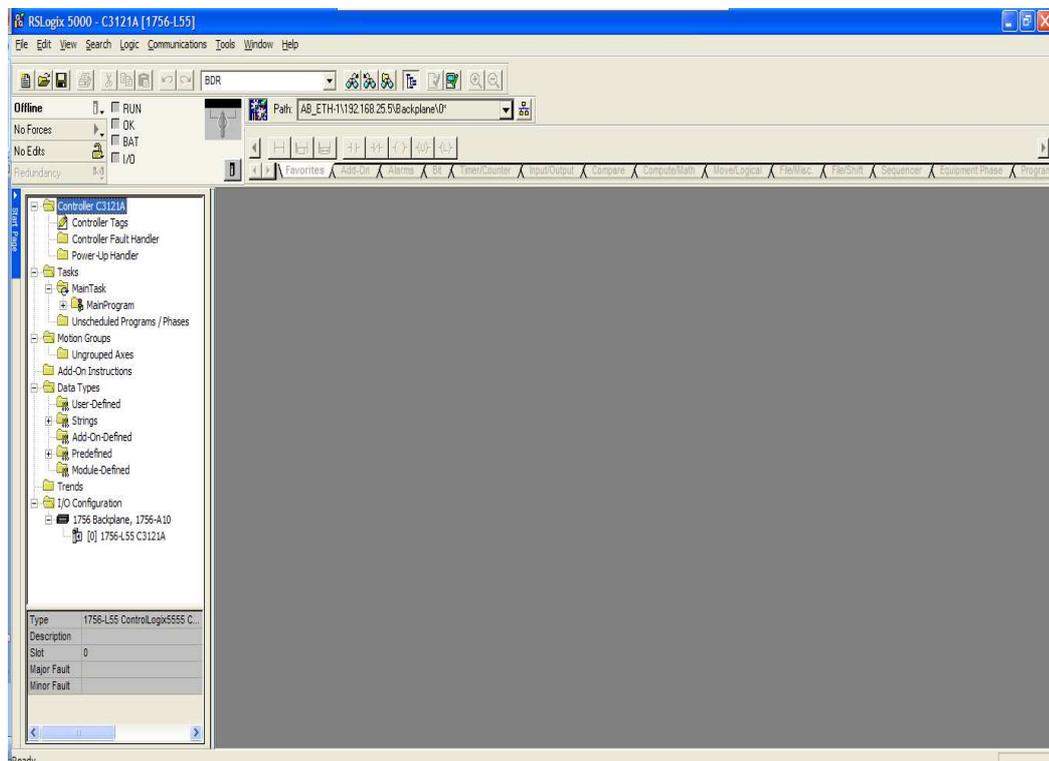


Figura 43. Interfaz gráfica software RSLogix 5000

4.4.3. Configuración módulos de entrada/salida

Al tener creado un nuevo proyecto con su respectivo controlador a continuación se debe añadir al backplane los módulos de entrada/salida con los que se va a trabajar, así como los módulos Ethernet necesarios para realizar la comunicación con la PC y con el Panel View 1000.

Al añadir un nuevo módulo se tiene que definir el tipo, es decir si es analógico, digital o de comunicación. De la misma forma en cada módulo se tiene que escoger el slot en el que se encuentra, la revisión, y un nombre para el módulo, estas propiedades son modificables una vez que el módulo ha sido añadido.

La Figura 44 muestra los módulos de entrada, salida y comunicación que han sido agregados en el backplane, podemos observar que el controlador ControlLogix 5555 (1756-L55) se encuentra en el Slot 0.

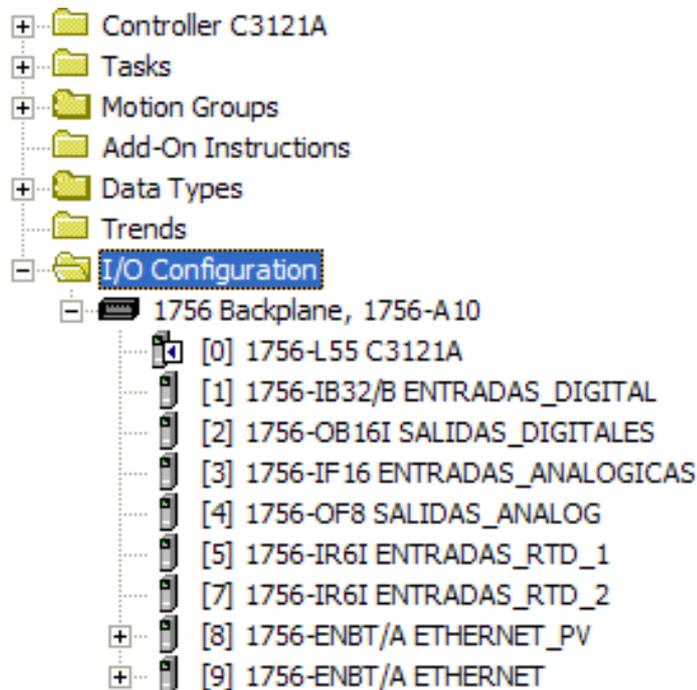


Figura 44. Módulos agregados en el Backplane.

En la Tabla 20 se especifica el slot en el que se conectará cada uno de los módulos agregados en el Blackplane, es decir, el lugar que ocupará cada módulo en el chasis de 10 slot a ser instalado en el Panel Local del Compresor de Gas.

Nº SLOT	DESCRIPCIÓN
0	Controlador
1	Módulo de Entradas Digitales
2	Módulo de Salidas Digitales
3	Módulo de Entradas Analógicas
4	Módulo de Salidas Analógicas
5	Módulo de Entradas RTD
7	Módulo de Entradas RTD
8	Módulo de Comunicación Ethernet
9	Módulo de Comunicación Ethernet

Tabla 20. Distribución de Módulos de Entrada y Salida

4.5. Estructura y descripción del Programa

El software RSLogix 5000 permite tener varios programas y estos a su vez pueden contener varios sub programas conocidos generalmente como “sub rutinas”. Para el proyecto C3121A se tiene un solo programa “MainProgram” el cual contiene varias subrutinas y una rutina principal “MainRoutine”.

El programa realizado para el controlador ControlLogix 1756-L55 cuenta con varias subrutinas, en la Figura 45 se puede observar todas las rutinas creadas para este proyecto.

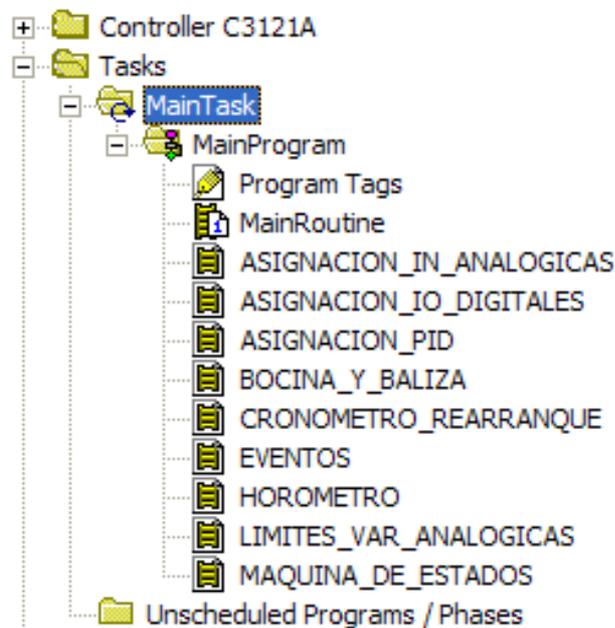


Figura 45, Rutinas del Programa C3121A

Luego de haber añadido los módulos requeridos para el proyecto de la migración y de tener creadas las rutinas se empieza con la programación del controlador. Cada programa tiene sus propias variables y estas se encuentran disponibles para todos los sub programas de ser el caso. Para la creación de las variables se debe escoger un nombre y especificar el tipo de variable.

A continuación se describe de manera general la programación realizada en cada una de las rutinas. El programa completo se encuentra en el Anexo Q.

4.5.1. Rutina Principal (MainRoutine)

El programa cuenta con una rutina principal, dentro de esta rutina el controlador llama de forma constante y secuencial a todas las subrutinas creadas. En la Figura 46 se puede observar el orden en el que se llama a todas las subrutinas del programa.

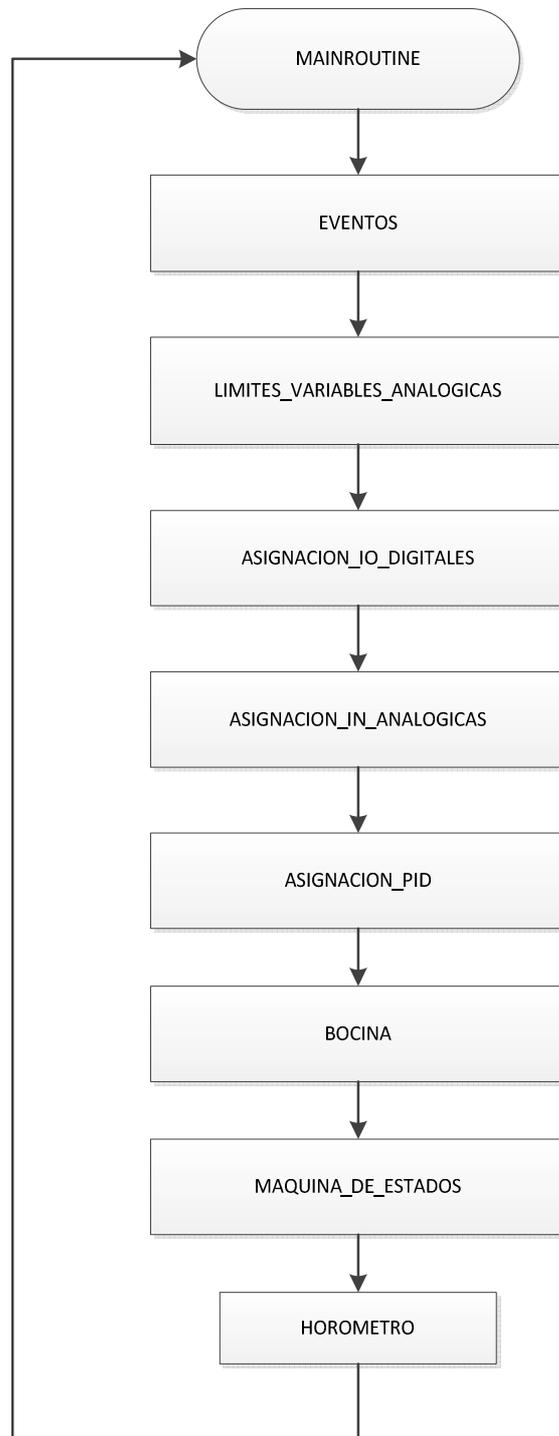


Figura 46. Diagrama de flujo Rutina Principal (MainRoutine)

Para llamar a una subrutina se debe utilizar la instrucción JSR (Jump To Subroutine), como se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Ejemplos instrucción JSR (Jump to Subrutina)

4.5.2. Subrutina EVENTOS

En la subrutina eventos se programa las alarmas de las señales de entradas analógicas mediante la instrucción ALMA (Figura 4.13) propia del software RSLogix 5000. Esta instrucción detecta alarmas según el cambio de un valor.

Las variables de presión y temperatura son usadas como entradas de dicha instrucción, se configuran los límites de entrada en los que se presenta la alarma y varios parámetros propios de la instrucción.

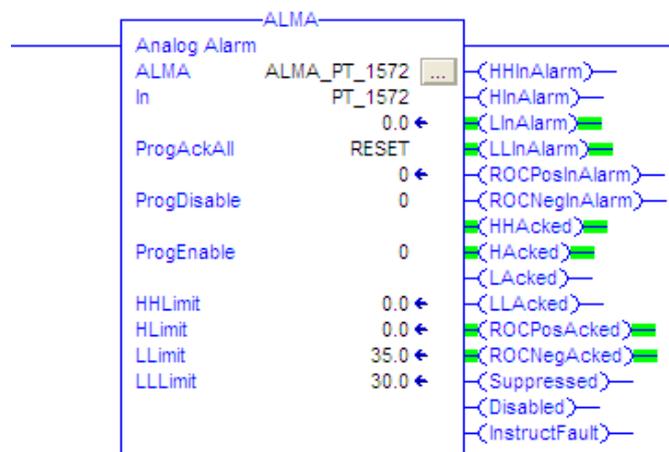


Figura 48. Instrucción ALMA para la entrada Presión de aceite (PT_1572)

Además de la programación de los eventos relacionados con las señales analógicas, se programa las alarmas y shutdown de todas las señales de entrada digital. El shutdown se activa mediante los contactos asociados a la señal de entrada y un TIMER, el tiempo de espera se define dependiendo de las condiciones e importancia de cada variable.

Por ejemplo, en la Figura 49 podemos observar que se coloca un contacto normalmente abierto asociado a la bobina auxiliar interna de LSHH_7402 programada en la subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES, este contacto activa un TIMER de 5 segundos. Cuando las dos condiciones se cumplen se da un shutdown del Compresor de Gas por máximo nivel en el scrubber 1.

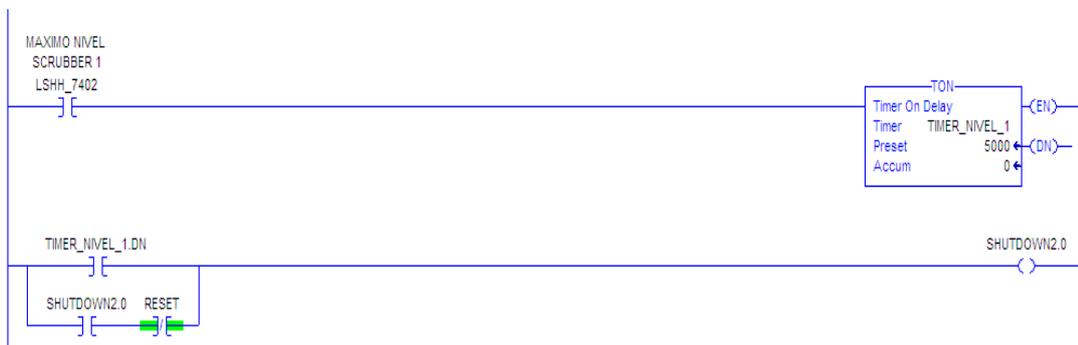


Figura 49. Programación de shutdown para Máximo Nivel Scrubber 1

En la Figura 50 se describe mediante un diagrama de flujo la subrutina EVENTOS, donde se indica que el primer paso es programar y configurar la instrucción ALMA antes descrita, para todas las variables de presión y temperatura.

A continuación, la subrutina verifica si existe presencia de alarmas o condiciones de shutdown provenientes de señales digitales, dentro de la misma una bobina auxiliar interna llamada FALLAS_CRITICAS se activa

cada vez que se existen condiciones de shutdown, y una bobina llamada FALLAS_NO_CRITICAS cuando existen condiciones de alarma.

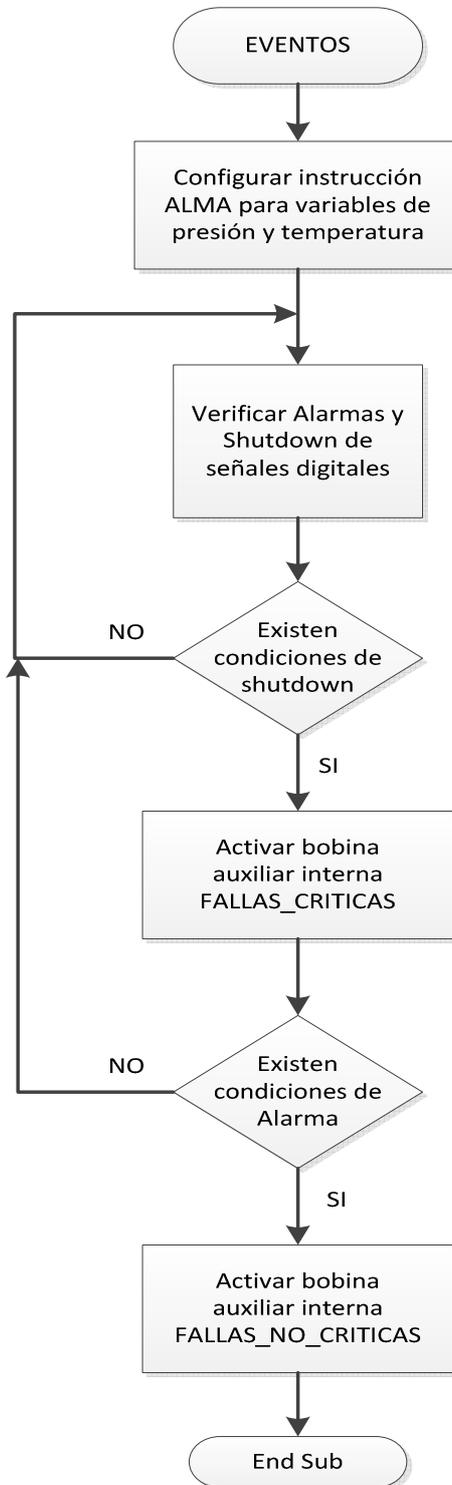


Figura 50. Diagrama de Flujo subrutina EVENTOS

4.5.3. Subrutina LIMITES_VAR_ANALOGICAS

En esta subrutina se programan las alarmas y shutdown por activación de un parámetro de la instrucción ALMA, además de estar activo este parámetro deben cumplirse ciertas condiciones para darse un shutdown del compresor.

Los límites de las variables analógicas son reconocidos una vez que se ha cumplido un tiempo determinado luego de que el compresor se encuentra en funcionamiento. Este tiempo de espera es de 80 segundos. Cuando el parámetro activo indica nivel alto o nivel bajo de una variable se presenta una alarma, por el contrario un nivel alto alto o un nivel bajo bajo son condiciones de shutdown del compresor. En la Figura 51 se presenta un diagrama de flujo que describe la subrutina LIMITES_VAR_ANALOGICAS.

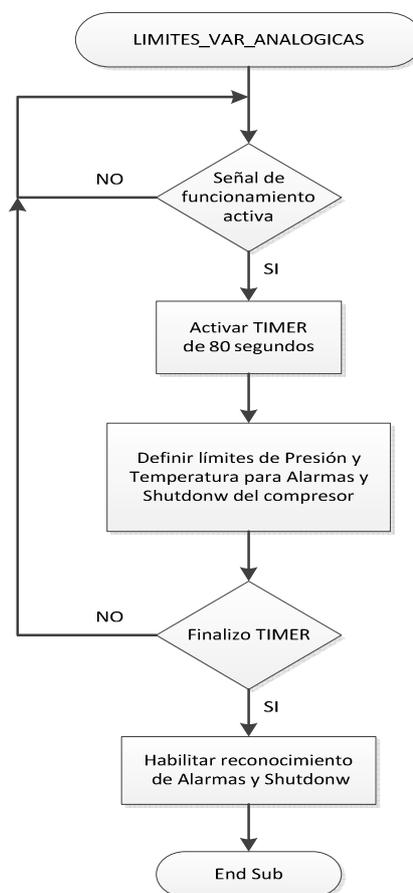


Figura 51. Diagrama de Flujo subrutina LIMITES_VAR_ANALOGICAS
4.5.4. Subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES

En la siguiente subrutina se programa la asignación de entradas y salidas digitales tomando como referencia la lista de la Tabla 10 Para la programación de esta subrutina es muy importante tomar en cuenta el estado en el que se encuentran los contactos de la instrumentación de campo.

Como se puede observar en la Figura 52 para la asignación de entradas digitales, se coloca la dirección de entrada en un contacto, por ejemplo **Local:1:I.Data.0**. Esta dirección corresponde a la entrada número 0 del SLOT 1, para mayor comodidad se conecta a una bobina auxiliar interna, el nombre de la bobina corresponde al TAG de la lista de entradas digitales de la Tabla 12. Así cuando se desea utilizar esta entrada en cualquier parte del programa se coloca un contacto de la bobina auxiliar mencionada.

Programar de esta manera permite colocar contactos asociados a la bobina, pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, dependiendo de cómo se encuentran conectados en campo. Por ejemplo, en la Figura 52 vemos que el contacto correspondiente a la señal de arranque desde el panel, se encuentra normalmente abierto como en campo. Por otro lado el contacto asociado al pulsador de parada se encuentra normalmente cerrado. Esta configuración no se altera ya que en el programa solo se utiliza su bobina auxiliar.



Figura 52. Subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES

Así mismo, al crear la nueva variable PB_1 se debe definir el tipo de dato, como es una bobina es de tipo booleano. La Figura 53 muestra las propiedades de la variable creada.

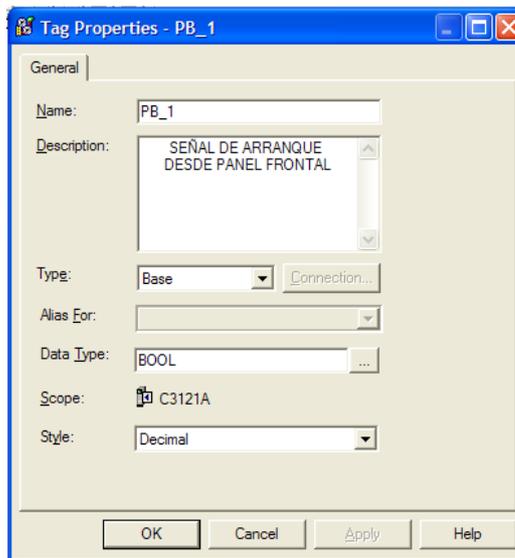


Figura 53. Propiedades de la variable PB_1

A continuación, en la Figura 54 se presenta un diagrama de flujo correspondiente a la subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES

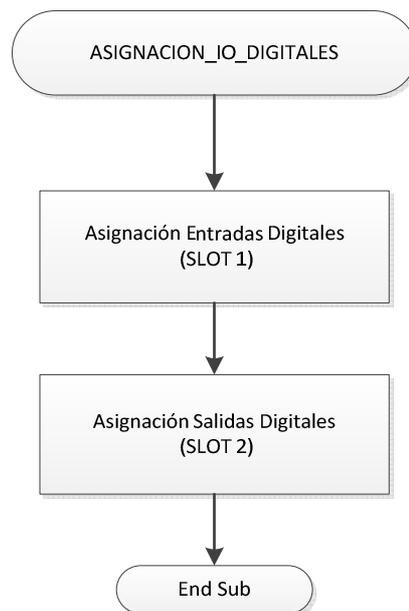


Figura 54. Diagrama de Flujo subrutina ASIGNACION_IO_DIGITALES

4.5.5. Subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS

En esta subrutina se programa la asignación de las entradas analógicas tanto de presión como de temperatura. La asignación se la realiza en base a la lista de entradas analógicas presentadas en el punto 4.3.1.

