

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE CONTROL CON ACCIONAMIENTO REMOTO INALÁMBRICO PARA EL MANEJO DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN DEL BOP (BLOWOUT PREVENTER) DEL TALADRO DE PERFORACIÓN CPV23 DE LA EMPRESA PDVSA ECUADOR”

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

REALIZADO POR:

ACOSTA PAZMIÑO IVÁN PATRICIO
PORRAS VIVANCO ANDRÉS ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA Y. LUIS
CODIRECTOR: ING. OLMEDO S. JOSÉ

SANGOLQUÍ, MAYO 2014

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE CONTROL CON ACCIONAMIENTO REMOTO INALÁMBRICO PARA EL MANEJO DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN DEL BOP (BLOWOUT PREVENTER) DEL TALADRO DE PERFORACIÓN CPV23 DE LA EMPRESA PDVSA ECUADOR”** fue realizado en su totalidad por Iván Patricio Acosta Pazmiño y Andrés Alejandro Porras Vivanco, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Ing. Luis Echeverría Y.
DIRECTOR

Ing. José Olmedo S.
CODIRECTOR

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE CONTROL CON ACCIONAMIENTO REMOTO INALÁMBRICO PARA EL MANEJO DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN DEL BOP (BLOWOUT PREVENTER) DEL TALADRO DE PERFORACIÓN CPV23 DE LA EMPRESA PDVSA ECUADOR”

ELABORADO POR:

Iván Patricio Acosta Pazmiño

Andrés Alejandro Porras Vivanco

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Ing. Francisco Terneus
Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Sangolquí, mayo de 2014

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Iván Patricio Acosta Pazmiño y Andrés Alejandro Porras Vivanco.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE CONTROL CON ACCIONAMIENTO REMOTO INALÁMBRICO PARA EL MANEJO DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN DEL BOP (BLOWOUT PREVENTER) DEL TALADRO DE PERFORACIÓN CPV23 DE LA EMPRESA PDVSA ECUADOR”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Iván Patricio Acosta Pazmiño

Andrés Alejandro Porras Vivanco

Sangolquí, mayo de 2014

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis para la obtención de mi título de Ingeniero en Mecatrónica, primeramente a mis padres y a mis hermanas por ser mi inspiración cada día y, a mi novia que a pesar de la distancia siempre me brindó su apoyo y su amor incondicional.

Iván Patricio Acosta Pazmiño.

DEDICATORIA

A mis padres, Emma y Ricardo, los pilares y ejemplo en mi vida. A Sonia y a mis hermanos Ricardo, Juan José y Andrea, que son mis mejores amigos y apoyo total. A Giselle, mi compañera de vida, y a toda mi familia.

Andrés Alejandro Torres Vivanco.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres por el esfuerzo realizado para brindarme la educación, a mi novia por siempre apoyarme en todo el proceso, a la empresa PDVSA Ecuador, por darnos la oportunidad de realizar este proyecto y darnos todo el apoyo, tanto económico como profesional. A todo el personal de la compañía por aportar con sus conocimientos tanto en el desarrollo como en la instalación del sistema, a los ingenieros directores de tesis por guiarnos en todo el proceso y especialmente a mi compañero de tesis por todo el trabajo en equipo realizado para sacar adelante este proyecto.

Iván Patricio Acosta Razmiño.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarnos en el desarrollo de este proyecto. A mis padres por su ejemplo de constancia, sacrificio e incondicional apoyo a lo largo de mi carrera. A mi novia, por ser mi impulso y motivación en todo momento. A PDVSA Ecuador por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto, y a mi compañero de tesis por el excelente trabajo en equipo realizado.