Para mayor facilidad se las programa en el mismo orden de la lista obtenida, se selecciona el canal de donde se obtiene la señal de campo y se la asigna a un TAG previamente definido. El mismo procedimiento se realiza para todas las señales de entrada analógica.

En el Anexo P se presenta los diagramas eléctricos para los diferentes módulos de entrada/salida a ser instalados en el Compresor de Gas C-3121A. Para observar las entradas analógicas configuradas se puede consultar la Hoja 4 del mismo Anexo.

La Figura 55 muestra la asignación de algunas entradas analógicas de presión, como se muestra en la figura la primera entrada analógica es la presión de aceite del compresor, se selecciona la dirección a la que pertenece dicha entrada, en este caso la dirección es **Local 3:I.Ch0Data**.

Local 3 hace referencia al SLOT 3, la letra *I* significa entrada y *Ch0Data* nos dice que se encuentra en el canal 0. Por facilidad de programación se asigna la entrada a una nueva variable con la finalidad de acceder a esta desde cualquier parte de la programación. Además, agrupar todas las entradas analógicas en una sola subrutina permite realizar modificaciones de los canales o los nombres de las variables sin que esto afecte al programa en general, es decir, si se necesitara modificar, cambiar o reemplazar alguna entrada esto se lo realiza solamente en esta subrutina.

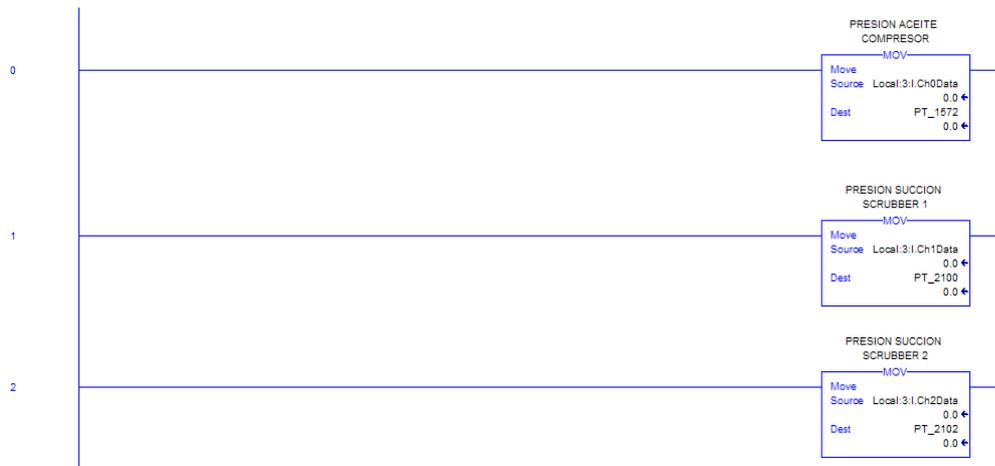


Figura 55. Subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS

De la misma manera, la definición de las variables se basa en los nombres de las señales de la Hoja 4 del Anexo P, para la primera entrada el nombre de la variable es PT_1572, se elige el tipo de dato para este caso *REAL*. En la Figura 56 se muestra la ventana de configuración de una nueva variable. Este proceso se realiza para la creación de todas las variables del proyecto.

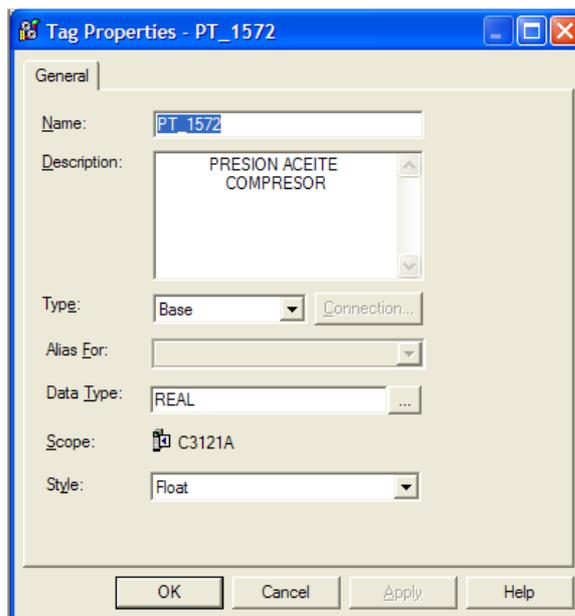


Figura 56. Propiedades de la variable PT_1572

A continuación, en la Figura 57 se puede observar el diagrama de flujo de correspondiente a la subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS.

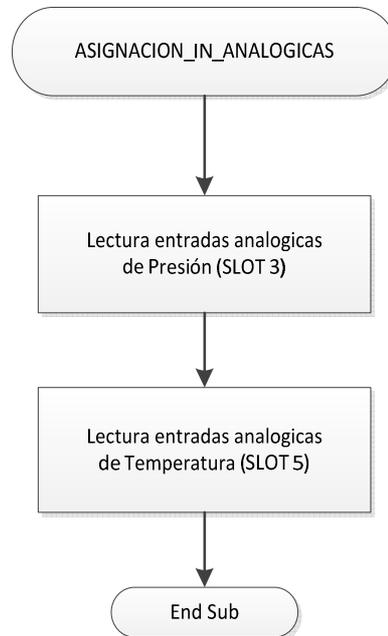


Figura 57. Diagrama de flujo subrutina ASIGNACION_IN_ANALOGICAS

4.5.6. Subrutina ASIGNACION_PID

En el Compresor de Gas C-3121A se encuentran instaladas dos PCV (Válvula controladora de presión), la primera PCV para el control de presión de succión en el scrubber 1 y otra para controlar la presión de descarga final.

Para una correcta operabilidad de las PCV se programan los bloques PID, los parámetros que contienen estos bloques son asignados en esta subrutina, a pesar que los valores de los parámetros están establecidos por el Departamento de Generación Gas&Diesel es necesario en la programación poder manipular estos valores ya que luego de realizar las pruebas finales se debe sintonizar los lazos de control y para esto es necesario modificar dichos parámetros hasta que el compresor alcance un funcionamiento estable.

En esta subrutina se mueve una variable a un parámetro específico del bloque PID como se muestra en la Figura 58, esto se realiza con el fin de poder manipular este parámetro con mayor facilidad, de igual forma permite modificar dichos datos enviando valores desde la HMI.



Figura 58. Subrutina ASIGNACION_PID

La Figura 59 muestra el diagrama de flujo de esta subrutina.

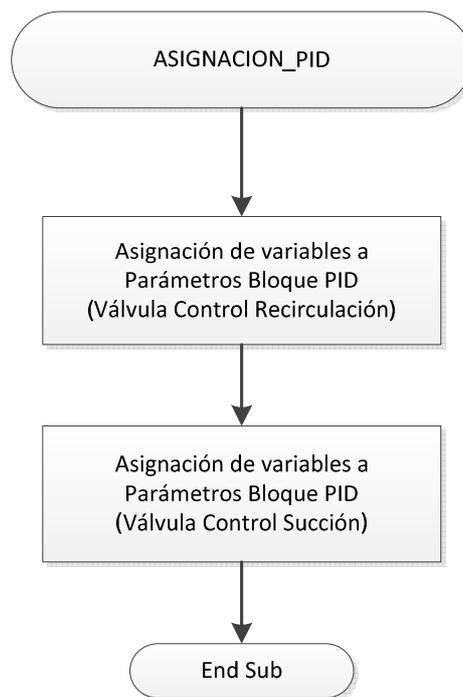


Figura 59. Diagrama de Flujo subrutina ASIGANCION_PID

4.5.7. Subrutina BOCINA

Con la programación realizada en esta subrutina se establece que cada vez que se presente una falla crítica o una falla no crítica se active la bocina de alarma. Cuando el Compresor de Gas presente una falla de cualquier tipo dentro de la programación una bobina auxiliar interna se activa, haciendo que mediante una salida digital un relé encienda una luz estroboscópica ubicada en el Control Room principal de Generación Gas&Diesel indicando que un presentó un evento inusual en el compresor.

En la Figura 60 se puede observar el diagrama de flujo que indica esta parte de la programación.

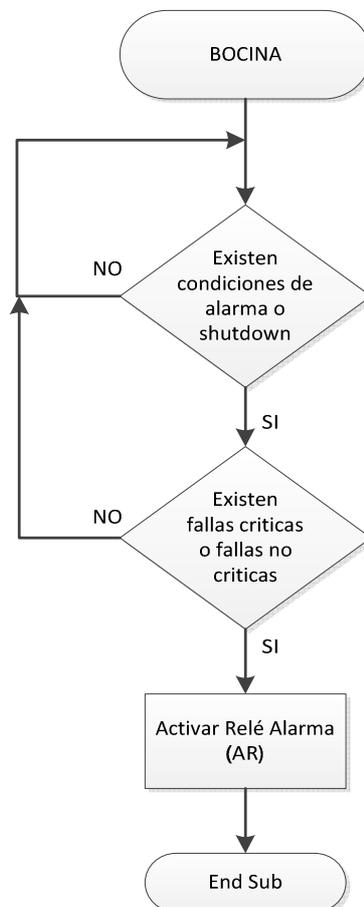


Figura 60. Diagrama de Flujo subrutina BOCINA
4.5.8. Subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS

La presente subrutina es una de las más importantes, dentro de ella se encuentra la programación que define el estado de las válvulas existentes en el Compresor de Gas, es en esta rutina donde se verifica las condiciones para apertura o cierre de las válvulas principales, como son la válvula de succión, válvula de descarga, válvula de bypass y válvula de blowdown. También se programa las condiciones de activación y funcionamiento de los bloques PID que controlan las PCV, tanto la de succión como la de recirculación. Además, en esta subrutina se define las acciones que se toman cuando existen condiciones de shutdown del equipo, de igual forma cuando se presenta un paro normal o una parada de emergencia en el compresor.

La programación de la misma se basa en la comparación de una variable (ESTADO) con un valor, el programa se encuentra constantemente comparando esta variable para encontrar en que punto de la subrutina se detiene esperando que se cumplan ciertas condiciones para continuar con la lógica de programación.

Por ejemplo, en la Figura 62 se puede observar que la condición es si la variable ESTADO es igual a 40, si es verdadero se realiza una serie de acciones si no lo es, el programa procede a comparar si ESTADO es igual a 50 y así sucesivamente. Desde que el pulsador de arranque del Panel Local del Compresor de Gas es presionado, siempre que existe una condición de Falla Crítica se coloca el valor 900 en la variable ESTADO, cuando se presiona el pulsador de parada de emergencia o se desactiva el permiso de arranque se coloca el valor 220 en la variable estado, tal como se indica en la Figura 62

A continuación, mediante diagramas de flujo se describe el funcionamiento de la subrutina MAQUINA DE ESTADOS.

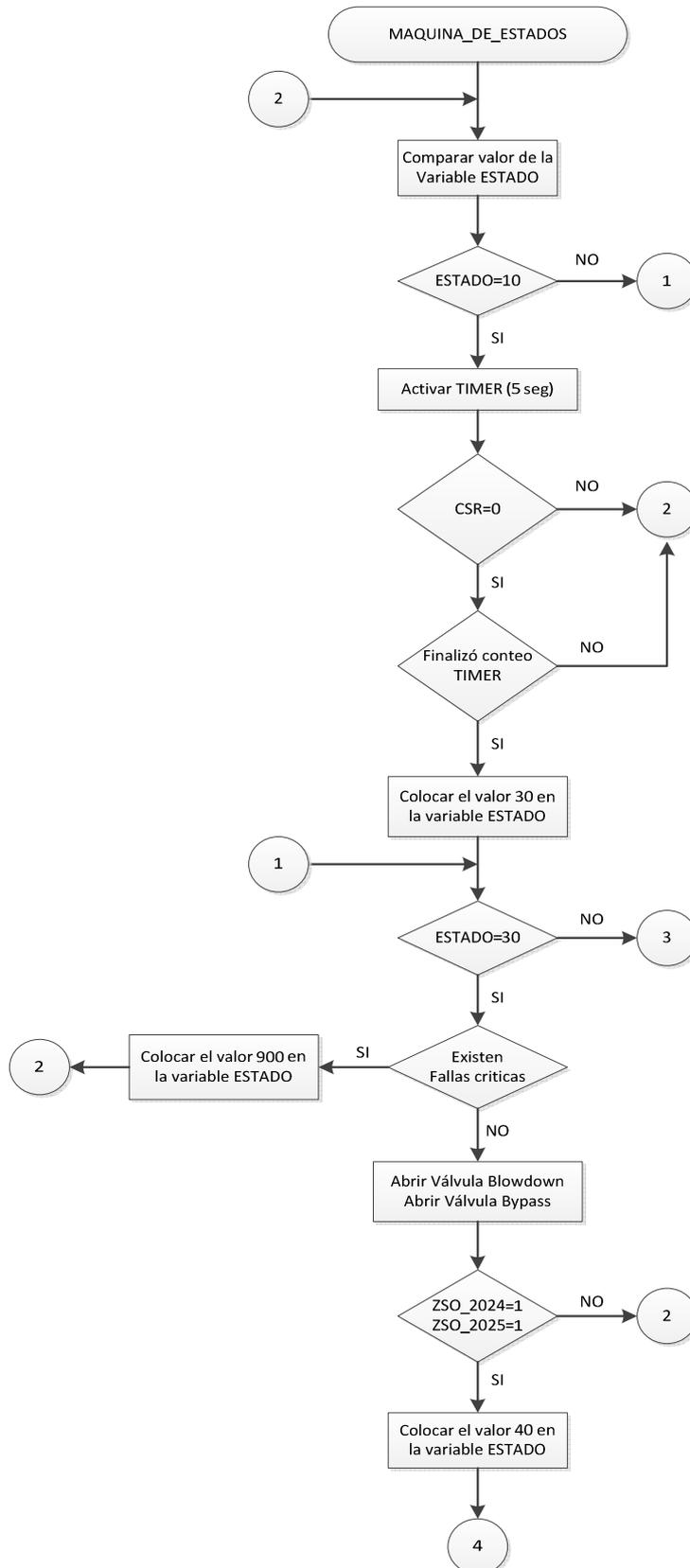


Figura 61. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 1)

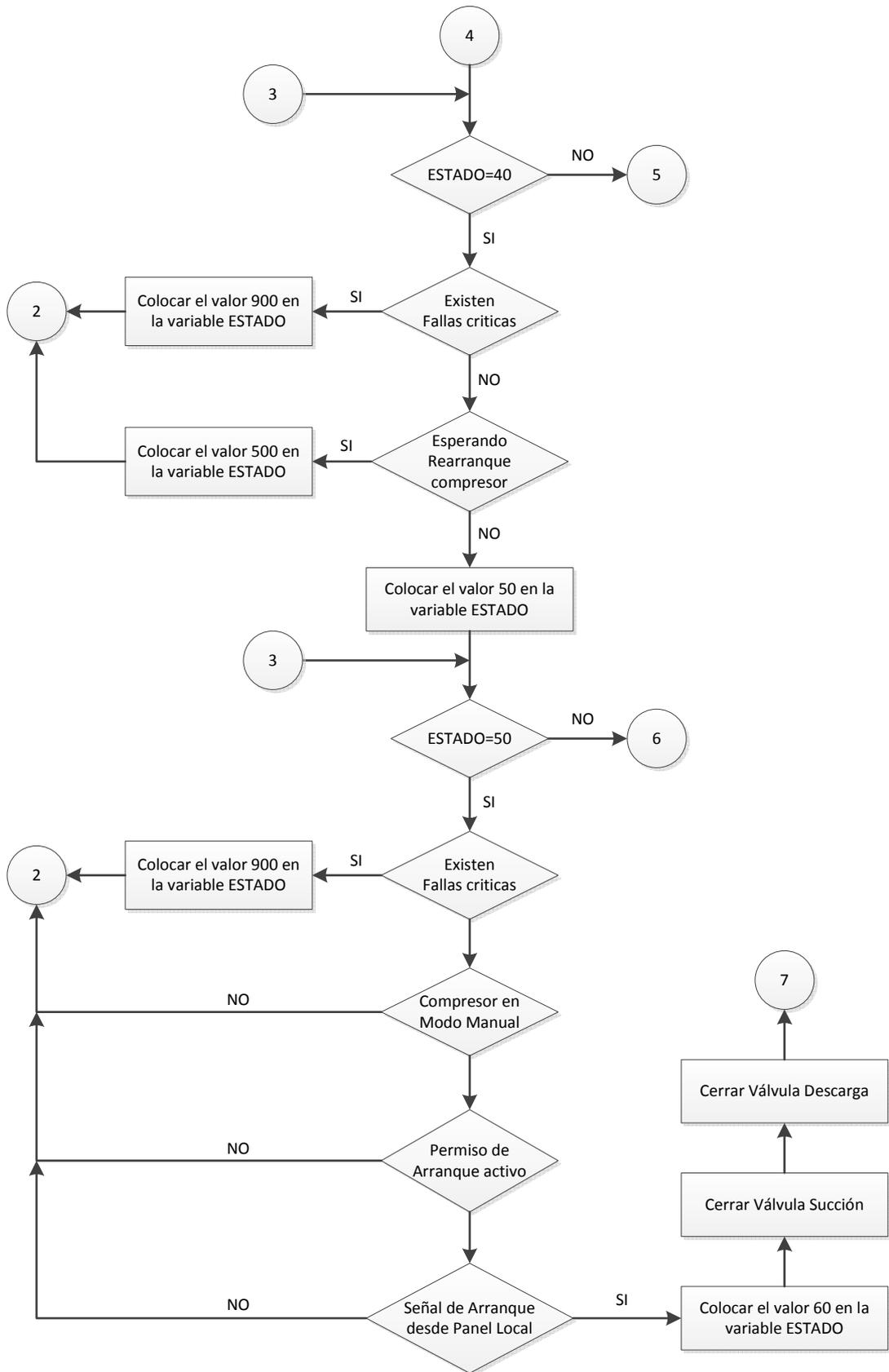


Figura 62. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 2)

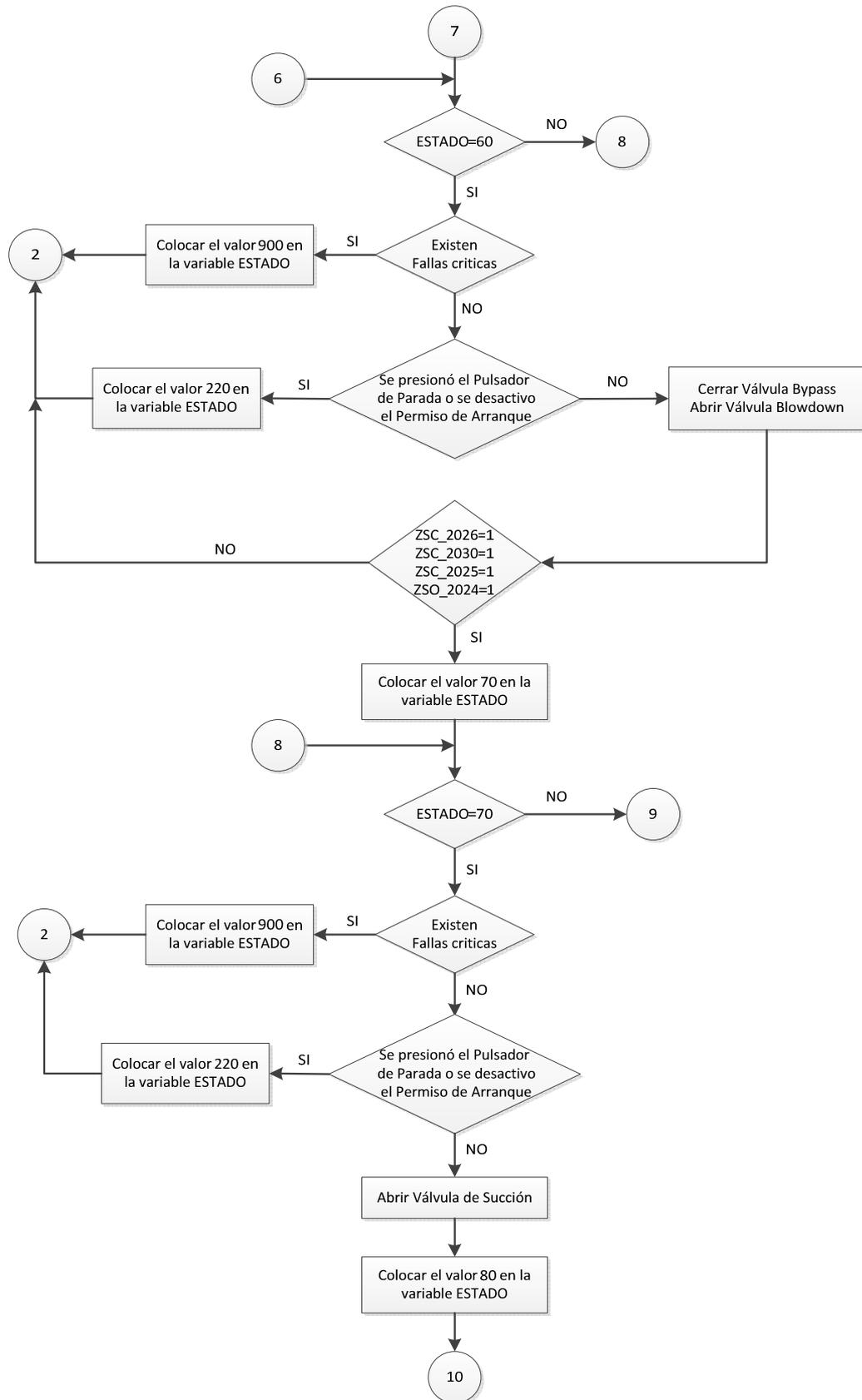


Figura 63. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 3)

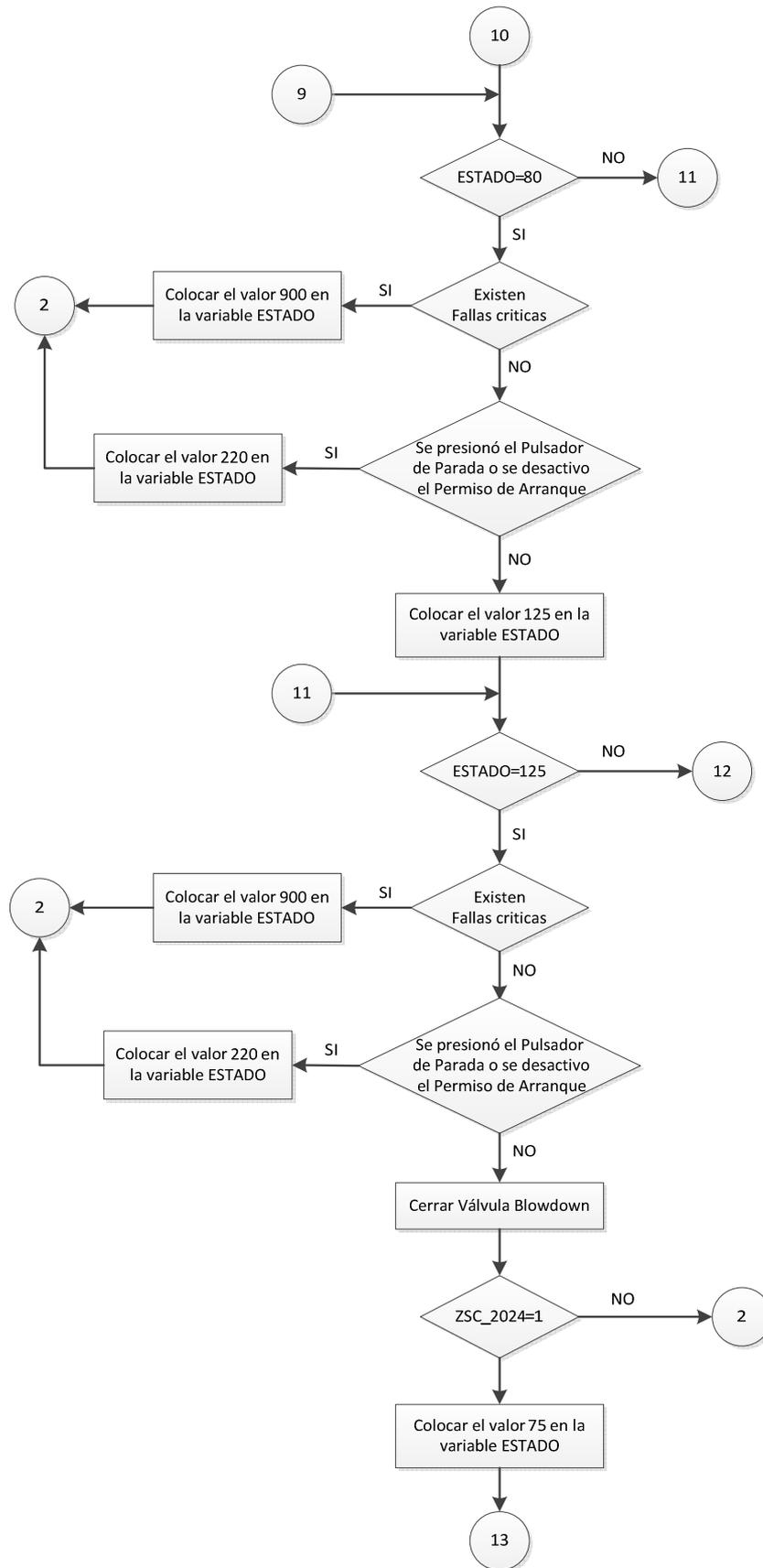


Figura 64. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 4)

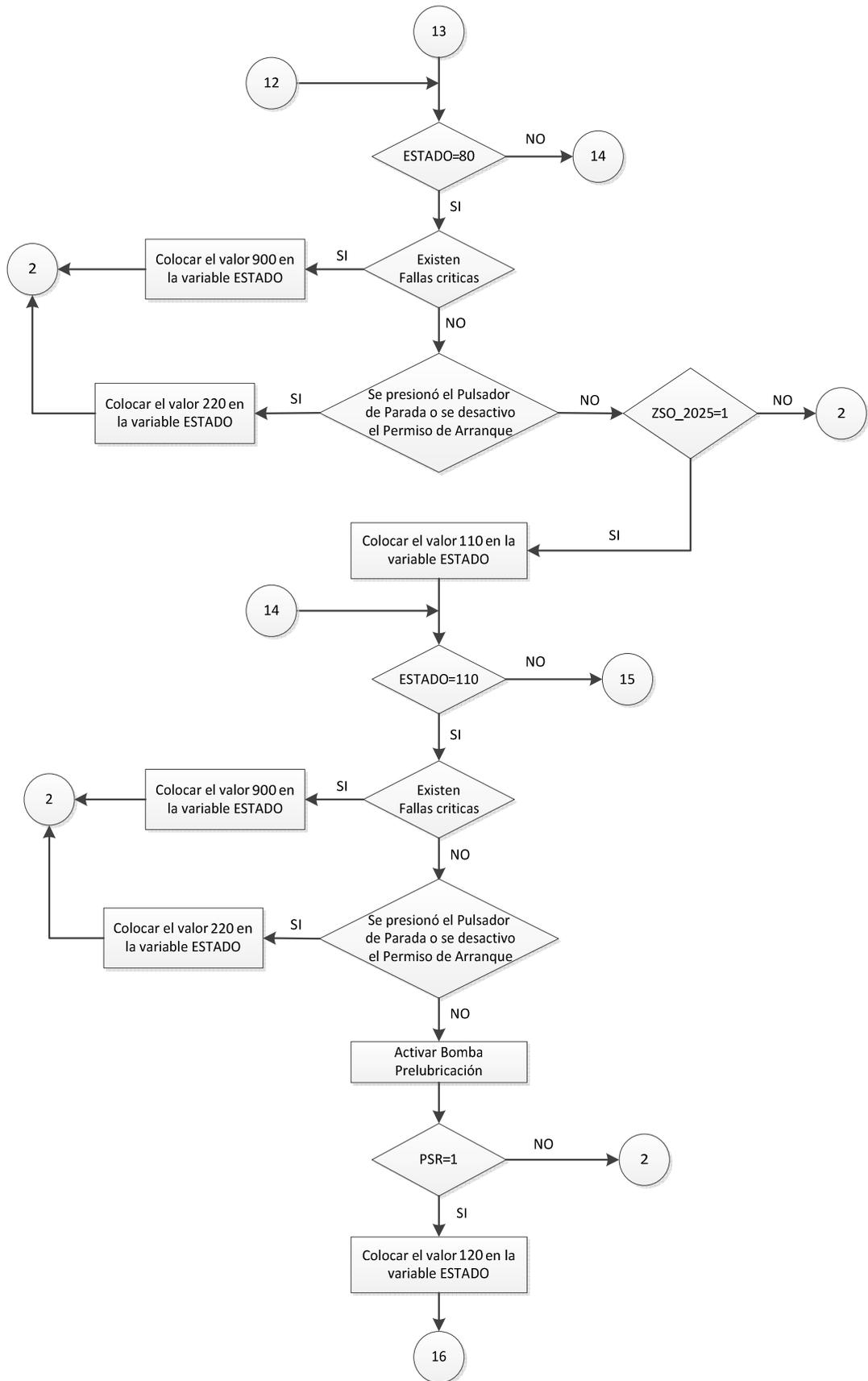


Figura 65. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 5)

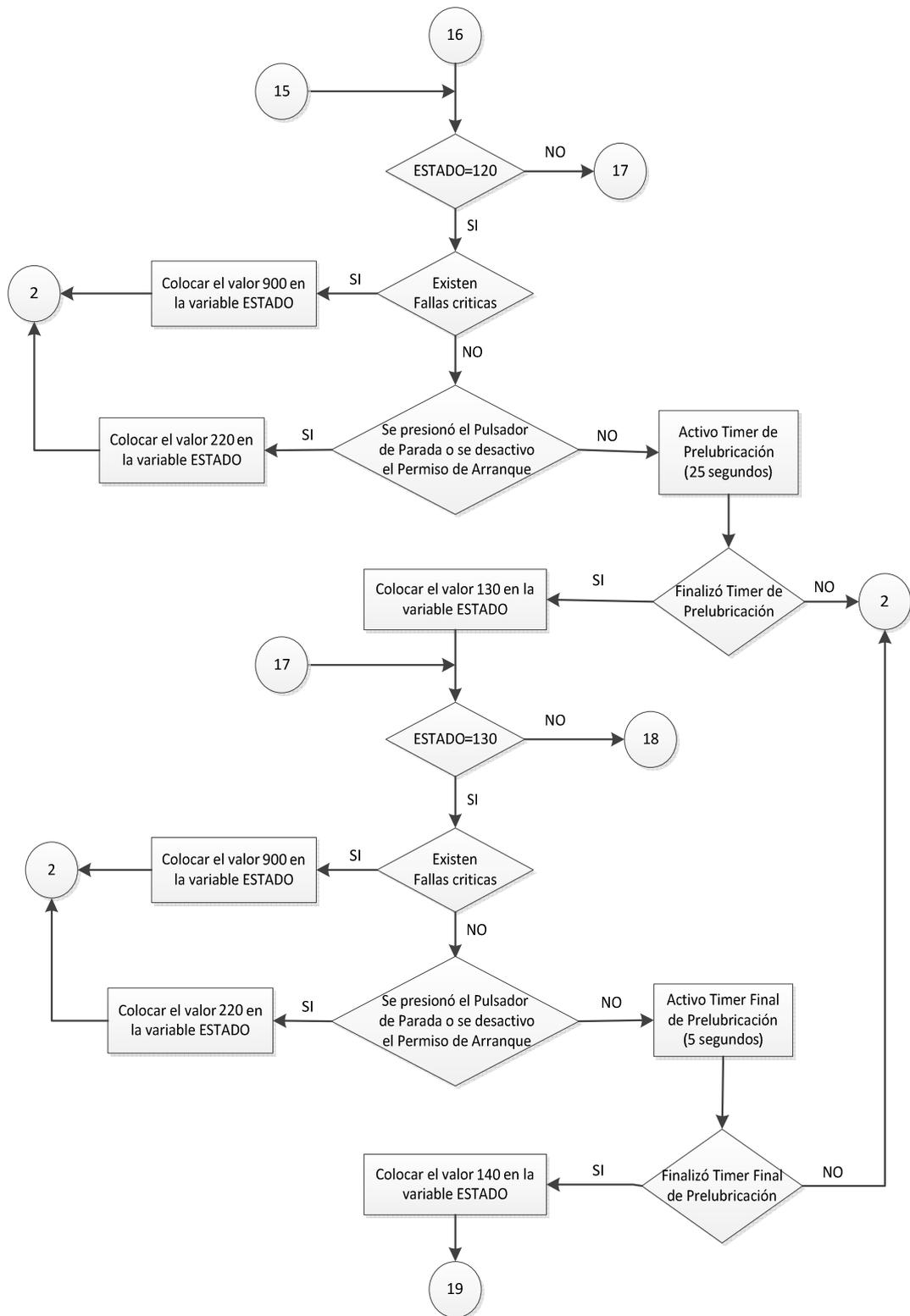


Figura 66. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 6)

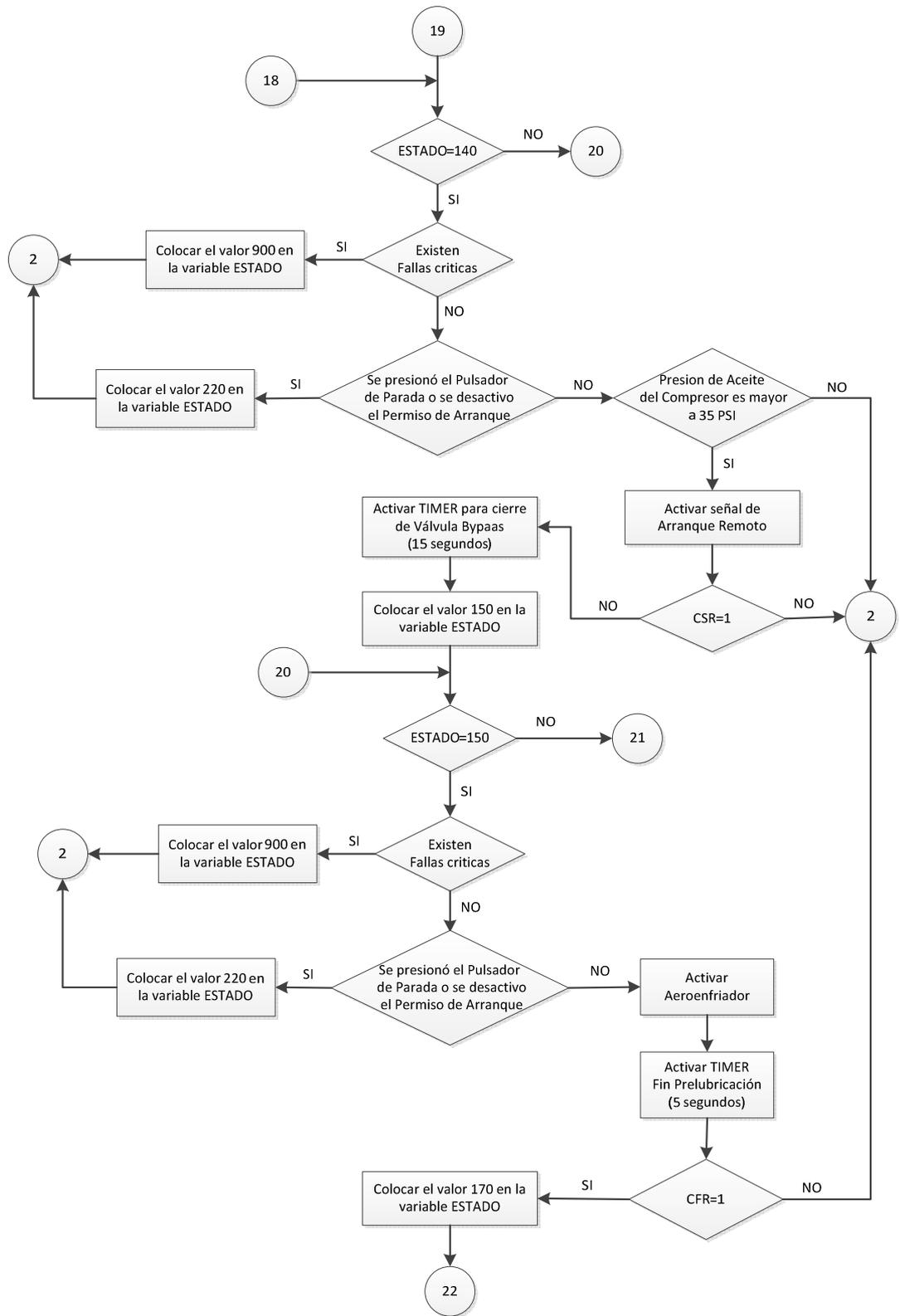


Figura 67. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 7)

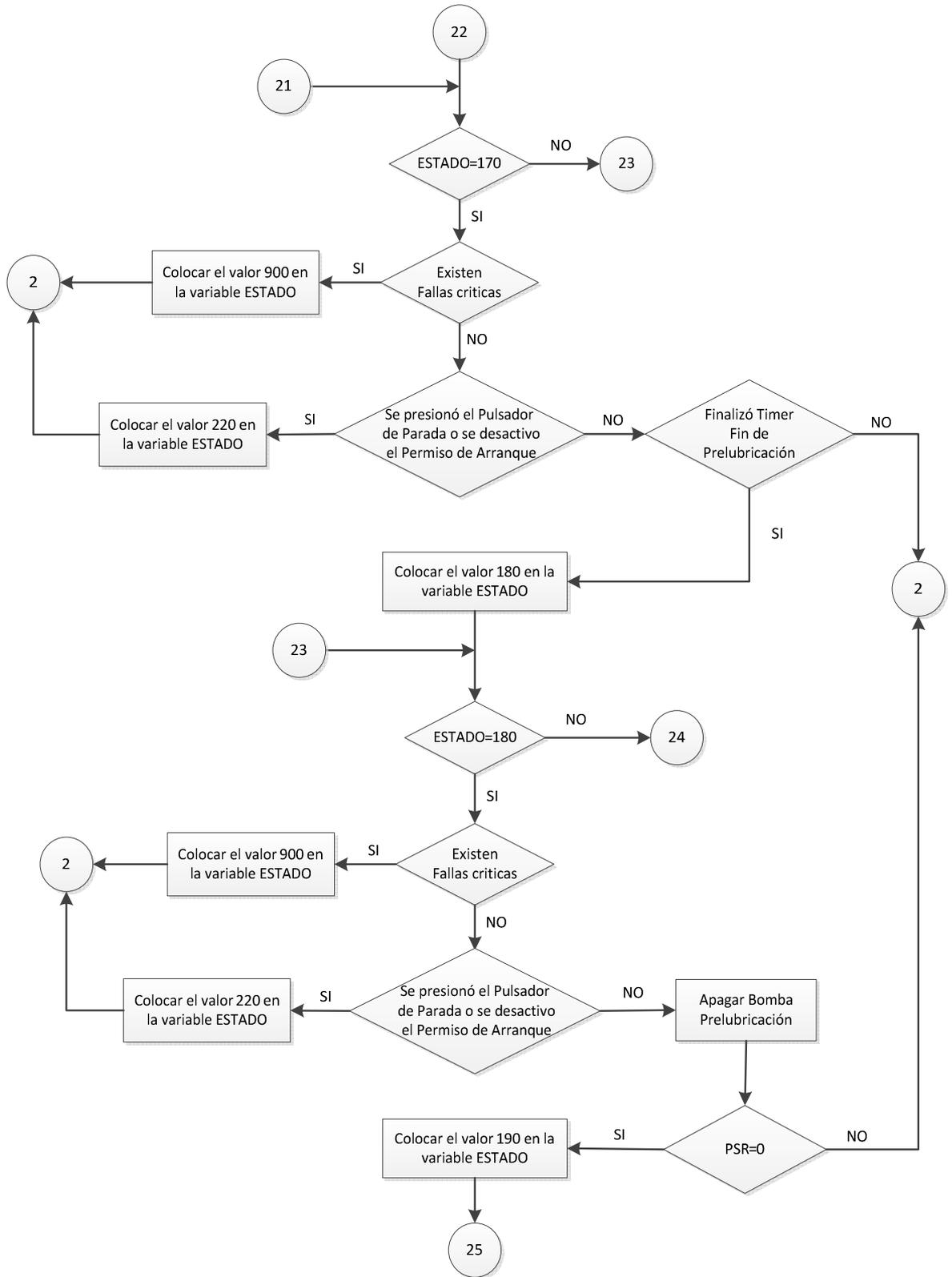


Figura 68. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 8)

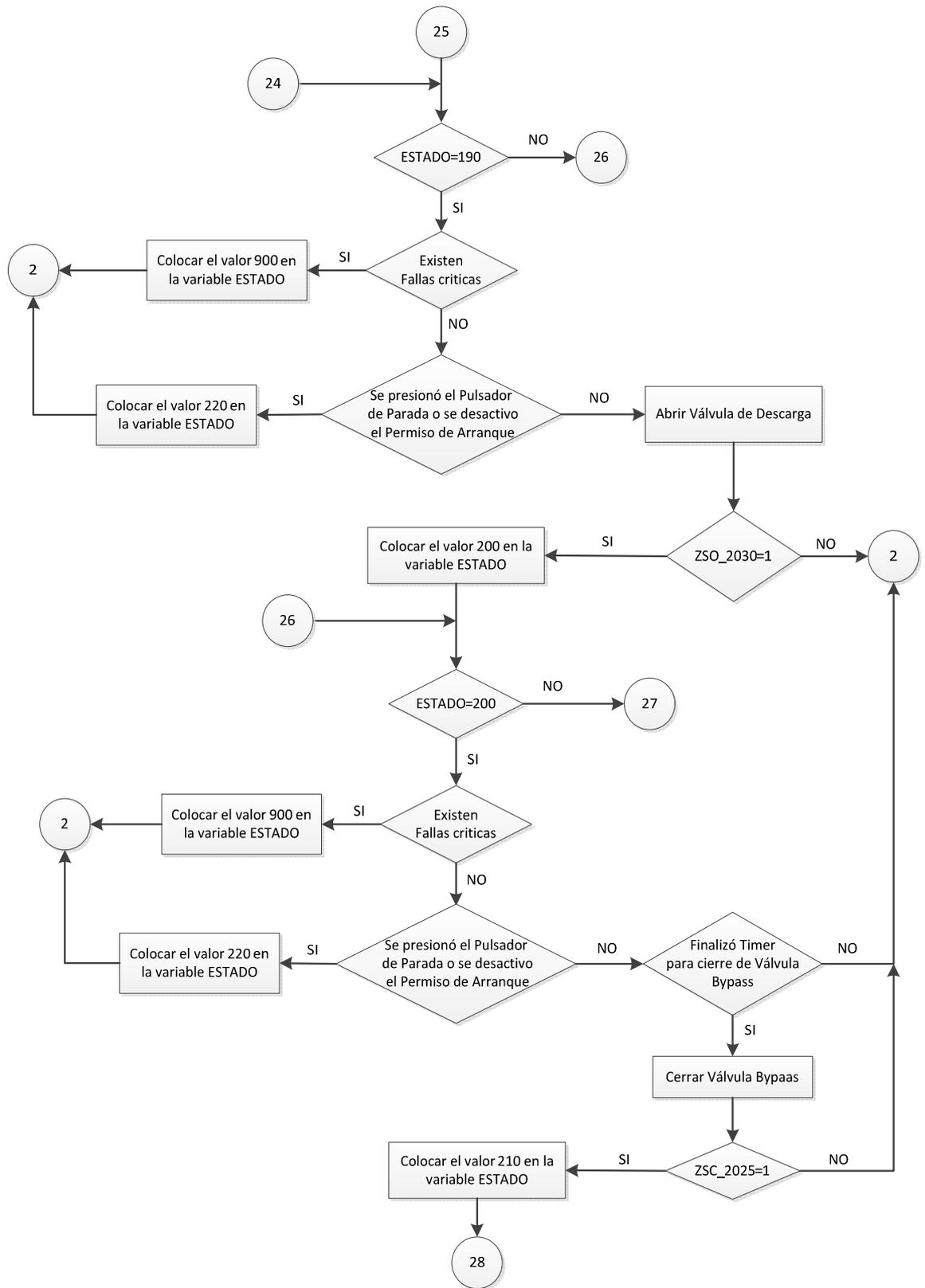


Figura 69. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 9)

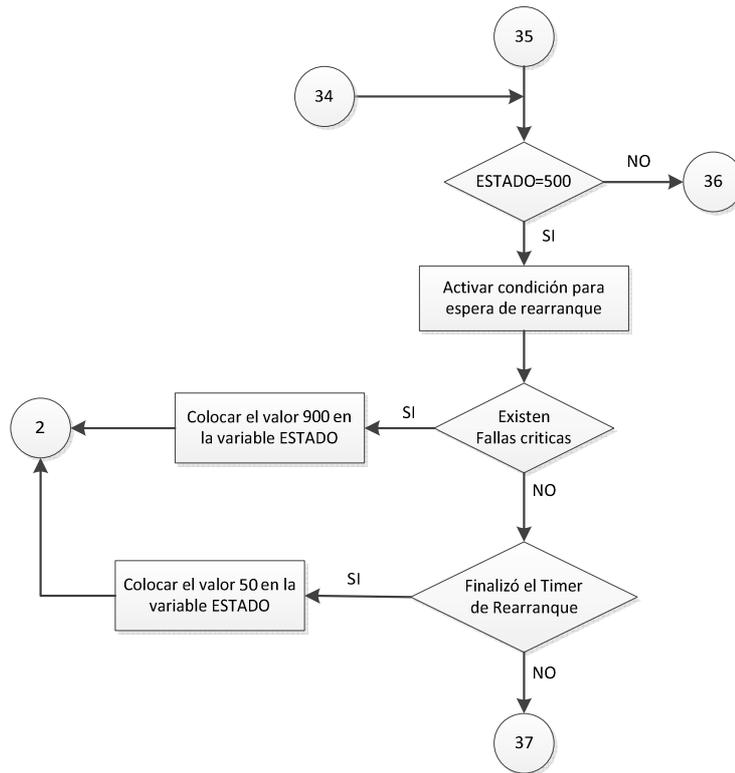


Figura 70. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 10)

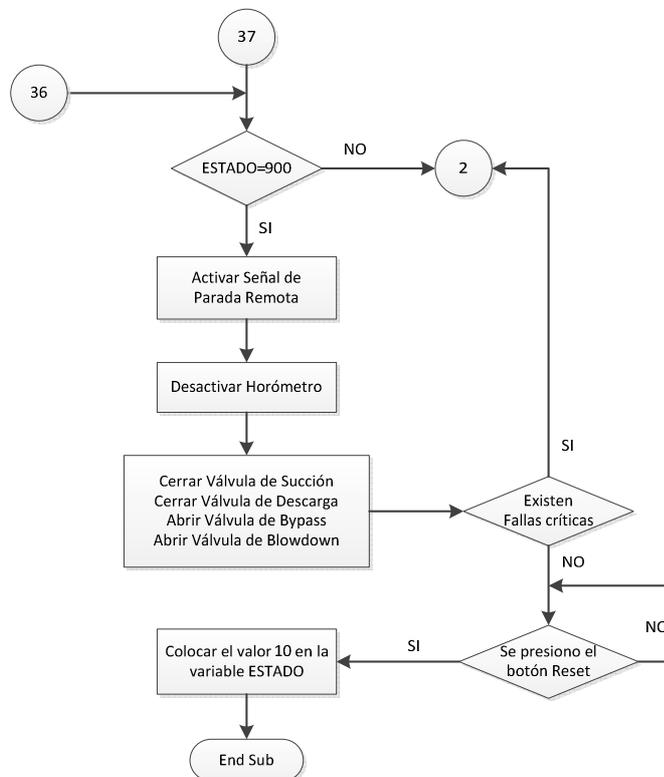


Figura 71. Diagrama de Flujo subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS (Parte 11)

4.5.9. Subrutina HOROMETRO

La subrutina HOROMETRO permite llevar una cuenta de las horas de funcionamiento del compresor. Esta cuenta es presentada en la pantalla principal del HMI, el valor inicial es proporcionado por los operadores de Generación Gas&Diesel.