Andrés Alejandro Torres Vivanco.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	xxiv
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 General.....	5
1.4.2 Específicos.....	5
 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	 6
2.1 SISTEMA BOP (Blowout Preventer).....	6
2.1.1 Definición.....	6
2.1.2 Partes	6
2.1.2.1 Preventor Anular.....	7
2.1.2.2 Rams inferior y superior	12
2.1.2.3 Ram Ciego.....	13
2.1.2.4 HCR (High Close Ratio)	14
2.1.2.5 Kill Line	14
2.1.3 Funcionamiento	15
2.1.3.1 Preventor Anular.....	15
2.1.3.2 Rams Inferior y Superior	16
2.1.3.3 Ram Ciego.....	17
2.1.3.4 Kill Line	18
2.1.3.5 HCR (Válvula de Control Hidráulico)	19
 2.2 ACUMULADOR DE PRESIÓN.....	 20
2.2.1 Definición	20
2.2.2 Subsistemas	22
2.2.2.1 Sistema neumático.....	22
2.2.2.2 Sistema hidráulico	25
2.2.2.3 Sistema eléctrico	26
2.2.2.4 Seguridad y protecciones.....	27
2.2.3 Descripción de partes del Acumulador de Presión	27
 2.3 CONTROL REMOTO	 43
2.3.1 Definición.....	43
2.3.2 Características y componentes	44
2.3.3 Funcionamiento	46
 2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).....	 50
2.4.1 Clasificación.	52

2.4.2 Módulos de Expansión.	53
2.4.3 Programación.....	56
2.4.3.1 Esquema de Contactos (KOP):	60
2.4.3.2 Diagrama de funciones (FUP):	61
2.4.4 Comunicación.	61
2.4.5 IWLAN	62
2.4.6 Infraestructura de Radiotransmisión:	64
2.4.6.1 Solución de red con IWLAN:.....	65
2.4.6.2 Puntos de acceso:.....	65
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA	68
3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO	68
3.1.1 Identificación de la oportunidad.....	69
3.1.1.1 Antecedentes.....	69
3.1.2 Mission Statement	70
3.1.2.1 Planteamiento.....	70
3.1.2.2 Identificación de Mercados	70
3.1.2.3 Metas clave del Proyecto	71
3.1.2.4 Stakeholders.....	71
3.1.3 Identificación de necesidades del cliente	71
3.1.3.1 Objetivos	71
3.1.3.2 Lista de Usuarios:.....	72
3.1.3.3 Entrevista a Usuarios	73
3.1.3.4 Análisis de Resultados:.....	75
3.1.3.5 Requerimientos de norma API RP 16E	78
3.1.3.6 Interpretación de las Necesidades del Cliente:.....	82
3.1.3.7 Identificación de restricciones del Producto	83
3.1.3.8 Ponderación de las Necesidades del Cliente.....	84
3.1.3.9 Resumen de las Necesidades del Cliente.....	85
3.1.4 Especificaciones del producto	87
3.1.4.1 QFD (Quality Function Deployment)	87
3.1.4.2 Especificaciones Obtenidas:.....	87
3.1.5 Generación de conceptos.....	89
3.1.5.1 Five Step Concept Generation Method	89
3.1.6 Selección y Descripción del Concepto:.....	111
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO	112
3.2.1 Diseño del Circuito Neumático e Hidráulico.	112
3.2.1.1 Metodología de diseño	113
3.2.1.2 Análisis de la red de aire neumático.....	118
3.2.1.3 Selección de Componentes Neumáticos	131
3.2.1.4 Selección de Componentes Hidráulicos:.....	137

3.2.2	Análisis de Vibraciones:	139
3.2.3	Diseño de elementos mecánicos	145
3.2.3.1	Soporte de Sensores.....	145
	Función:	145
3.2.3.2	Soporte de cornetas	148
3.2.3.3	Soporte de cajera	157
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	163
3.3.1	Estudio de Carga del Subsistema #1:.....	163
3.3.1.1	Dimensionamiento de Fuentes de Poder	164
3.3.2	Estudio de Carga del Subsistema #2	168
3.3.2.1	Dimensionamiento de Fuentes de Poder	169
3.3.2.2	Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas:	170
3.3.3	Estudio de Carga del Subsistema #3	172
3.3.3.1	Dimensionamiento de Fuentes de Poder	173
3.3.3.2	Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas:	174
3.3.4	Selección de Gabinetes:	175
3.3.5	Accesorios:	176
3.3.5.1	Cables:.....	176
3.3.5.2	Borneras de Conexión:	180
3.3.5.3	Canaletas:.....	183
3.3.6	Distribución de Red Eléctrica:	183
3.3.7	Selección de Equipos de Instrumentación:.....	184
3.4	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	190
3.4.1	Parámetros de Control.....	191
3.4.2	Selección de Equipos	192
3.4.2.1	PLC S7-1200	196
3.4.2.1	Selección de la CPU y módulos:	197
3.4.2.2	Selección de Periferia Descentralizada:.....	202
3.4.3	Automatización	207
3.4.3.1	Análisis de variables del sistema	207
3.4.3.2	Programación PLC	214
3.4.4	Diseño de Interfaz Humano-Máquina	229
3.4.4.1	Panel móvil	229
3.4.4.2	Software de programación	232
3.4.4.3	Método de diseño	233
3.4.4.4	Construcción del Diseño	235
3.4.4.5	Evaluación de la Interfaz	279
3.5	DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	281
3.5.1	IWLAN	281
3.5.1.1	Características de las IWLAN	282