Para iniciar la cuenta el contacto ACTIVACION_HOROMETRO debe cerrarse, tal como lo muestra la Figura 72. Este contacto se asocia a una bobina interna auxiliar ubicada en la subrutina MAQUINA_DE_ESTADOS, la misma que es energizada una vez que el Compresor de Gas C-3121A se encuentra en correcto funcionamiento.

Una vez que se cumplen todas las condiciones previas se activa un TIMER de 60 segundos, se utiliza un contador para los minutos, este incrementa en 1 cada vez que el timer finaliza. Cuando la cuenta llega a 60 mediante el uso de la instrucción ADD (suma) se cuenta las horas de funcionamiento del Compresor de Gas C-3121A.

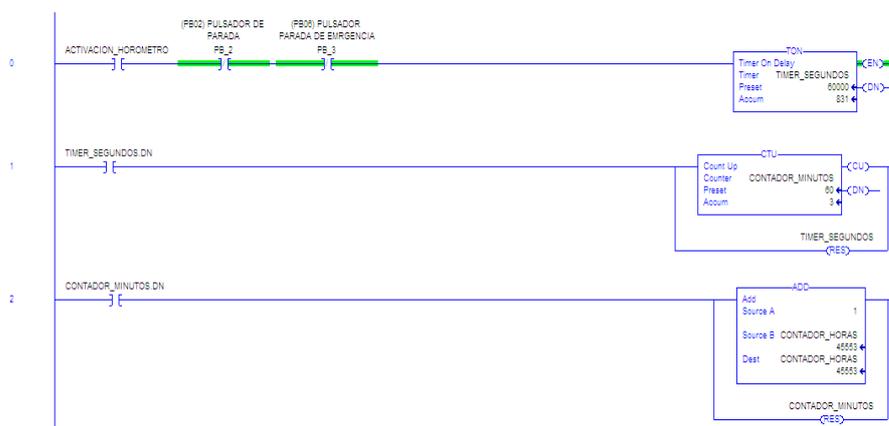


Figura 72. Subrutina HOROMETRO.

Para observar la programación de cada una de las subrutinas se puede consultar el ANEXO Q.

4.6. Diseño y creación HMI

Una de las razones principales por las que se decide realizar la Migración del Sistema de Control es el cambio de la terminal de operador, pues la que está instalada actualmente está fuera de servicio.

El nuevo terminal es del mismo tamaño del actual pero este cuenta con una pantalla táctil a color, lo cual es útil en la creación de una HMI mucho más amigable para el operador, añadiendo también varias funciones que serán de gran utilidad para el personal que trabaja operando el Compresor de Gas C-3121A.

4.6.1. Creación nueva aplicación

Es importante saber que para crear una nueva aplicación en el software FactoryTalk View Studio es recomendable escoger la opción Machine Edition (Figura 73) para soluciones de interfaz de operador incrustadas y basadas en PC. Machine Edition es un producto de interfaz de operador a nivel de máquina, está diseñado como sistema de supervisión y control de máquinas individuales y pequeños procesos.



Figura 73. Ventana para selección del tipo de aplicación

Luego de elegir la opción Machine Edition, aparece una ventana en la cual se define el nombre para la aplicación y el lenguaje en el que se va a trabajar, tal como lo muestra la Figura 74, al abrir el proyecto en una nueva PC, o al importar pantallas que hayan sido guardadas es muy importante elegir siempre el mismo lenguaje con el que se creó la aplicación, caso contrario el texto no es reconocido y hay que editarlo todo nuevamente.

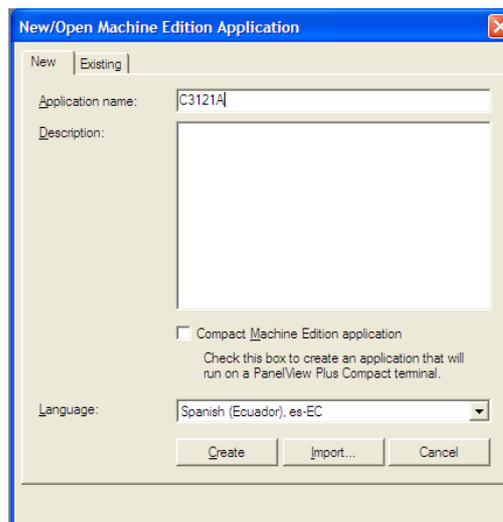


Figura 74. Creación nueva aplicación

Cuando FactoryTalk Studio finaliza de cargar la aplicación la apariencia es como lo muestra la Figura 75.

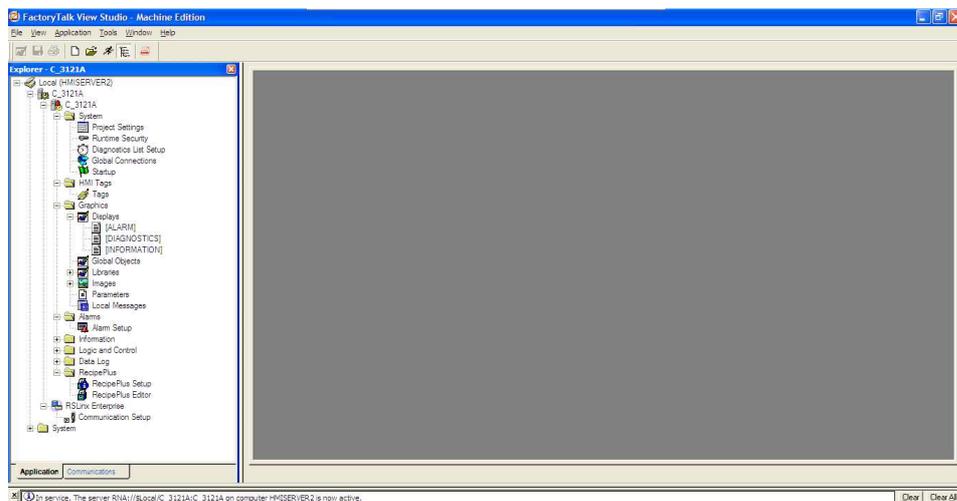


Figura 75. Interfaz gráfica Factory Talk Studio Machine Edition

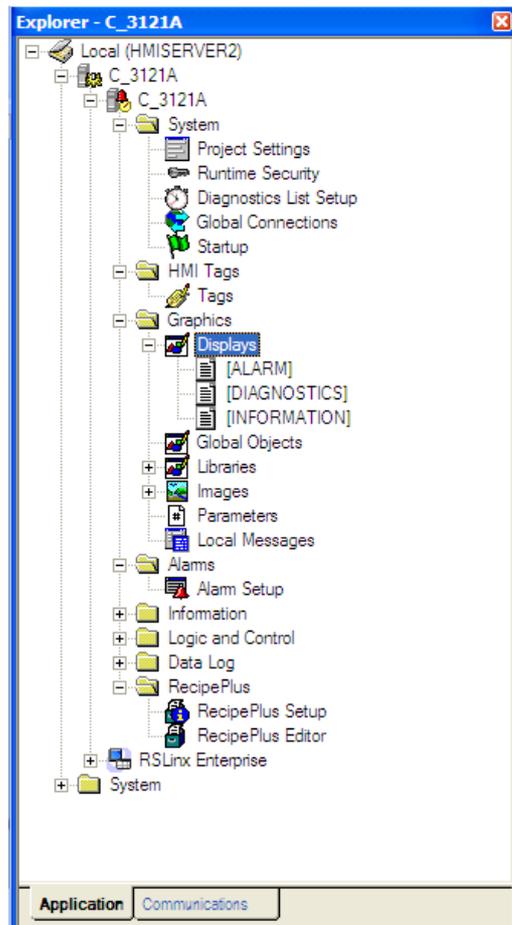


Figura 76. Explorador de la Aplicación creada

Como muestra la Figura 76, en la parte superior del árbol de aplicaciones aparece el nombre del servidor de directorio de FactoryTalk, debajo del nombre del servidor se encuentra el nombre de la aplicación, también pueden verse y modificarse todas las opciones y configuraciones de la aplicación.

Como se menciona anteriormente, la nueva interfaz de operador cuenta con una pantalla táctil a color, esto facilita la creación de una HMI con muchas más funciones comparada a la del sistema a ser reemplazado. Las pantallas de la HMI de terminal de operador antiguo son muy básicas por lo que se toma como referencia los datos que son presentados en estas pantallas añadiendo lo que se considera necesario y útil para el proceso en sí.

FactoryTalk es un software el cual contiene las herramientas necesarias para crear todos los aspectos de una interfaz hombre-máquina (HMI), así como pantallas gráficas, tendencias, notificaciones de alarmas y animaciones en tiempo real. También cuenta con herramientas que permiten comprobar la aplicación mediante un archivo (.MER) que se ejecutará en el PanelView o en un ordenador personal. Un Panel View resulta ideal para aplicaciones que necesitan supervisar, controlar y presentar información de forma gráfica, esto permite crear una interfaz amigable al operador de manera que pueda comprender de manera rápida el estado de la aplicación y del proceso.

4.6.2. Configuración de Comunicación

A continuación, es necesario realizar la configuración de la comunicación, esto se realiza accediendo a Communication Setup haciendo click en la opción RSLinx Enterprise en el árbol de aplicaciones, como se indica en la Figura 77. Es aquí donde la aplicación se comunica con el controlador vía Ethernet. Una vez que el controlador se encuentra conectado y la red ha sido configurada es necesario comenzar a explorar para poder acceder al procesador.

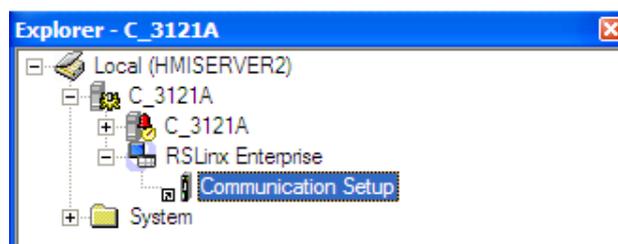


Figura 77. Configuración de la Comunicación

En la Figura 78 podemos observar la ventana que aparece cuando abrimos *Communication Setup*, en la parte izquierda en *Device Shortcuts* se debe añadir un acceso directo de dispositivo del controlador seleccionado. Para la aplicación del controlador el acceso directo tendrá como nombre "PLC".

El acceso directo del dispositivo es la definición formal de cómo FactoryTalk Studio se comunica con el procesador. También se elige el archivo de RSLogix 5000 del cual se obtendrán los TAGS para la programación de los objetos.

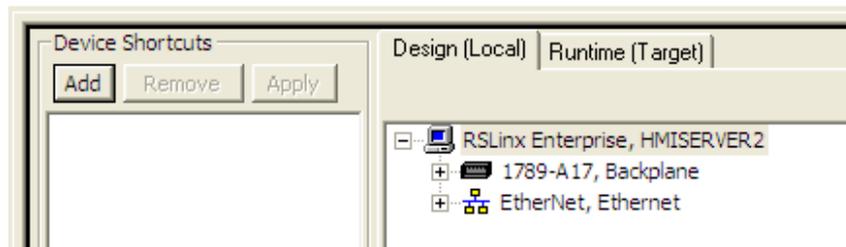


Figura 78. Ventana de Configuración de Comunicación

4.6.3. Creación de una pantalla

Una vez que se han realizado correctamente las comunicaciones ya es posible crear objetos en una pantalla y enlazarlos a TAGS específicos del controlador. Para crear nuevas pantallas se da click derecho en "Display" tal como lo muestra la Figura 79.

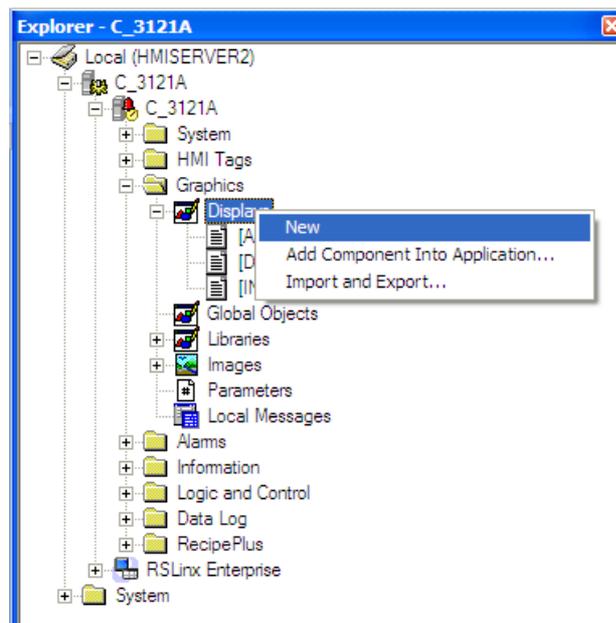


Figura 79. Creación nueva pantalla

4.6.4. Creación de objetos

Una vez creada la nueva pantalla ya se puede insertar objetos, gráficos, y todo lo necesario para el diseño de la HMI para el Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A.

A los objetos insertados se puede modificar sus propiedades, como tamaño, color, apariencia, etc. De igual forma darle animación dependiendo de cómo se diseñe la HMI. Existe una gran cantidad de objetos los cuales ayudan a que las pantallas posean varias funciones y a través de las mismas poder controlar y supervisar el estado del Compresor de Gas C-3121A.

El software también permite crear usuarios y dar privilegios específicos, para la aplicación del compresor se crean dos usuarios aparte del Default, uno se llama "Ingeniería" y el otro "Manager". El usuario Manager está dirigido a la gente de Generación Gas&Diesel y no cuenta con todos los privilegios, mientras que el usuario Ingeniería posee todos los privilegios y puede acceder a cualquier pantalla de la aplicación. A este usuario solo puede acceder el personal del Departamento de Instrumentación.

Para el diseño y elaboración de la HMI se toma en cuenta ciertos parámetros y normas ya establecidos, se presenta al Coordinador propuestas en lo que se refiere a diseño y combinación de colores, y con algunos comentarios y sugerencias por parte de los Coordinadores se define el diseño de la pantalla principal para así continuar en base a esta la creación de las pantallas siguientes.

4.6.5. Descripción HMI

A continuación, se realiza una breve descripción de la funcionalidad que tiene cada pantalla dentro de la aplicación.

La Figura 80 muestra la pantalla de inicio o pantalla principal, cuando la aplicación inicia esta la primera pantalla que se muestra en la interfaz de operador. En esta pantalla se presenta el estado de las principales válvulas y elementos. También posee una barra donde se informa el estado actual del compresor, en la parte inferior se tiene los botones que permiten el acceso a las demás pantallas, más adelante se explica cada una de ellas. Por último se presenta información general como la fecha, hora, horómetro y el botón *Login* para ingresar como usuario de *Ingeniería* o *Manager*

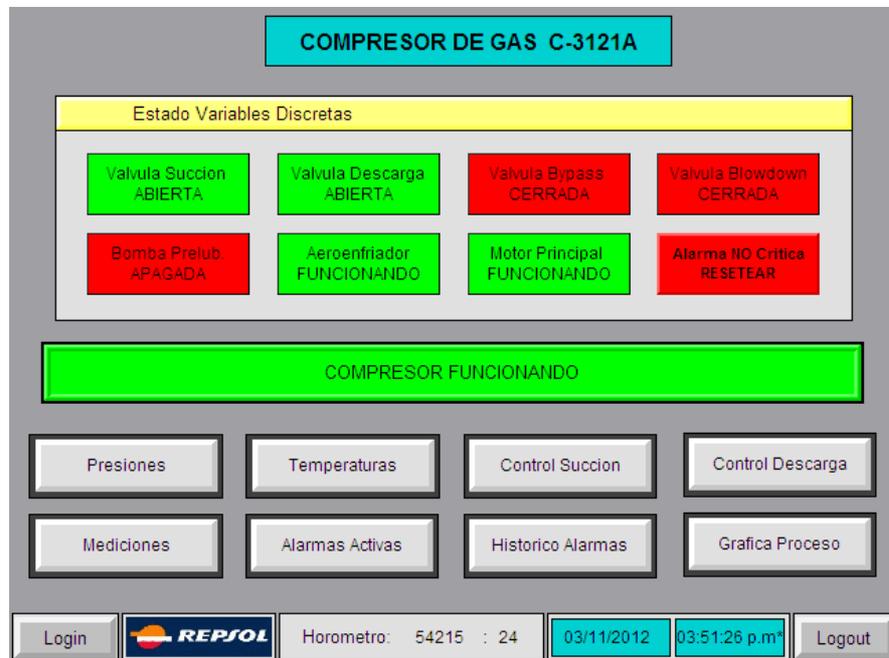


Figura 80. Pantalla de Inicio

Pantalla “Presiones”

Todas las pantallas de la aplicación tienen el mismo estilo y presentación, la Figura 81 muestra las presiones de los diferentes transmisores instalados en el Compresor de Gas C-3121A, En la parte inferior se encuentran los botones que permiten la navegación entre las diferentes pantallas con las que cuenta la aplicación. Esta pantalla aparece una vez que se presiona el botón “Presiones” de la figura 79.

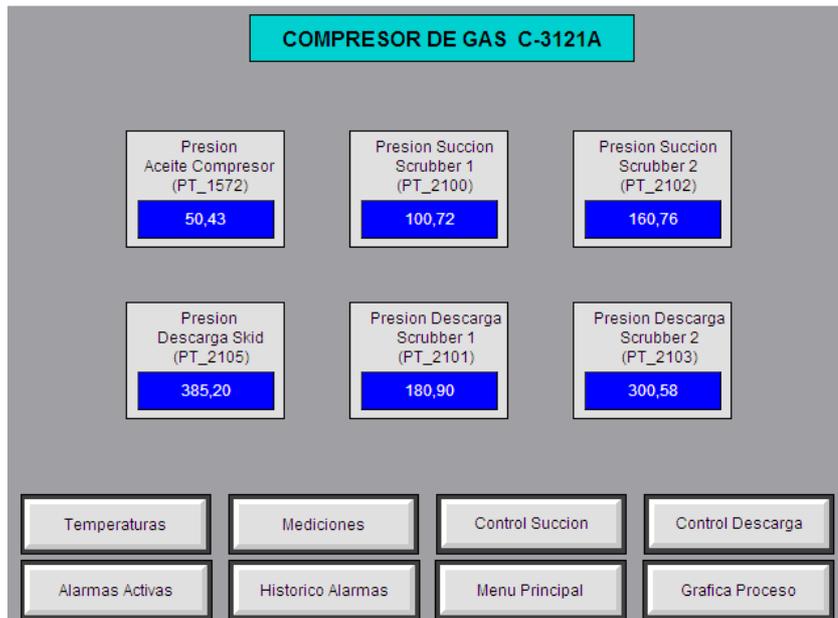


Figura 81. Pantalla Presiones

Pantalla “Temperaturas”

En la pantalla Temperaturas de la Figura 82, podemos observar los valores de todos los sensores de temperatura instalados en el compresor, de igual forma en la parte inferior se tiene botones los cuales permiten un fácil y rápido acceso a las demás pantallas.

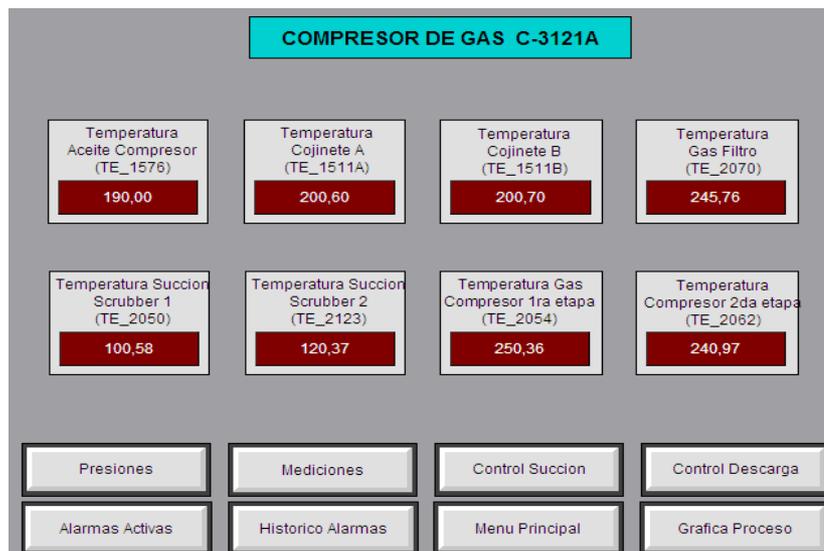


Figura 82. Pantalla Temperaturas

Pantalla “Mediciones”

La Figura 83 muestra la primera pantalla que aparece al momento de presionar el botón Mediciones, en esta pantalla se presenta en valor actual de la variable, así como los set de disparo de alarma y shutdown del compresor. Existen 6 pantallas que muestran los set de disparo de todos los transmisores de presión y de los sensores de temperatura.

En cada una de estas pantallas existen botones laterales que permiten el desplazamiento entre cada una de estas seis pantallas de mediciones. Estas pantallas se las puede observar detenidamente en el Anexo Q (Manual de Operación).

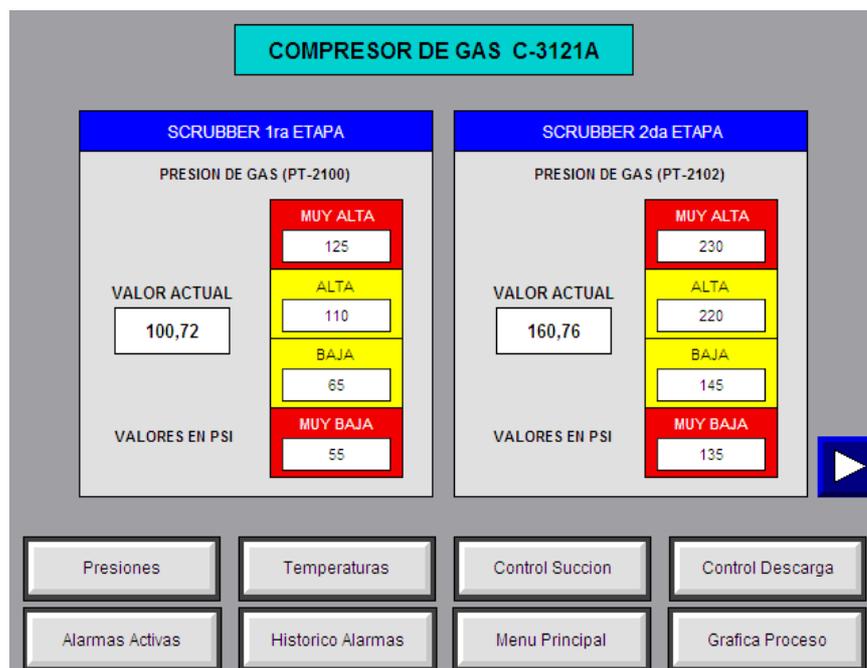


Figura 83. Pantalla Mediciones

Pantalla “Control Succión”

Como se observa en la Figura 84, la pantalla Control Succión muestra tres barras para indicar valores relacionados con la presión de succión, la

primera barra indica el set point de dicha variable, la segunda indica el valor actual de la variable en este caso PT_2100 y la tercera indica el valor de apertura de la válvula de venteo PV-103, la misma que ayuda a controlar que la presión de succión se mantenga en el valor indicado.

De igual manera, en la parte inferior se tiene los botones de navegación para acceder de manera rápida a la pantalla que se desee.

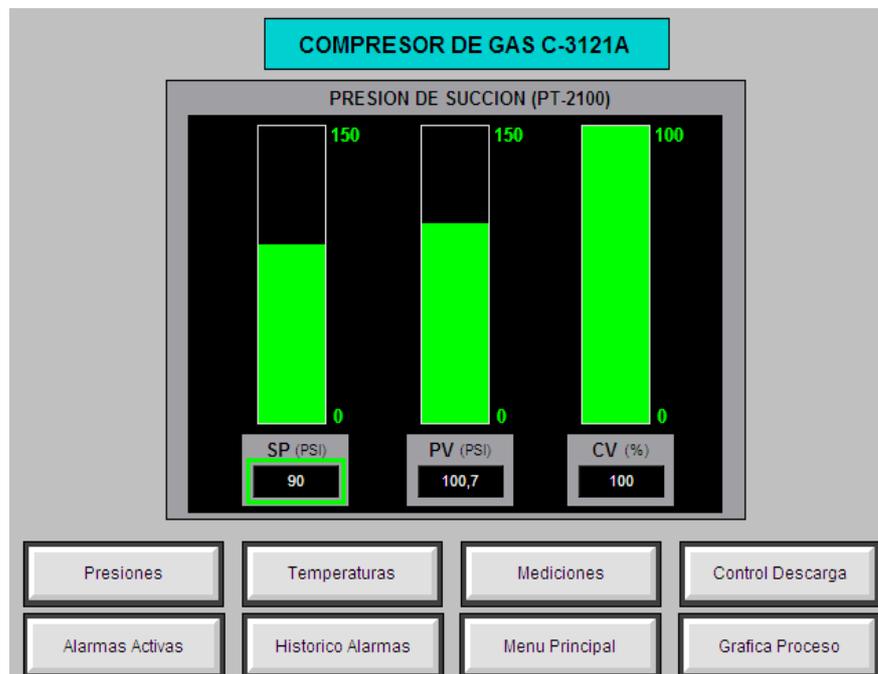


Figura 84. Pantalla Control Succión

Pantalla “Control Descarga”

Se tiene también una pantalla para presentar información específica sobre la presión de descarga (PT_2105), donde se indica el valor de set point, el valor actual de la variable y el porcentaje de apertura de la válvula controladora de presión PCV-2032. La Figura 85 muestra la pantalla de Control Descargas.

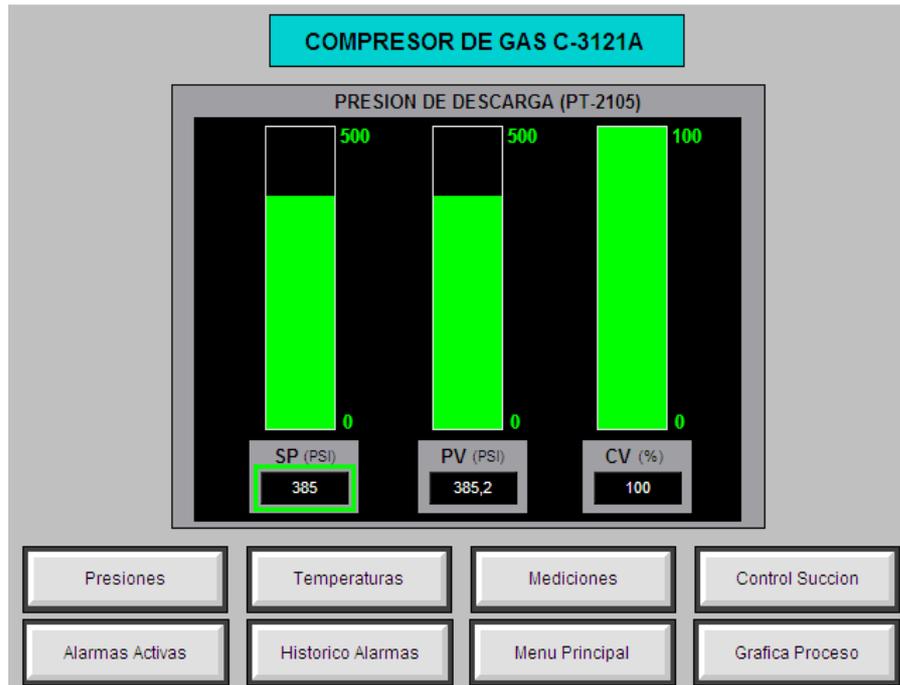


Figura 85. Pantalla Control Descarga

Tanto en la pantalla de Control Succión como en la pantalla Control Descarga se puede modificar el valor de set point según lo requiera el proceso. Esto se explica detalladamente en el Manual de Operación.

Pantalla “Alarmas Activas”

La Figura 86, muestra la pantalla de Alarmas Activas, en esta pantalla se presenta todas las alarmas que se encuentran activas en dicho momento, estas permanecen visibles hasta que el error sea corregido o el compresor regrese a condiciones normales de operación.

Se tiene botones con los cuales se reconoce o resetea las alarmas, botones que permiten el desplazamiento entre las alarmas activadas, y por último los botones de acceso a las diferentes pantallas de la HMI.

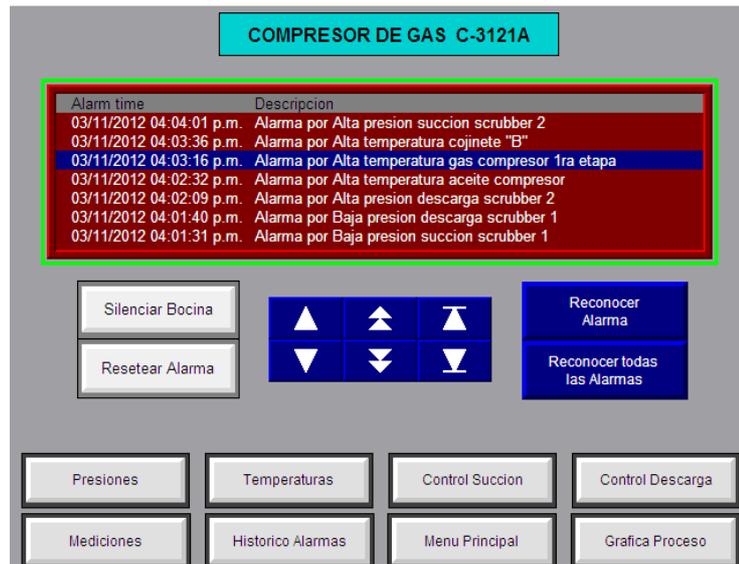


Figura 86. Pantalla Alarmas Activas

Pantalla “Histórico Alarmas”

En la pantalla Histórico Alarmas que se muestra en la Figura 87, se lleva un registro de todos los eventos que se hayan presentado en el Compresor de Gas, ya sea durante el arranque o cuando el compresor ya se encuentra en funcionamiento. De igual forma se cuenta con botones de desplazamiento y botones para reconocer las alarmas. Al igual que en todas las pantallas, en la parte inferior se tiene botones que permiten acceder a cualquiera de las pantallas presentadas y descritas anteriormente.

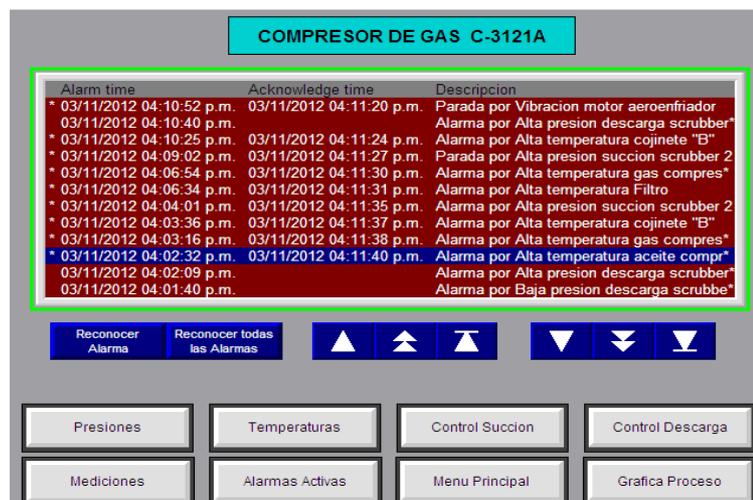


Figura 87. Pantalla Histórico Alarmas

Pantalla “Gráfica Proceso”

Una de las pantallas con más funcionalidad es la que se presenta en la Figura 88, pues desde esta pantalla se puede acceder absolutamente a todas las demás pantallas descritas anteriormente.

La pantalla Gráfica Proceso posee una animación de todo el proceso donde se puede mirar claramente el estado en el que se encuentra el Compresor. También el operador puede observar de manera rápida el estado de las válvulas, valores de presión y temperatura de los elementos, posición de las válvulas de control, estado del motor y aerofriador, es decir, posee toda la información de Compresor de Gas C-3121A.

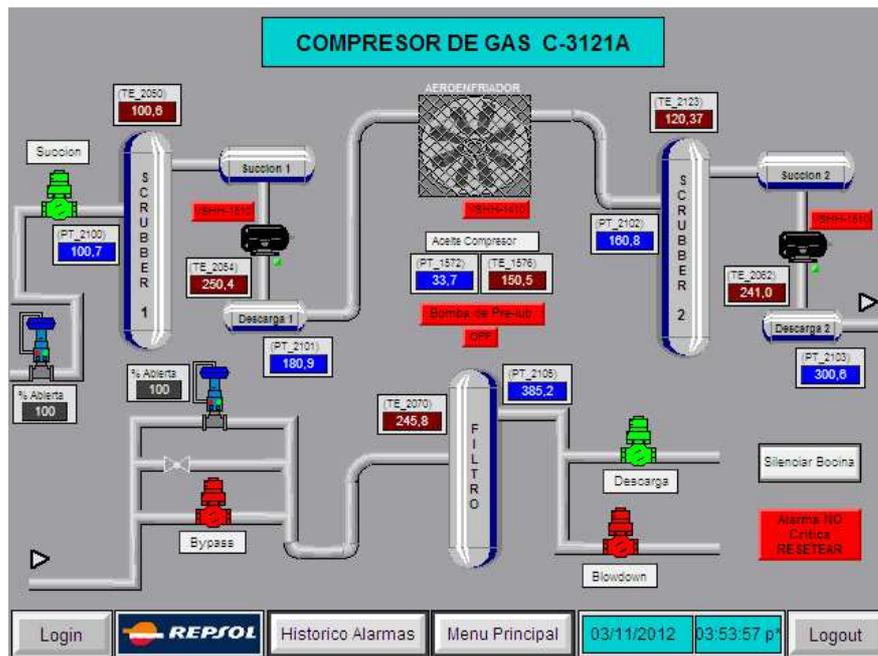


Figura 88. Pantalla Grafica Proceso

Existen pantallas a las cuales se puede acceder una vez que se ha ingresado como usuario de Ingeniería o Manager. A continuación se describe de forma general cada una de estas pantallas.

Pantalla “AJUSTES COMPRESOR DE GAS C-3121A”

La pantalla de Ajustes varía un poco dependiendo del usuario con el que se encuentra registrado. La Figura 89, muestra la pantalla de Ajustes Compresor al ingresar como usuario Ingeniería.

En esta pantalla se tiene botones con los que se accede a diferentes pantallas donde podemos modificar valores de set de presión, set de temperatura, ajuste de parámetros PID y una pantalla para mantenimiento de válvula. También desde esta pantalla se puede modificar el valor del Horómetro.



Figura 89. Pantalla Ajustes Compresor de Gas C-3121A

Pantalla “AJUSTE VALORES SETS DE PRESION”

En esta pantalla se puede modificar los valores de set de presión de todos los transmisores instalados en el compresor de gas. La Figura 89, muestra una de las dos pantallas que existen para modificar el set de cualquiera de los transmisores de presión con los que cuenta el compresor.

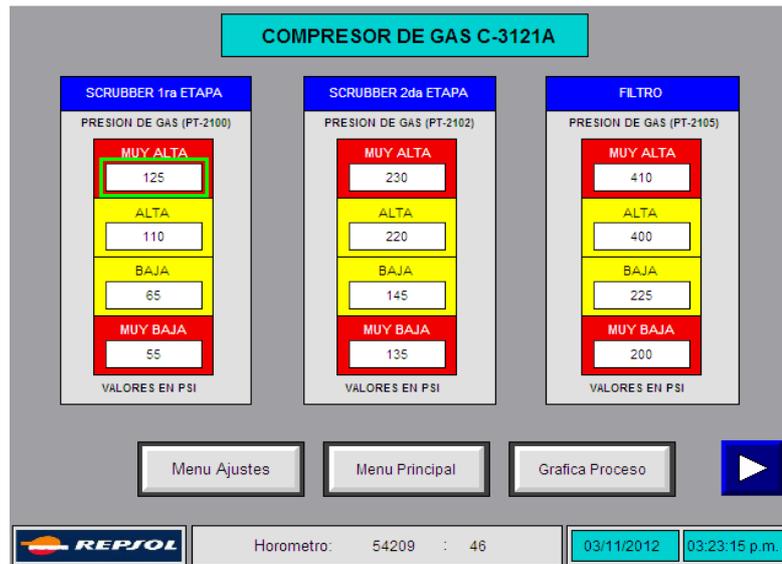


Figura 90. Pantalla Ajuste Valores Set de Presion

Pantalla “AJUSTE VALORES SETS DE TEMPERATURA”

Dentro de la pantalla Ajuste Valores Sets de Temperatura (Figura 91) se puede modificar los valores de set de disparo de alarma y shutdown para los sensores de temperatura instalados en el Compresor de Gas C-3121A. De igual manera, existen dos pantallas que permiten modificar dichos valores.

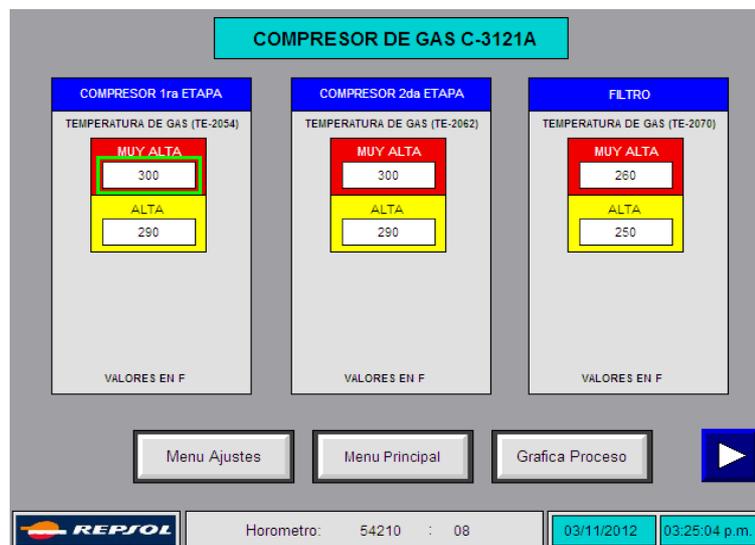


Figura 91. Pantalla Ajuste Valores Sets de Temperatura

Pantalla “AJUSTE PARAMETROS PID”

La pantalla que se muestra en la Figura 92, permite modificar los parámetros del bloque PID que controla la válvula que ayuda a mantener la presión de succión scrubber 1 en un valor determinado.

Esta pantalla posee también un cuadro el cual indica en tiempo real la tendencia de la variable de proceso en relación al set point establecido.

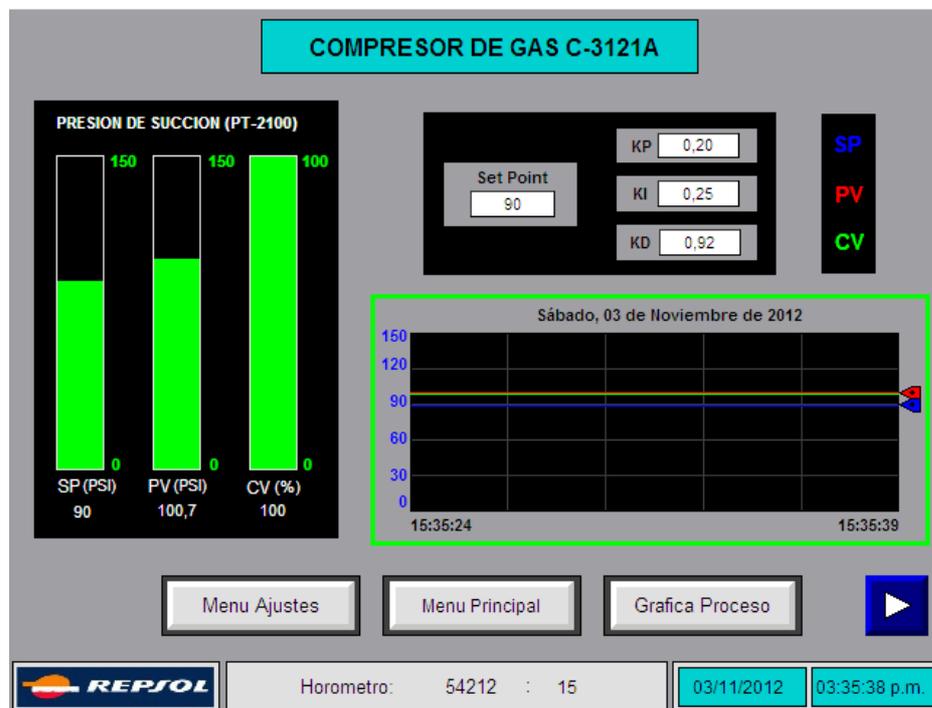


Figura 92. Pantalla Ajuste Parámetros PID (1)

La pantalla de la Figura 93 cumple la misma función que la pantalla de la Figura 92, pero en esta se controla y monitorea la presión de descarga final, los parámetros del bloque PID que se modifican en esta pantalla controlan la válvula PCV-2032, la misma que mantiene la presión de descarga en el set establecido.

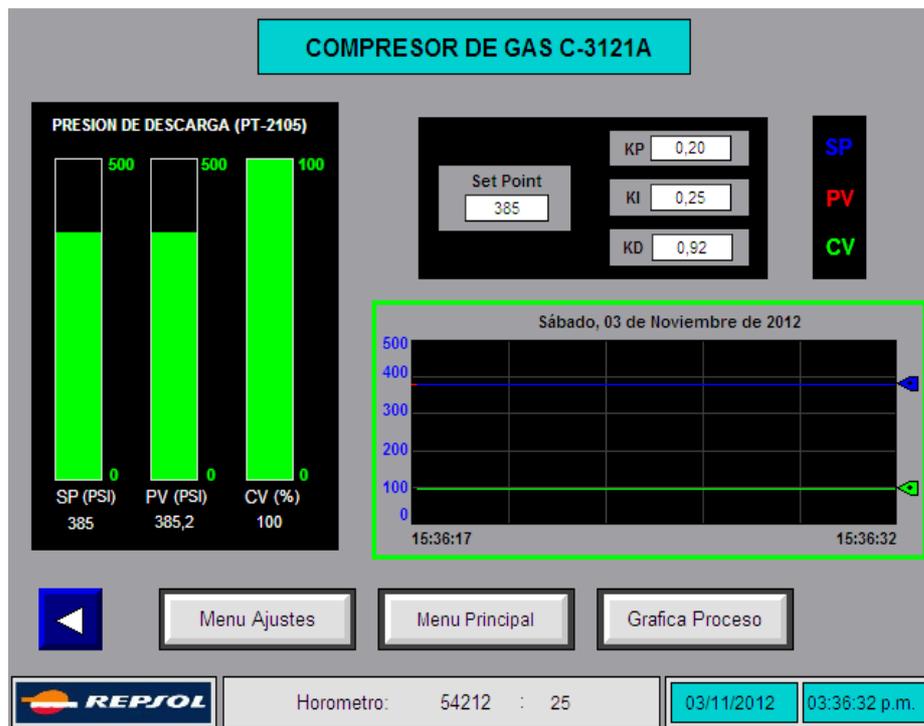


Figura 93. Pantalla Ajuste Parámetros PID (2)

Pantalla “MANTENIMIENTO”

La Figura 94 muestra la pantalla de mantenimiento, esta pantalla es visible solo con el usuario Ingeniería. Fue creada específicamente para el personal del Departamento de Instrumentación ya que son los encargados del mantenimiento del compresor.