3.5.1.2 Seguridad en las IWLAN.....	285
3.5.1.3 Requerimientos para redes desarrolladas en ambientes industriales	287
3.5.2 Bandas de Frecuencia.....	288
3.5.2.1 Banda de 2,4 GHz	288
3.5.2.2 Banda de 5 GHz	289
3.5.2.3 Comparación de las bandas de 2,4 GHz y 5GHz	290
3.5.3 Selección de equipos.....	291
3.5.4 Cálculo del ancho de banda.....	294
3.5.5 Infraestructura de la red	296
3.5.6 Configuración de la red	297
3.5.6.1 Configuración del Punto de Acceso:	298
3.5.6.2 Configuración del Cliente:.....	302
CAPÍTULO 4: INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS.....	306
4.1 INTRODUCCIÓN.....	306
4.2 INSTALACIÓN DE EQUIPOS	306
4.2.1 Cajera del Acumulador de Presión:	307
4.2.1.1 Adecuaciones Mecánicas	308
4.2.1.2 Sistema Neumático	312
4.2.1.3 Sistema Electro-neumático	315
4.2.1.4 Sistema Eléctrico/Electrónico	317
4.2.1.5 Sistema de Control.....	324
4.2.1.6 Sistema de Comunicación	325
4.2.2 Cajera de la Casa del Perro	327
4.2.2.1 Adecuaciones Mecánicas	330
4.2.2.2 Sistema Neumático	333
4.2.2.3 Sistema Electro-neumático	335
4.2.2.4 Sistema Eléctrico/Electrónico	335
4.2.2.5 Sistema de Control.....	337
4.2.2.6 Sistema de Comunicación	338
4.2.3 Estación del Panel inalámbrico	338
4.3 PLAN DE PRUEBAS	339
4.3.1 Sistema Neumático.....	339
4.3.2 Sistema Electro-neumático.....	340
4.3.3 Sistema Eléctrico/Electrónico.....	342
4.3.4 Sistema de Control	344
4.3.5 Sistema de Comunicación.....	346
4.3.6 Sistema integrado	348

CAPÍTULO 5: COSTOS.....	355
5.1 LISTA DE EQUIPOS	355
5.2 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	357
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	361
6.1 CONCLUSIONES:.....	361
6.2 RECOMENDACIONES:	363

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Distancia que recorren las señales neumáticas.	2
Figura 1.3. Manija del panel de control remoto fijo.	2
Figura 1.2. Panel remoto de control del acumulador de presión	2
Figura 2.1. Arreglo típico de BOP.	7
Figura 2.2. Componentes del Preventor Anular.	8
Figura 2.3. Proceso de Apertura del Preventor Anular	9
Figura 2.4. Movimiento del Pistón del Preventor Anular	9
Figura 2.5. Unidad de Empaque del Preventor Anular	10
Figura 2.6. Sellos del Preventor Anular.	11
Figura 2.7. Tipos de Rams.	13
Figura 2.8. Ram Ciego.	13
Figura 2.9. Cierre del Preventor Anular.	15
Figura 2.10. Rams de Tubería - Pipe Rams.	16
Figura 2.11. Corte de tubería del Ram Ciego	17
Figura 2.12. Kill Line.	19
Figura 2.13. Manifold Choke.	19
Figura 2.15. Sistema Acumulador de Presión.	21
Figura 2.16. Panel remoto original (vista interior).	22
Figura 2.17. Cilindros neumáticos para accionamientos remotos.	23
Figura 2.18. Reservorio de panel remoto original.	24
Figura 2.19. Conector circular del control remoto original CPV-23.	24
Figura 2.20. Botellas acumuladoras, CPV-23	28
Figura 2.22. Filtro en línea de suministro de aire, CPV-23.	29
Figura 2.23. Interruptor de presión neumático, CPV-23.	30
Figura 2.24. Bomba neumática, CPV-23.	31
Figura 2.25. Motor eléctrico del acumulador de presión, CPV-23.	32
Figura 2.26. Bomba Triple del acumulador de presión, CPV-23.	32
Figura 2.27. Filtro de succión hacia la bomba triple, CPV-23.	33
Figura 2.28. Interruptor de presión eléctrico, CPV-23.	34
Figura 2.29. Manómetro del sistema acumulador, CPV-23.	34
Figura 2.30. Válvula reguladora de presión, CPV-23.	35
Figura 2.31. Manómetro del Manifold de distribución, CPV-23.	36
Figura 2.32. Válvula bypass, CPV-23.	36
Figura 2.33. Válvula neumática reguladora del preventor anular.	37
Figura 2.34. Manómetro del anular, CPV-23.	37
Figura 2.35. Válvula hidráulica de 4 vías, CPV-23.	38
Figura 2.36. Válvula de purga, CPV-23.	38
Figura 2.37. Cajas de empalme de aire, CPV-23.	39
Figura 2.38. Transmisores neumáticos de presión, CPV-23.	40
Figura 2.39. Selector de unidad de panel, CPV-23.	41