Anteriormente, luego de realizar el mantenimiento el técnico debía energizar el solenoide en campo para comprobar que la válvula esté funcionando, o forzar los contactos para que la válvula actúe. Desde esta pantalla el técnico puede manipular las principales válvulas y comprobar su correcto funcionamiento de apertura y cierre, también puede manipular las dos válvulas controladores de presión indicando el porcentaje de apertura

deseado, de esta manera el técnico se asegura que las válvulas se encuentran en condiciones normales y operativas.

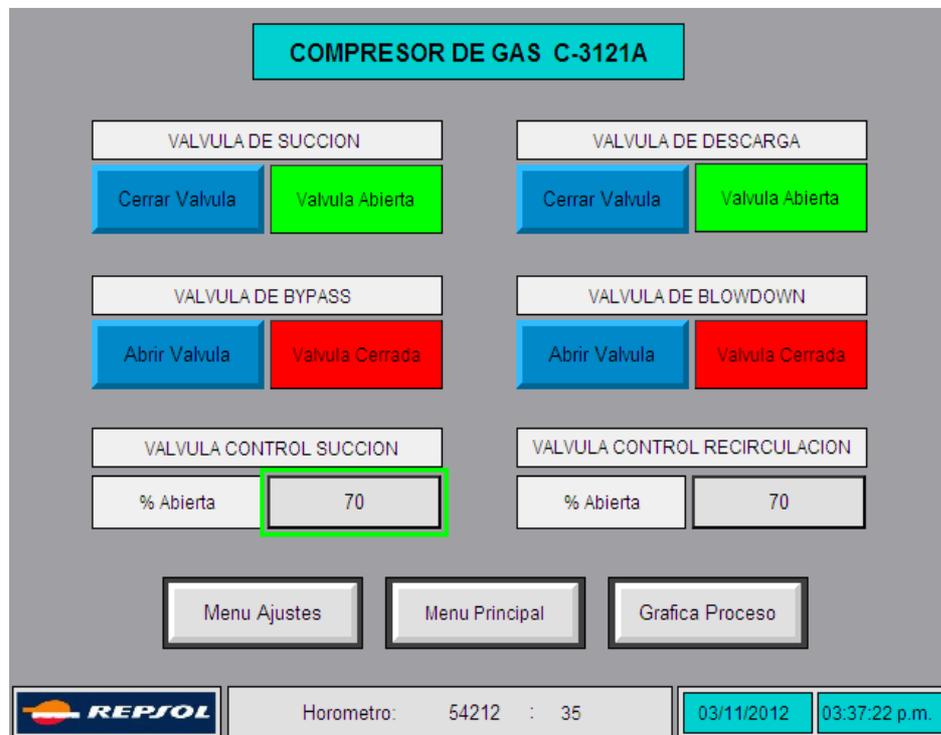


Figura 94. Pantalla Mantenimiento

Pantalla “Señales I/O Digitales”

Esta pantalla está disponible solo para los usuarios “MANAGER” e “INGENIERIA”, son tres las pantallas que indican el estado de todas las señales digitales tanto de entrada como de salida, indicando el nombre de la señal y en qué punto se encuentra conectado. Esto ayuda a visualizar rápidamente el estado de cada señal sin necesidad de abrir el tablero o acudir a los planos para saber que señal es la que se encuentra actualmente conectada.

La Figura 95 muestra una de las pantallas, en esta se puede observar que para cada señal se indica la dirección, la descripción de la señal y el

TAG de la misma. El cuadro verde indica que el contacto en campo es normalmente abierto y el cuadro rojo indica que es un normalmente cerrado.

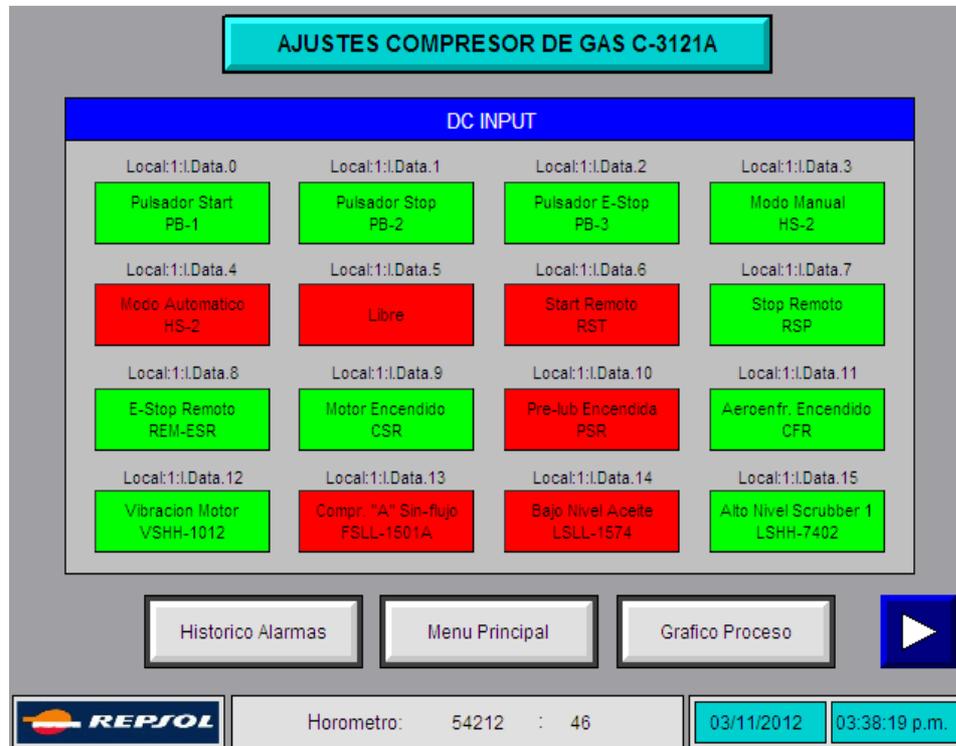


Figura 95. Pantalla Señales I/O Digitales

Para observar todas las pantallas creadas, y obtener información sobre el manejo general de la HMI, consultar el Anexo R, **MANUAL DE OPERACIÓN**.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1. Pruebas internas de Funcionamiento

Luego de elaborado el programa y la HMI, es necesario realizar pruebas para comprobar su correcto funcionamiento. Los materiales necesarios para la migración se encuentran listos en el taller del Departamento de Instrumentación.

En la Figura 96 se observa varios elementos como los módulos de entrada y salida digital así como el Terminal de Operador que fueron comprados ya que no existían en bodega, otros como el controlador o el chasis son tomados del taller del Departamento.



Figura 96. Materiales nuevos a ser utilizados en la Migración

Para empezar a realizar las pruebas internas del Sistema de Control, primeramente se implementa una pequeña red dentro del taller con todos los

elementos que componen el sistema de control y que van a ser instalados en el Panel Local del Compresor de Gas C-3121A.

Se dispone del chasis de 10 ranuras con la fuente de alimentación ya conectada, ver Figura 97. Se conecta el controlador y demás módulos en el orden establecido, tal como lo indica la Tabla 21.

NÚMERO DE RANURA	TIPO DE MÓDULO
0	Controlador
1	Entradas Digitales
2	Salidas Digitales
3	Entradas Analógicas
4	Salidas Analógicas
5	Entradas RTD
6	Libre
7	Entradas RTD
8	Ethernet
9	Ethernet

Tabla 21. Lista de conexión de los Módulos



Figura 97. Fuente de alimentación Allen Bradley instalada en el chasis

La Figura 98 muestra la Unidad de Procesador (Logix 5555) a ser conectado en el chasis, el mismo que se conecta en la ranura o Slot 0. En la Figura 99 se puede observar el módulo de salidas analógicas, este módulo ocupa el Slot 4 del chasis.



Figura 98. Procesador LOGIX 5555 Allen Bradley



Figura 99. Módulos de Salidas Analógicas Allen Bradley

La Figura 100 muestra el chasis con todos los módulos de entrada/salida instalados, así como la fuente de alimentación, el controlador y las tarjetas Ethernet. Cada elemento ocupa un sitio específico cumpliendo el orden indicado en la Tabla 20.



Figura 100. PLC a ser instalado en el Panel Local

Luego de conectar los módulos en el chasis se procede a conectar el computador y el Panel View (Figura 101), los mismos que se comunican con el PLC vía Ethernet por lo que se requiere dos cables de tipo UTP directos con conector RJ45.

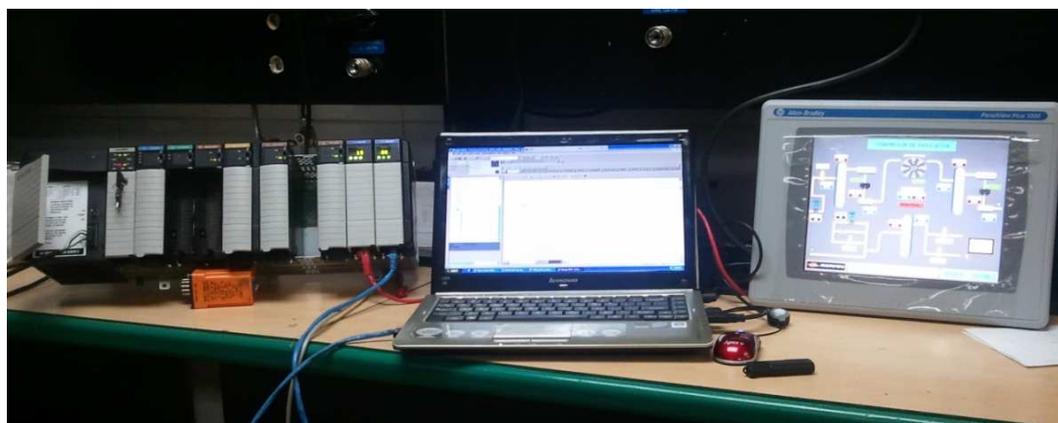


Figura 101. Conexión del Sistema de Control para pruebas internas.

La comunicación entre los dispositivos que componen el Sistema de Control se la realiza configurando una red Ethernet, para esto es necesario asignar direcciones IP a cada uno de los equipos así como a los módulos Ethernet conectados en el chasis. Las direcciones IP utilizadas para la configuración de la red se muestran en la Tabla 22.

ELEMENTO	DIRECCIÓN IP
Computador	192.168.25.3
Panel View 1000	192.168.25.6
Tarjeta Ethernet 1	192.168.25.1
Tarjeta Ethernet 2	192.168.25.5

Tabla 22. Lista de Direcciones IP

Una vez que la red ha sido configurada y cada uno de los elementos posee una IP específica, se puede descargar los programas tanto al controlador como al Panel View para realizar las pruebas internas de funcionamiento y así corregir los errores que se presenten durante las pruebas.

Básicamente las pruebas consisten en verificar que los elementos se comuniquen entre sí, y sobre todo que el Panel View se pueda comunicar con el controlador para el correcto funcionamiento de la HMI.

En la Figura 102 se puede observar que se estableció una correcta comunicación entre los diferentes elementos, y que todos los módulos de entrada y salida se encuentran funcionando. De igual forma las tarjetas Ethernet han sido configuradas correctamente y se les ha asignado las direcciones IP mencionadas anteriormente.



Figura 102. PLC en línea

La Figura 103 muestra la fuente externa que se utiliza para alimentar el Panel View 1000, el mismo que necesita de 24 VDC para su funcionamiento. En la misma se puede observar que en la pantalla del Panel se encuentra corriendo la aplicación de la HMI creada.

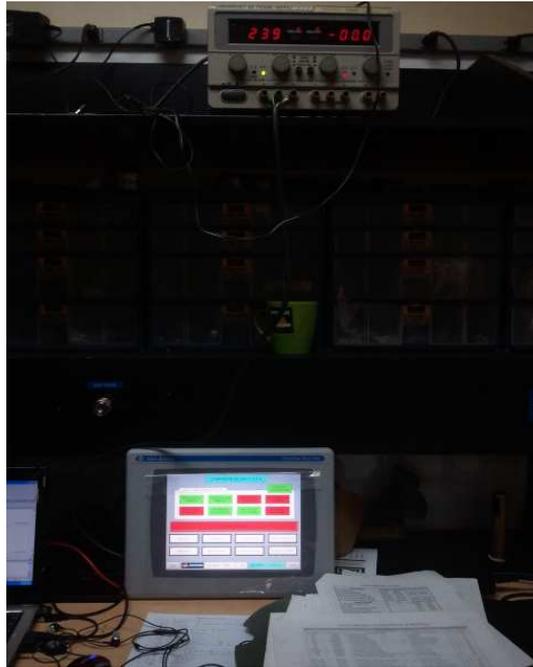


Figura 103. Fuente de alimentación externa

La Figura 104 muestra la pantalla “Grafica Proceso” en la cual se puede observar el estado de los diferentes instrumentos según la programación realizada en la aplicación.

También se han asignado valores de presión y temperatura a las variables creadas, estos valores son ingresados manualmente en el programa del controlador para realizar la simulación. De igual forma se realiza el force de ciertos contactos con el fin de verificar que la HMI está leyendo correctamente las variables.

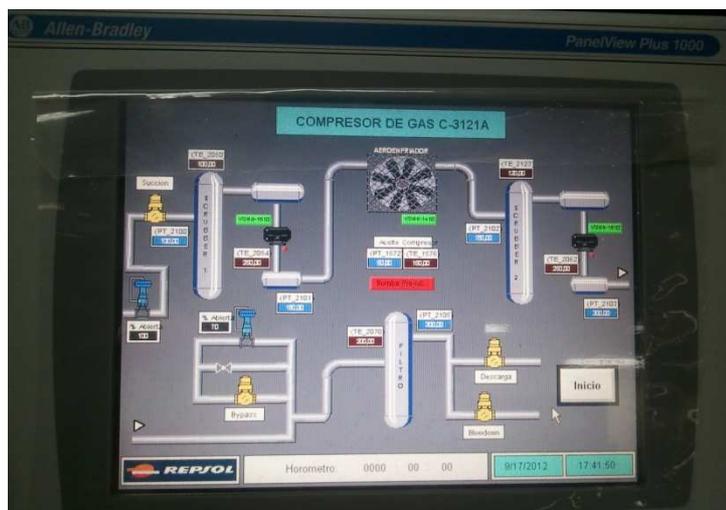


Figura 104. Pantalla Grafica Proceso

Luego de realizar varias pruebas, corregir errores y agregar algunos detalles a las pantallas de la HMI los programas tanto para controlador como para el Panel View 1000 son aprobadas por los Coordinadores del Departamento de Instrumentación y del Departamento de Generación Gas.

5.2. Implementación en campo del Sistema de Control

Se continúa con la etapa final del proyecto, la implementación en campo del sistema de control, para lo cual el primer paso es desmontar los equipos que van a ser reemplazados, tanto el PLC como el Panel View son desinstalados del Panel Local del Compresor de Gas.

5.2.1. Desmontaje de los elementos a ser reemplazados

El Panel Local se apaga para trabajar sin peligro y con normalidad. Sin embargo se retira también los fusibles que energizan los diferentes elementos, principalmente el fusible F2 que energiza la fuente de alimentación de la cual se obtienen los 24 voltios, ver Anexo A.

Una vez que existen las condiciones de trabajo se procede a desmontar el PLC, como se conoce el sistema no se encontraba en óptimas condiciones, motivo por el cual el personal del Departamento de Instrumentación colocaron un soporte al PLC para mayor seguridad y protección del mismo.

En la Figura 105 se puede observar que una vez que el soporte es retirado el PLC empieza a desmoronarse, la fuente de alimentación se desarma, los módulos de entrada y salida no se mantienen fijos, esto prueba el mal estado en el que se encontraba el sistema y el por qué era tan urgente e importante realizar la migración.

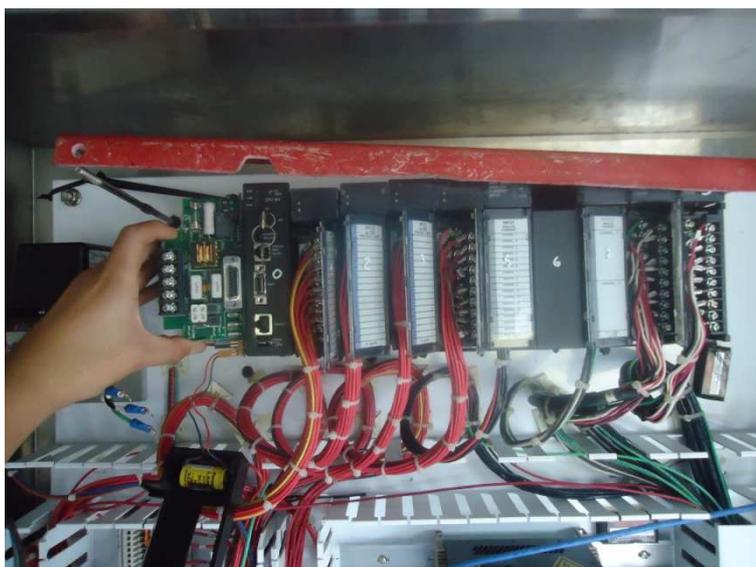


Figura 105. Desmontaje del PLC

La Figura 106 muestra el chasis una vez que los módulos han sido retirados, las señales se mantienen conectadas en los módulos hasta que el nuevo PLC sea instalado.



Figura 106. Chasis a ser reemplazado

La Figura 107 muestra el Panel Local del compresor una vez que el chasis ha sido desinstalado por completo, el espacio libre será ocupado por el nuevo chasis.

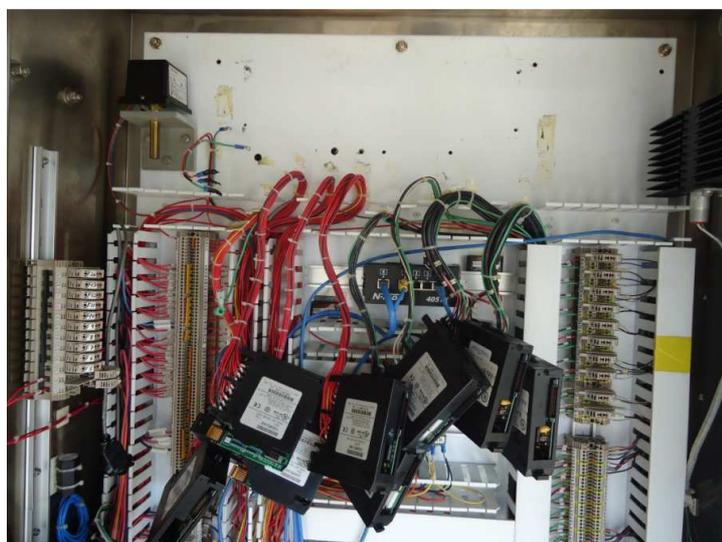


Figura 107. Panel Local con el PLC desinstalado

En la Figura 108 se muestra el chasis General Electric que fue retirado del Panel Local, como se puede observar el chasis está deteriorado y en mal estado, el estado en el que se encontraba el PLC no brindaba seguridad y confiabilidad al sistema de control.



Figura 108. Chasis General Electric

El siguiente paso consiste en desmontar el Terminal de Operador, como se menciona en el capítulo anterior el Quick Panel II tiene una alimentación de 24VDC, la Figura 109 muestra los tres cables que se desconectan del Terminal. De igual forma para mayor seguridad primero se retira el Fusible F4, ver Anexo A.

La Figura 110 muestra la parte frontal del Panel Local del compresor, donde se puede observar el espacio que ocupará el Panel View 1000, mientras que la Figura 111 muestra el Terminal de Operador que fue desinstalado.



Figura 109. Alimentación del Terminal de Operador a ser reemplazado



Figura 110. Vista Frontal del Panel Local sin el Terminal de Operador



Figura 111. Terminal de Operador a ser reemplazado

5.3. Montaje nuevo Sistema de Control

Primero se instala el nuevo PLC, las dimensiones del chasis Allen Bradley son semejantes a las del chasis General Electric, motivo por el cual no existe inconveniente al momento de instalar el nuevo chasis.

En la Figura 112 se muestra el chasis Allen Bradley con su fuente de alimentación instalado en el Panel Local del Compresor de Gas C-3121A.



Figura 112. Instalación Chasis Allen Bradley

La Figura 113 muestra el interior del Panel Local una vez que se han conectado los módulos de entrada/salida en el chasis, se puede observar también que las señales permanecen conectadas en los módulos General Electric, para mayor facilidad y orden las conexiones se realizan módulo por módulo.

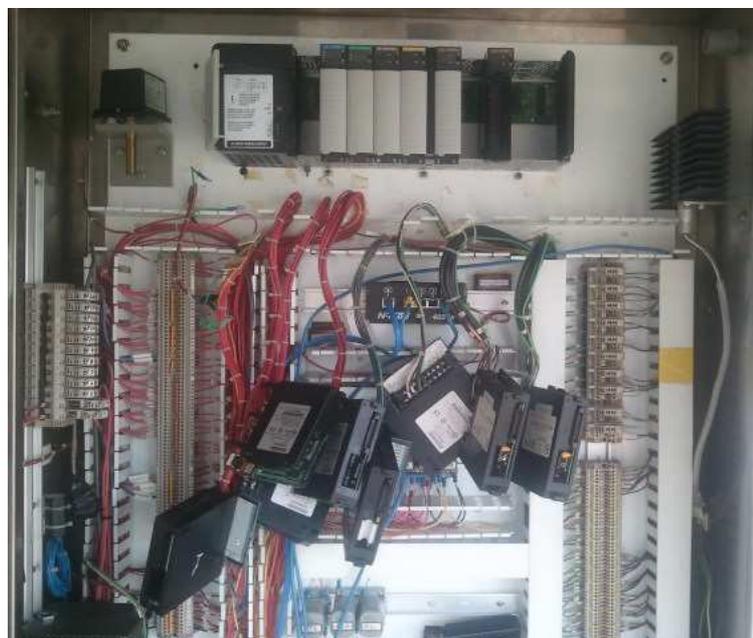


Figura 113. Conexión de los Módulos de entrada/salida en el chasis

Uno de los principales motivos por el cual se realiza la Migración es el sustituir el Terminal de Operador, en la Figura 114 se puede observar el

Quick Panel II que fue desinstalado y a la derecha se encuentra el Panel View 1000 que lo reemplazará. Al poseer características físicas similares el Panel Local no requiere modificaciones para la instalación del nuevo Terminal.



Figura 114. Terminales de Operador

La Figura 115 muestra la parte posterior del Panel View 1000, mientras que la Figura 116 muestra el Panel Local del compresor una vez que el Terminal de Operador ha sido instalado.



Figura 115. Parte posterior Panel View 1000



Figura 116. Panel View 1000 instalado en el Panel Local

5.4. Conexión de señales al nuevo PLC

La Figura 117 muestra uno de los módulos General Electric a ser reemplazado, la conexión de las señales al nuevo PLC se las realiza módulo por módulo, los diagramas eléctricos del compresor indican el orden y el punto donde se conecta cada señal. La Hoja Número 2 del Anexo P indica el cableado de campo para el módulo de entradas digitales.



Figura 117. Módulo General Electric

Basándose en los Diagramas Eléctricos se conecta una a una las señales pertenecientes a cada módulo. En la Figura 118 se puede observar el módulo de entradas digitales con todas sus señales conectadas.



Figura 118. Señales conectadas en el módulo de entradas digitales

En la Figura 119 se muestra los módulos una vez que han sido conectadas las señales de entrada/salida respectivamente.



Figura 119. Señales de entrada y salida conectadas en los diferentes Módulos

La Figura 120 muestra el interior del Panel Local luego de haber conectado todas las señales en los respectivos módulos, como se puede observar, en el chasis quedan sobrando las ranuras o slot donde se conecta el controlador y las tarjetas Ethernet.

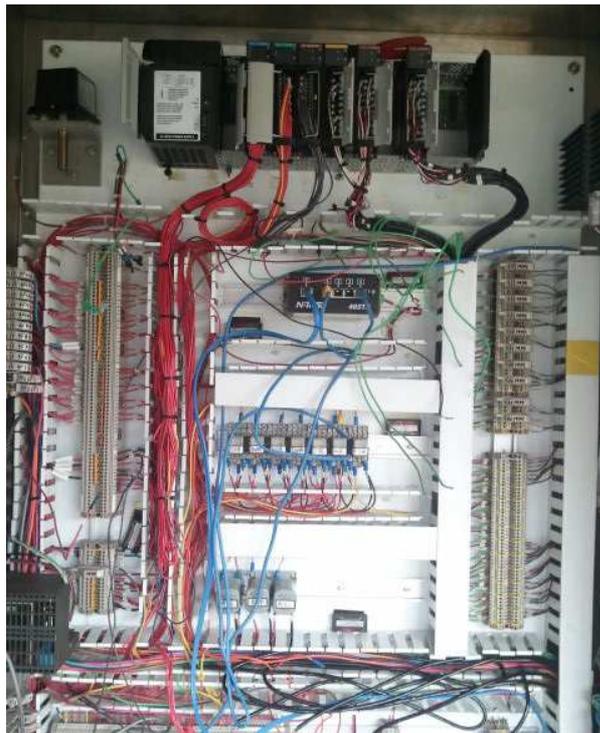


Figura 120. Interior Panel Local durante la Migración

La Figura 121 muestra el PLC Allen Bradley instalado en el Panel Local, como se puede observar el controlador y tarjetas Ethernet han sido conectadas, en el chasis existe un Slot de reserva para futuras modificaciones.

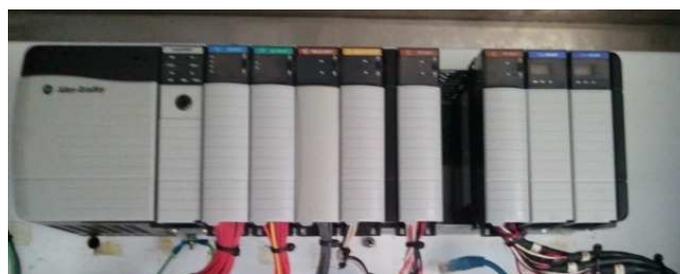


Figura 121. PLC Allen Bradley instalado en el Panel Local

Por último en la Figura 122 se puede observar el interior del Panel Local del Compresor de Gas C-3121A luego de finalizar con la implementación del nuevo PLC, el mismo que se encuentra listo para empezar a realizar las pruebas de funcionamiento en campo.

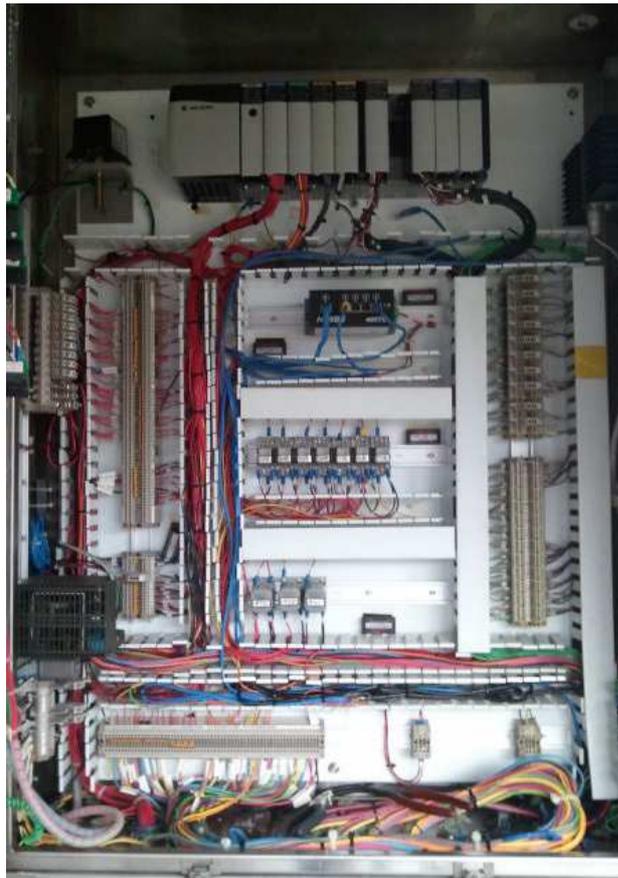


Figura 122. Implementación PLC Allen Bradley finalizada

Una vez que se ha terminado con la implementación de los equipos es recomendable limpiar con mucho cuidado el interior del tablero, de igual forma con un imán limpiar los residuos de las limallas y con mucho cuidado acomodar los cables dentro de las canaletas con la finalidad de que las conexiones se encuentren en perfecto estado antes de realizar las pruebas de funcionamiento.

5.5. Pruebas de campo

Se ha realizado la implementación del Sistema de Control, tanto el PLC como el Panel View se han instalado satisfactoriamente. El siguiente paso y el último consiste en realizar todas las pruebas necesarias antes de realizar el primer arranque del Compresor de Gas.

Es muy importante revisar y comprobar detenidamente el voltaje que existe en los diferentes puntos del Panel Local antes de energizar los elementos. Principalmente se verifica que ingrese correctamente los 120VAC que proporciona Repsol, una vez que el fusible F1 ha sido conectado, se verifica nuevamente los 120VAC a la salida de los fusibles F2 y F3 los mismos que se conectan a la fuente de alimentación externa y a la fuente de alimentación del chasis respectivamente. De igual forma se comprueba que de la fuente de alimentación externa se obtenga los 24VDC los cuales se utilizan para energizar el Panel View 1000 y los diferentes instrumentos que funcionan con este voltaje. El Diagrama Eléctrico que ayuda a comprender lo explicado anteriormente se encuentra en la Hoja Número 1 del Anexo P.

Una vez que existen las condiciones requeridas se procede a energizar el PLC, el programa en el controlador se encuentra descargado al igual que la aplicación en el Panel View 1000. Se establece la conexión con el software RSLinx de la misma manera que en las pruebas de funcionamiento internas, esto permite poner al controlador en modo online.

Cuando se establece la conexión entre la PC y el PLC se puede manipular mediante el software RSLogix 5000 los diferentes instrumentos que se encuentran instalados en el Compresor de Gas realizando forcer a los contactos de controlan cada instrumento. La Figura 123 muestra la conexión entre la PC y el PLC realizada en el Panel Local del compresor.

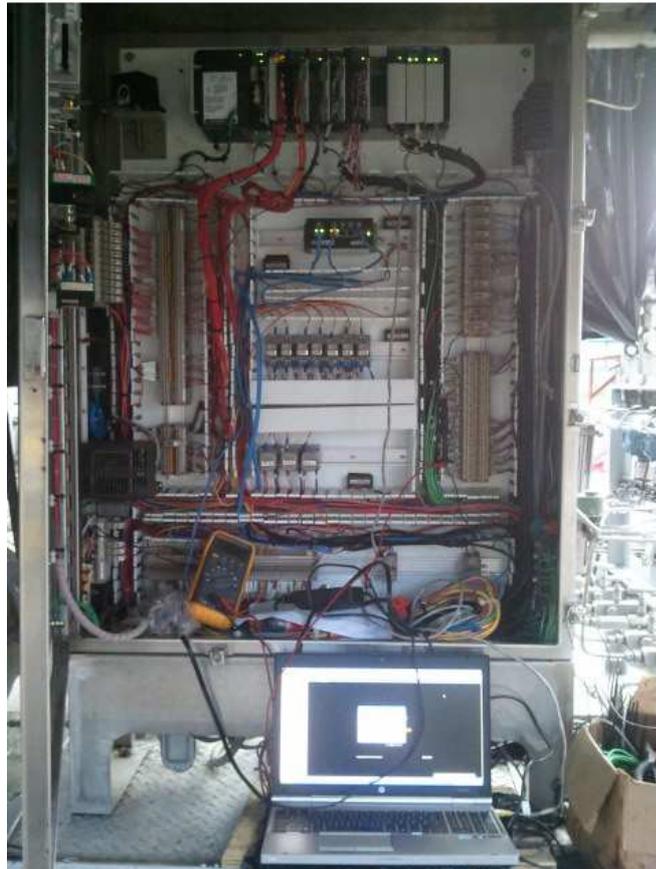


Figura 123. Conexión realizada entre la PC y el PLC

5.5.1. Pruebas Punto a Punto

Las pruebas punto a punto consisten básicamente en realizar pruebas de las señales de la instrumentación de campo, para esto basándose en los diagramas eléctricos del compresor se comprueba el funcionamiento y estado de cada una de las señales.

Es importante recalcar que para realizar estas pruebas se aísla el compresor cerrando la válvula principal que permite el ingreso del gas hacia los filtros que se encuentran antes del Compresor de Gas C-3121A, de esta manera se puede manipular los instrumentos con seguridad y sin peligro de alterar el proceso.

Se designa a una persona del Departamento de Instrumentación para que esté presente durante las pruebas y comisionado de las señales.

Para verificar que la señal está conectada correctamente, al momento de manipular o forzar cada instrumento se observan los LEDs que indican el estado ON/OFF de cada punto, estos indicadores se encuentran ubicados en la parte superior del módulo, para el caso del módulo de entradas digitales están divididos en cuatro filas de ocho leds.

Para el módulo de salidas digitales se tiene dos filas de ocho leds, en los módulos de entrada y salida analógicas así como en los módulos RTD solo se tiene indicadores led que permite comprobar el estado del módulo. En la Figura 124 se puede observar los indicadores LED que posee cada módulo.



Figura 124. Indicadores LED

Físicamente se puede comprobar el estado de cada punto sólo en los módulos digitales, para los analógicos se verifica que el módulo este leyendo el dato correcto de cada instrumento en el software RSLogix 5000.

En la Figura 125 se puede observar el diagrama eléctrico que se utilizó para la verificación de las señales de entrada digital, los diagramas utilizados

para estas pruebas son de Revisión 1, por lo que en los mismo se anotan las observaciones realizadas en base a las señales así como los errores que presenta el diagrama para su posterior corrección.

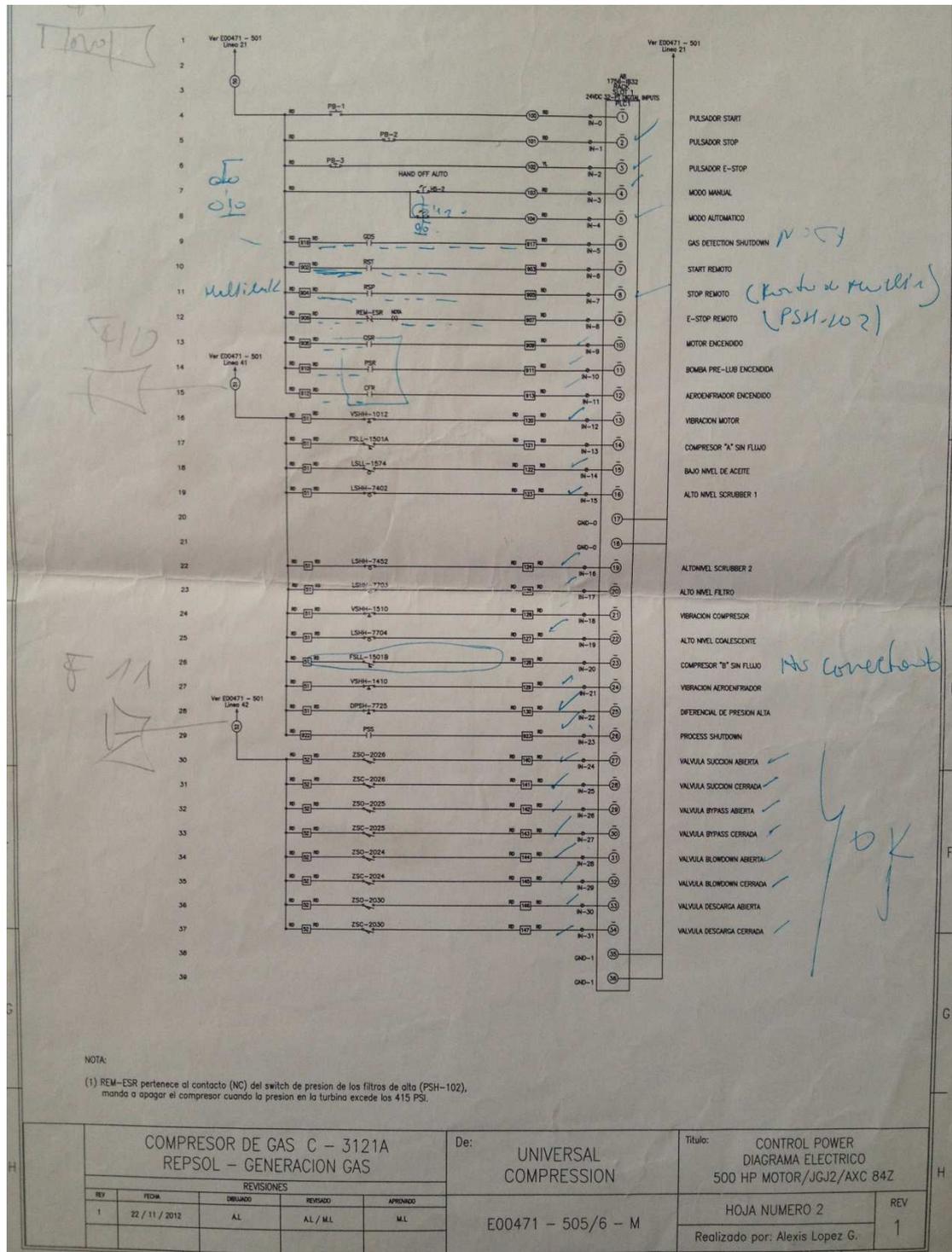


Figura 125. Diagrama Eléctrico utilizado en el comisionado de las señales

En el caso del módulo de entradas analógicas se observa el valor que marca el transmisor de presión y se comprueba con el valor que lee el programa, de igual forma para el módulo de entradas RTD se observa el valor que indican los manómetros instalados en el compresor.

5.5.2. Pruebas de Operabilidad del Sistema

El objetivo de estas pruebas es comprobar que el Sistema de Control trabaje correctamente en conjunto, es decir, verificar el funcionamiento de la instrumentación de campo y su operabilidad así como probar la lógica de control programada y observar el funcionamiento de la HMI.

Luego de energizar el Panel View 1000, se puede observar en la pantalla la aplicación descargada, para poder acceder a todas las funciones que posee la HMI es necesario registrarse como el usuario “ingenieria”. Para esto se presiona el botón **Login** y aparece el cuadro que se puede observar en la Figura 126.

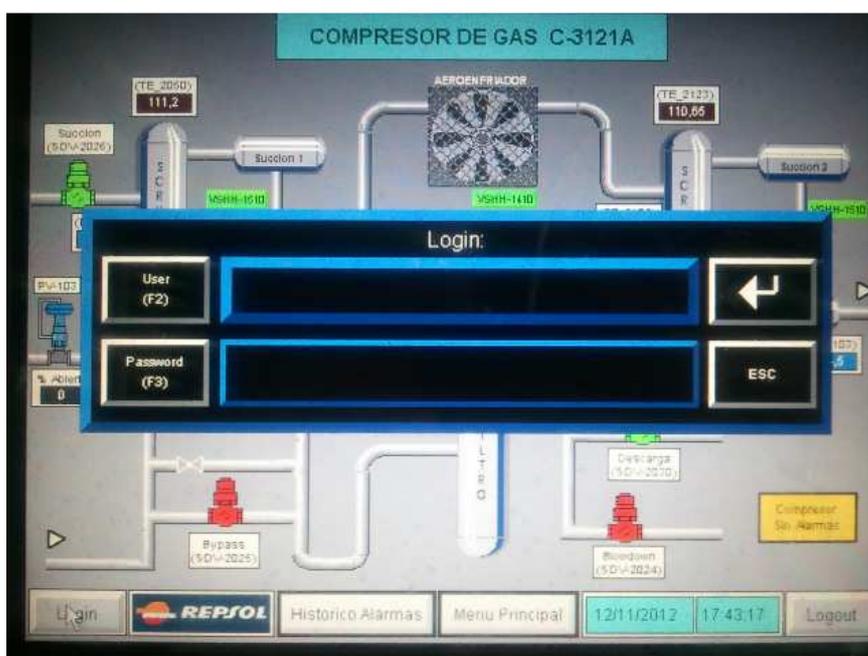


Figura 126. Ventana para registrar el usuario

La pantalla que se muestra en la Figura 127 es muy útil al momento de realizar las pruebas de operabilidad pues ya que al variar los parámetros de configuración como los sets de presión o temperatura estos valores deben variar también en el programa del RSLogix 5000 lo cual permite comprobar que el sistema funciona correctamente.

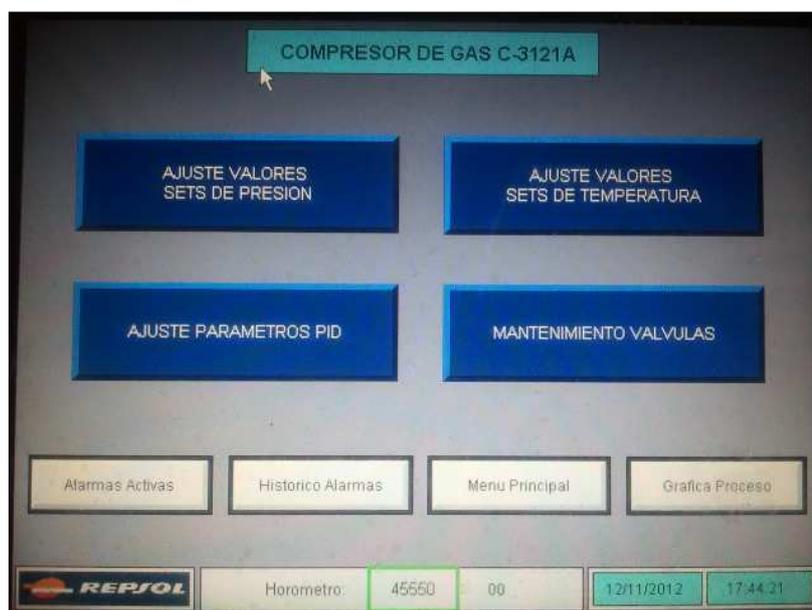


Figura 127. Pantalla AJUSTES COMPRESOR DE GAS

Para comprobar el funcionamiento de las válvulas principales como son la válvula de succión, válvula de descarga, válvula de bypass y válvula de blowdown se utiliza la pantalla "MANTENIMIENTO VALVULAS", la misma permite abrir y cerrar cada una de las válvulas al mismo tiempo que podemos observar el estado de los contactos de los posicionadores.

En la Figura 128 se muestra la pantalla descrita anteriormente, donde podemos ver que existen botones para abrir y cerrar las principales válvulas del Compresor de Gas, también se cuenta con un botón para acceder al mantenimiento de las válvulas de control.



Figura 128. Pantalla MANTENIMIENTO VALVULAS

La Figura 129 muestra la pantalla PRESIONES, en esta pantalla se puede observar que el controlador está leyendo los valores de presión de los transmisores y presentándolos en la HMI.



Figura 129. Pantalla PRESIONES

Uno de los aspectos más importantes es la verificación del funcionamiento de las señales que provocan un shutdown del compresor. Para esto primero se realiza forces en el programa y se comprueba que la

lógica de control actúe correctamente, de igual forma se verifica que la alarma se presente en la HMI.

De igual forma, se comprueba el funcionamiento del sistema activando las señales físicamente, por ejemplo presionando el pulsador de parada del Panel Local. Uno de los instrumentos principales es el switch de vibración, se lo activa dándole un pequeño golpe, de esta forma se observa si el controlador lee la activación de esta señal, si la alarma se presenta en el Panel View y si la lógica de control actúa y apaga el compresor.

Así se comprueba la operabilidad del Sistema, verificando que las señales provenientes de la instrumentación de campo sean reconocidas por el PLC y presentadas en el Panel View y mediante la activación de las señales se verifica el funcionamiento de la lógica de control de la programación realizada.

5.5.3. Pruebas de Arranque

Luego de que se han realizado las pruebas punto a punto y las pruebas de funcionamiento y operabilidad del sistema el Compresor de Gas se encuentra listo para arrancar.

En las pruebas de arranque se tiene algunos inconvenientes, uno de ellos el mal funcionamiento de la válvula que controla el ingreso del gas a los filtros, el set de presión del PIC (Figura 130) Controlador indicador de Presión es de 103 PSI pero la presión de gas que se tenía antes de los filtros superaba los 120 PSI y esto impedía que el compresor funcione correctamente ya que la presión de succión en el scrubber 1 era demasiada alta y el compresor se apagaba.



Figura 130. PIC-101

Uno de los mayores problemas al realizar las pruebas fue la disponibilidad de gas pues uno de los almacenadores se encontraba en mantenimiento. Al momento que se arrancaba el compresor y este por uno u otro motivo se apagaba, todo el gas que ya había ingresado era mandado a quemar en la tea ya que la válvula de blowdown se abre cuando se da un shutdown del compresor. Esto provocaba que los acumuladores no tengan el gas suficiente para el normal funcionamiento del proceso, y los operadores no permitían realizar varias pruebas durante el día.

Una vez corregidos algunos problemas se procede a realizar más pruebas de funcionamiento, una de las maneras de comprobar la estabilidad del sistema es mediante la respuesta que tiene las dos válvulas controladoras de presión. Para esto mientras el compresor está en funcionamiento se varía el set point de la presión de gas de entrada, como se puede observar en la Figura 131 se varía el set point a 100 PSI, la válvula de venteo se encuentra abierta al 100% y la variable de proceso es de 101,9 PSI.

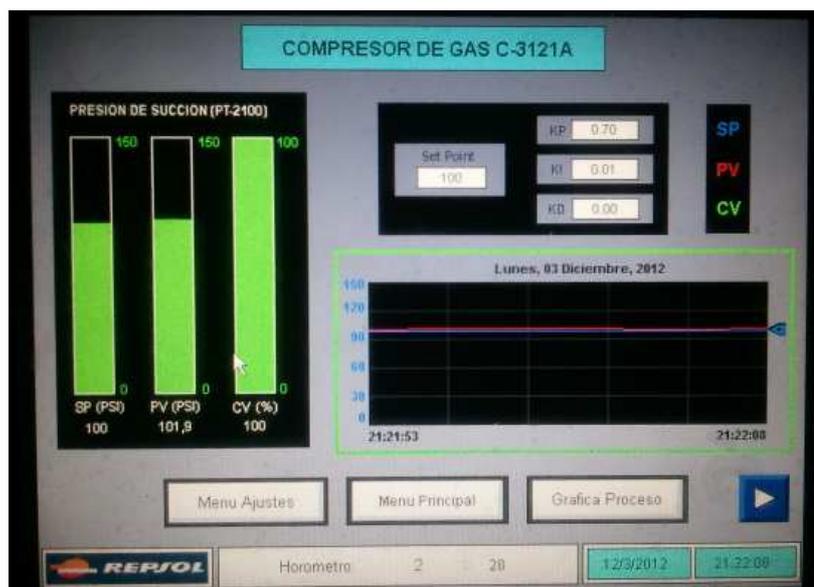


Figura 131. Respuesta Válvula de Venteo (PV-103)

Al igual que se modificó el set point de la presión de entrada, se varía la presión de descarga para observar la respuesta del sistema. En la Figura 132 se puede observar que se modifica el set point a 260 PSI, la válvula de recirculación actúa y se cierra a un 74,9% y la variable de proceso es de 263,1 PSI.



Figura 132. Respuesta Válvula de Recirculación (PCV-2032)

Los valores de los parámetros KP, KI, KD fueron modificados de forma mínima durante las pruebas de arranque y funcionamiento, se realiza solo un ajuste fino con el objetivo de obtener una respuesta más rápida del sistema. Para conocer más sobre la Sintonización de los lazos de control del Compresor de Gas consultar el Anexo R.

La Figura 133 muestra la pantalla **Grafica Proceso** capturada durante las pruebas de funcionamiento realizadas, donde se puede observar el estado de las válvulas y los valores de presión y temperatura en las diferentes etapas del Compresor de Gas C-3121A.

Se realizaron varias pruebas, como por ejemplo activar el switch de vibración o presionar el pulsador de emergencia mientras el compresor se encontraba en funcionamiento. También para mayor seguridad de que el sistema funcionaba correctamente se dejaba recirculando gas por varias horas o durante toda la noche con el fin de observar si se presentaba alguna novedad.

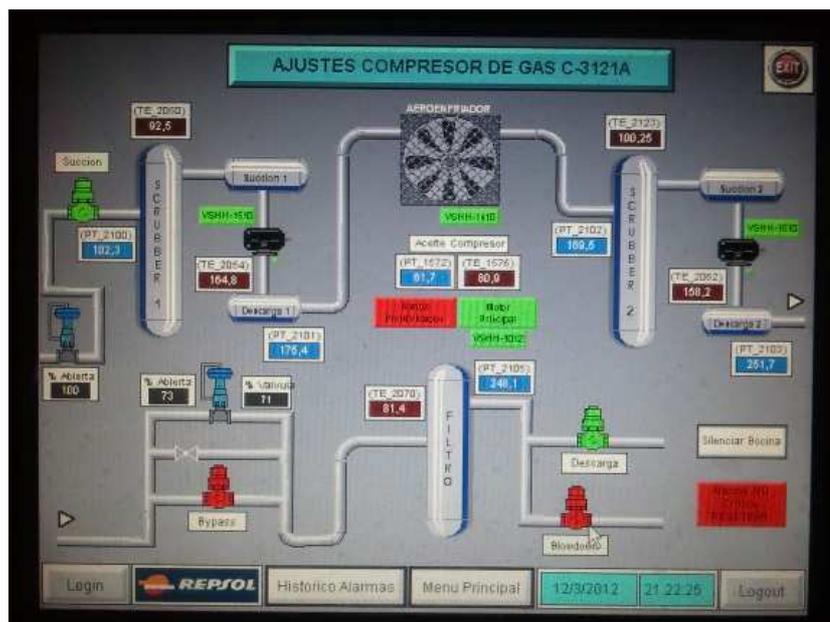


Figura 133. Pantalla GRAFICA PROCESO durante las pruebas de arranque.

5.6. Resultados

Una vez que se han realizado las pruebas de arranque y se ha comprobado que el Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A funciona de la manera esperada, el proyecto está listo para ser entregado en presencia de los Coordinadores tanto del Departamento de Generación Gas como del Departamento de Instrumentación, y junto con los Coordinadores y Operadores realizar las pruebas finales de funcionamiento.

Las pruebas finales de funcionamiento y en donde en verdad se verifica que el sistema de control sea estable es observando la respuesta que tiene el sistema una vez que se realiza la apertura y cierre de las válvulas que se tiene en los filtros, de igual forma mediante apertura de la válvula que permite el ingreso del gas a la turbina.

Primero el compresor es puesto en marcha, una vez que el sistema está estable el operador procede a manipular las válvulas de salida de gas que se tiene en los filtros, esto hace que la presión de gas que se tiene a la entrada varíe bruscamente.

La Figura 134 muestra los filtros por los que pasa el gas antes de ingresar el Compresor de Gas C-3121A.

La prueba final es cuando el operador abre la válvula que permite el paso del gas hacia la turbina, cuando esta válvula es abierta la presión que se tiene a la salida empieza a bajar rápidamente, en estos casos es cuando el sistema de control actúa y mantiene estable tanto la presión de gas de entrada como la de descarga.



Figura 134. Filtros

En la Figura 135 se puede observar la respuesta que tiene el sistema para mantener la presión de entrada en 105 PSI, también se puede ver que la válvula de venteo se encuentra totalmente cerrada esto es debido a que la variable de proceso aun no supera los 105 PSI, sin embargo mientras menos abierta se encuentre esta válvula durante el funcionamiento del compresor es mejor, ya que no se está constantemente enviando a quemar gas en la tea.

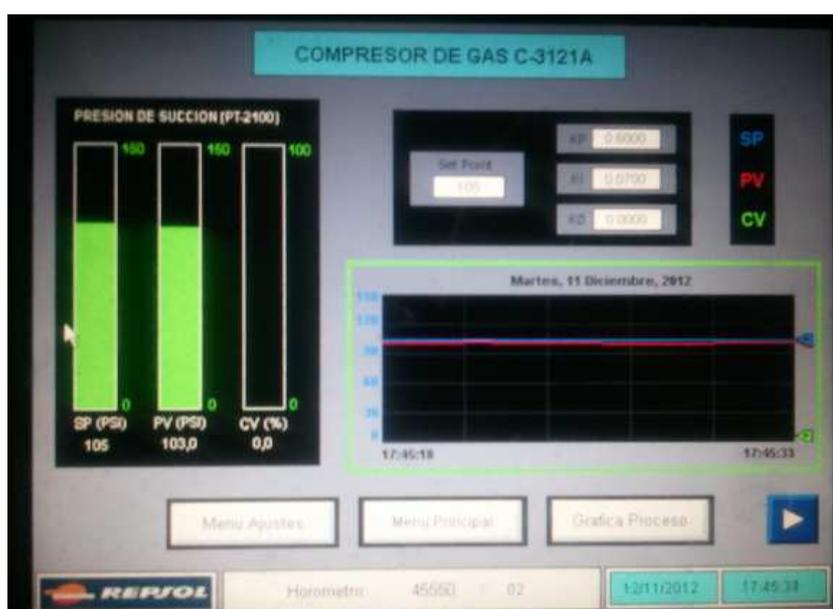


Figura 135. Respuesta del Sistema de Control (Presión de Succión)

Por otra parte, la Figura 136 muestra la respuesta del sistema para la presión de descarga final. Como se puede observar la variable de proceso es de 390,7 y la válvula abierta en un 67,2%. La válvula de recirculación se cierra hasta que la variable de proceso sea igual al set point.



Figura 136. Respuesta del Sistema de Control (Presión de Descarga)

En la Figura 137 se muestra el Panel Local una vez que el Compresor se encuentra encendido, podemos ver que la aplicación HMI funciona perfectamente, las válvulas de succión y descarga están en color verde ya que se mantienen abiertas y las válvulas de bypass y blowdown en color rojo ya que deben permanecer cerradas luego de concluir la secuencia de arranque.

Luego de realizadas las pruebas finales con los filtros y la turbina, el compresor se encuentra en normal funcionamiento y 100% operativo, por lo que la Migración del Sistema de Control del Compresor de Gas C-3121A ha finalizado con éxito.



Figura 137. Panel Local con el Compresor de Gas en funcionamiento

Como se mencionó al inicio del proyecto uno de los objetivos principales era reemplazar el Terminal de Operador el cual se encontraba totalmente deteriorado y fuera de servicio, una vez terminada la migración el Panel Local del compresor cuenta con la interfaz que permite a los operadores del área de Generación Gas monitorear y controlar el proceso.

La Figura 138 muestra una comparación entre la pantalla principal de la HMI antigua y la HMI realizada en este proyecto.

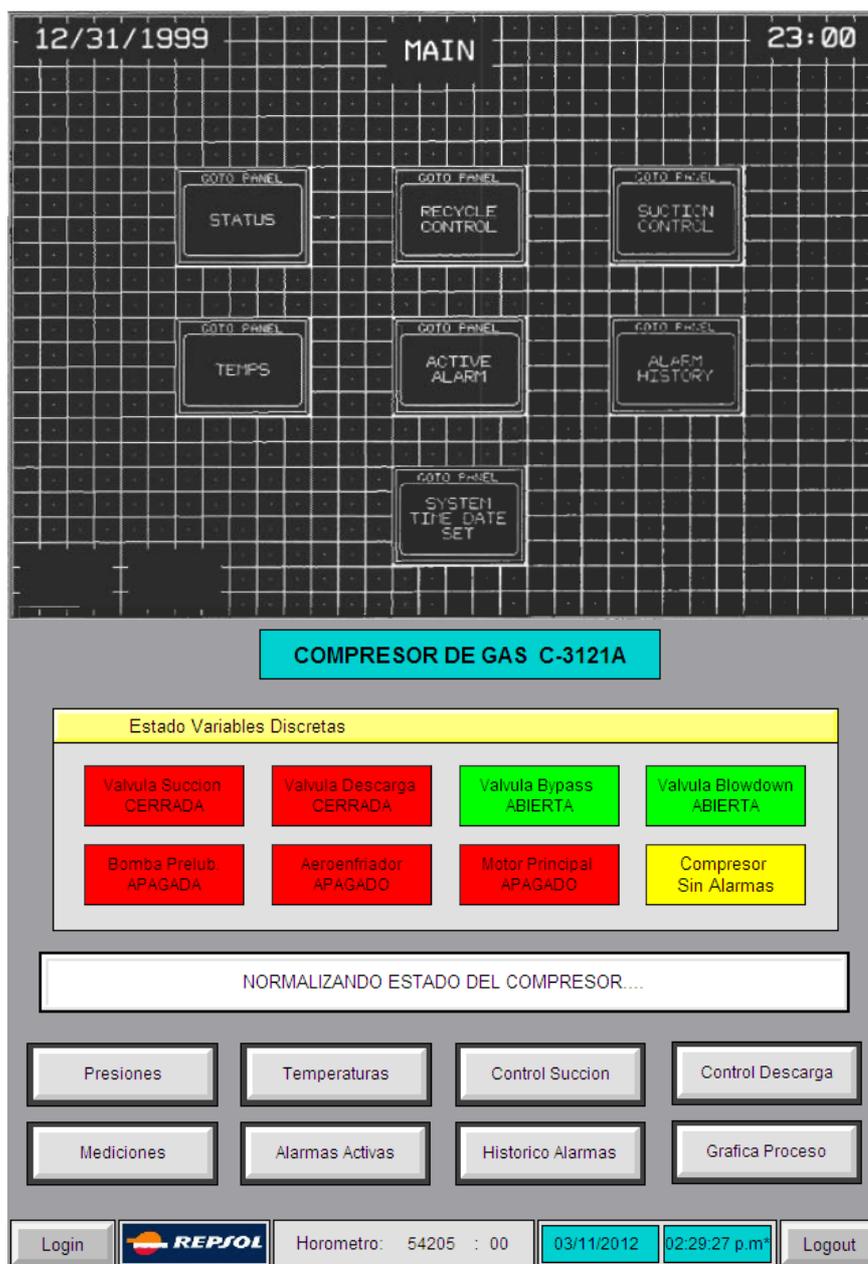


Figura 138. Diferencia Pantalla Principal HMI antigua y HMI nueva

Como se puede observar existe una gran diferencia, además de la apariencia de la HMI creada en el proyecto es muy importante las nuevas funciones que se añadieron en la aplicación.

Por último la Figura 139 muestra una comparación entre las pantallas en donde se presentan los valores de temperatura de las RTD instaladas en los diferentes puntos del Compresor de Gas C-3121A.

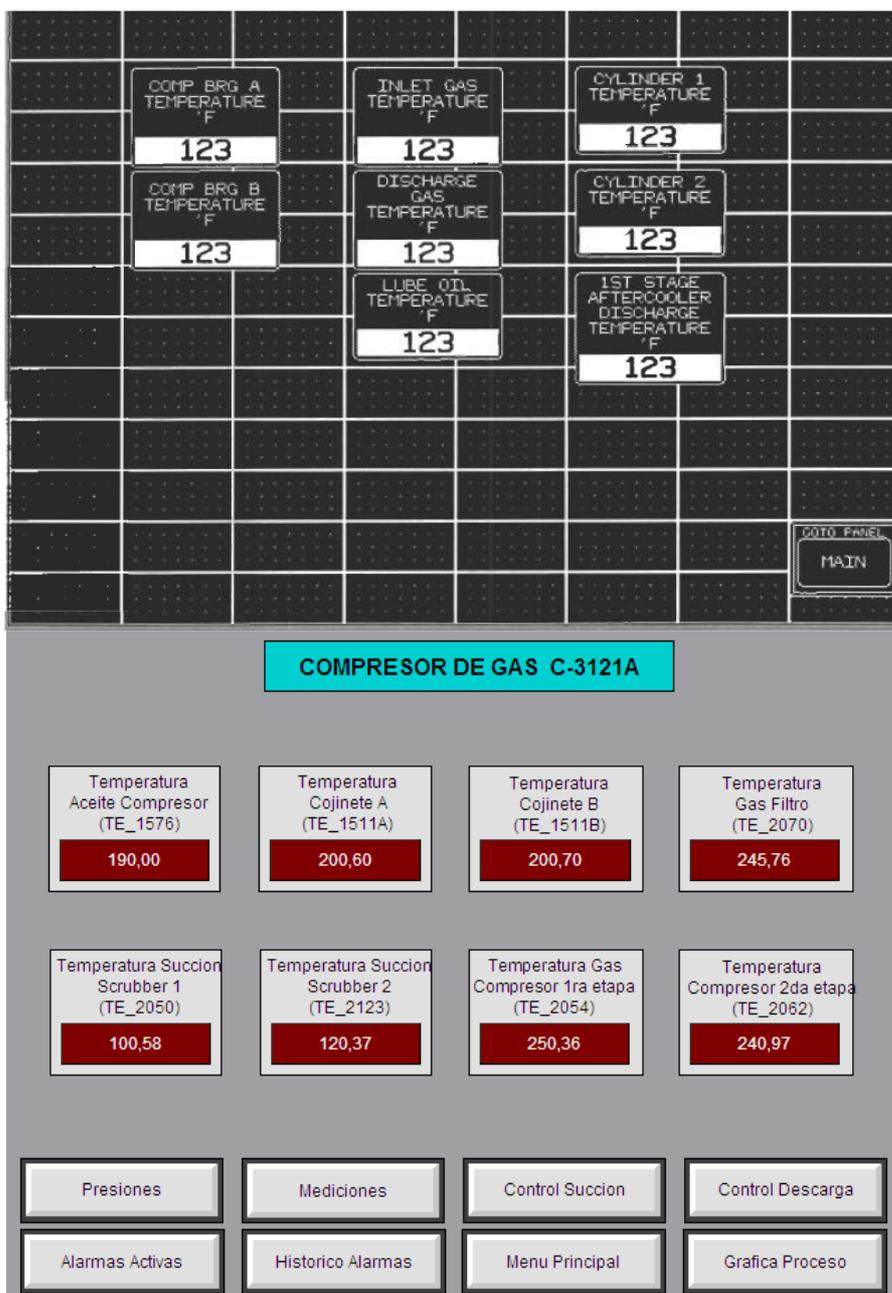


Figura 139. Diferencia Pantalla “Temperaturas” HMI antigua y HMI nueva

Finalmente, tanto el software como el hardware se han implementado satisfactoriamente, cumpliendo con los requerimientos solicitados y políticas de la empresa, los Coordinadores tanto del Departamento de Generación Gas & Diesel como del Departamento de Instrumentación reciben el proyecto una vez terminadas las pruebas finales de funcionamiento dando por finalizado el trabajo.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. La migración de un Sistema de Control dentro de una industria resulta una tarea muy difícil y compleja ya que afecta directamente al normal y correcto funcionamiento del proceso, más aún cuando esta implica un cambio o actualización tanto en hardware como en software.
2. Se debe establecer un cronograma bien detallado sobre las actividades a realizarse en las diferentes etapas del proyecto, para cumplir en los tiempos establecidos cada tarea y finalizar el trabajo en el plazo indicado.
3. El uso de PLC's dentro de un proceso nos permite contar con un sistema de control automático eficiente y muy confiable debido a todas las ventajas que brinda este equipo.
4. El Compresor de Gas C-3121A es de vital importancia dentro del Sistema de Generación Eléctrica en el Bloque 16, ya que es el encargado de enviar el gas a la Turbina LM2500 la cual tiene una capacidad de 18MW.

5. El levantamiento de información es la primera etapa a realizarse en cualquier proyecto, esto representa el punto de partida para el desarrollo de la migración del Sistema de Control ya que es necesario conocer a profundidad el funcionamiento del Compresor.
6. El estudio y análisis de los diagramas PI&D permitió conocer los equipos e instrumentación de campo que se utiliza para controlar el proceso y mediante los diagramas eléctricos observar la conexión física que existe entre los diferentes dispositivos.
7. Se utilizó equipos Allen Bradley para la migración del Sistema de Control del Compresor de Gas con la finalidad de estandarizar los mismos dentro de la Planta SPF. El PLC implementado permite realizar algoritmos de control avanzados, tener un rendimiento mejorado del sistema con mayor calidad, confiabilidad y flexibilidad.
8. La aplicación HMI desarrollada posee pantallas muy amigables, las cuales cuentan con nuevas características y varias funciones adicionales, lo que beneficia a los técnicos y sobre todo a los operadores del área de Generación Gas al momento de operar, monitorear y verificar el estado del compresor.
9. Las pruebas internas de funcionamiento realizadas en el taller del Departamento de Instrumentación permitieron verificar el estado de los equipos y su correcto funcionamiento, de igual forma probar, corregir y depurar los programas tanto del controlador como del Panel View 1000.

10. La implementación en campo de los equipos requiere del cumplimiento estricto de los procesos de trabajo recomendados por el fabricante así como de las normas de seguridad industrial y personal.
11. La verificación de energía y voltaje requerido en cada punto del Panel Local es muy importante antes de conectar o energizar cada elemento que compone el Sistema de Control.
12. El comisionado de las señales de entrada/salida y las pruebas punto a punto permite comprobar la correcta conexión de cada una de las señales así como el normal funcionamiento de la instrumentación de campo antes de realizar las pruebas de arranque del Compresor de Gas.
13. La documentación entregada al personal del Departamento de Instrumentación permitirá a los técnicos tener información clara y verídica sobre el estado y condiciones en las que se encuentra el compresor y tener la capacidad de realizar cambios en el sistema según lo requiera el proceso, con previa autorización de los coordinadores y gerentes.
14. El Sistema de Control implementado desempeña las funciones requeridas por el proceso, permitiendo al Compresor C-3121A alcanzar la presión de gas requerida por la Turbina LM2500 para su funcionamiento.
15. La migración del controlador permitió mejorar el funcionamiento del compresor de gas obteniendo un sistema mucho más seguro y confiable para la Generación Eléctrica de Repsol.

6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda al Departamento de Instrumentación cambiar las direcciones IP asignadas a los equipos durante la implementación del Sistema de Control, con la finalidad de que se encuentren dentro de la Red de Repsol y el Compresor de Gas pueda ser monitoreado remotamente.
2. Instalar un horómetro digital para contabilizar las horas de funcionamiento del Compresor de Gas C-3121A para comparar este valor con el número de horas que indica la HMI y así llevar un mejor control.
3. Implementar en el Panel Local una baliza de emergencia o luz de alerta para cuando se presenta una alarma o shutdown en el Compresor de Gas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Sánchez, J. (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Madrid, España: Díaz de Santos S.A.
- Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial*. Barcelona España: Marcombo S.A.
- Granda, Maricela (2009). *Estudio de la factibilidad de migración de los sistemas Plant Scape Process de Honeywell en NPF y del sistema de control distribuido foxboro en SPF a un sistema de rockwell automation en el bloque 16, Repsol YPF*. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE): Sangolquí, Ecuador.
- Saravia, D. (1 de Abril de 2013). *Controlador Lógico Programable*. Obtenido de sitio web de Slideshare: <http://www.slideshare.com>
- Maza, A. (1 de Abril de 2013). *Controlador Lógico Programable PLC*. Obtenido de sitio web de UDLAP Bibliotecas: <http://catarina.udlap.mx>
- *Control Automático*. (3 de Abril de 2013). Obtenido de sitio web de Sapiensman: <http://www.sapiensman.com>
- Honeywell. (3 de Abril de 2013). *Instrumentación de Campo*. Obtenido de sitio web de Honeywell: <http://www.honeywellsp.com>

- General Electric. (22 de Abril de 2013). *Automatismos y Control*. Obtenido de sitio web de GE Power Controls: <http://www.gepowercontrols.com>

- Documentación Técnica, *Archivos Repositorio REPSOL*.