Figura 2.40. Válvula de seguridad manifold de distribución, CPV-23.	41
Figura 2.41. Unidad acumulador de presión, CPV-23	42
Figura 2.42. Esquema de conexiones Acumulador de Presión.....	44
Figura 2.43. Control Remoto del Acumulador de Presión del CPV-23	46
Figura 2.44. Distancia 1 de ubicación del panel remoto.	47
Figura 2.45. Distancia 2 de ubicación del panel remoto.	47
Figura 2.46. Mal estado mangueras de señales del control remoto.	48
Figura 2.47. Aplastamiento de plato de terminales neumáticas.....	49
Figura 2.48. Enrollado de mangueras para realizar mudanza.....	49
Figura 2.49. Familia de PLC de la marca SIEMENS.	52
Figura 2.50. Módulos de expansión PLC Siemens S7-1200.....	53
Figura 2.51. Módulos de Expansión del S7-1200	53
Figura 2.52. Características CPU's S7-1200.	54
Figura 2.53. Partes del CPU del PLC s7-1200.....	55
Figura 2.54. Vista de Portal, TIA Portal V11.....	57
Figura 2.55. Vista de proyecto, TIA Portal V11.	58
Figura 2.56. Segmento de Instrucciones KOP.	60
Figura 2.57. Segmento de Instrucciones FUP.	61
Figura 2.58. Interfaz PROFINET Ethernet S7-1200.....	62
Figura 2.59. Industrial Wireless LAN	64
Figura 2.60. Propagación por trayectos múltiples MIMO.....	65
Figura 2.61. Puntos de acceso y módulos cliente SCALANCE W.	67
Figura 2.62. Puntos de acceso SCALANCE W	67
Figura 3.1. Diagrama funcional	90
Figura 3.2. Diagrama de subfunciones	90
Figura 3.3. Topología de control, patente US7539548B2.....	92
Figura 3.4. Árbol de Conceptos: Almacenar y distribuir aire	97
Figura 3.5.Árbol de Conceptos: Convertir energía externa	98
Figura 3.6. Árbol de Conceptos: Sistema de Control.....	98
Figura 3.7. Árbol de Conceptos: Envío de señales neumáticas.	99
Figura 3.8. Árbol de Conceptos: Cambio de estado de válvulas.....	99
Figura 3.9. Árbol de Conceptos: Sistema de Sensado	100
Figura 3.10. Árbol de Conceptos: Acondicionamiento y Normalizado	100
Figura 3.11. Sistema mecánico original.....	102
Figura 3.12. Circuito Neumático Gabinete #1	114
Figura 3.13. Circuito Neumático Gabinete #2	116
Figura 3.14. Circuito Neumático Válvula Proporcional	117
Figura 3.15. Compresor ATLAS COPCO GA+55	118
Figura 3.16. Compresor ATLAS COPCO XAS 57	118
Figura 3.17. Reservorio 5000lt Lado Perforador	119
Figura 3.18. Rugosidad Equivalente Varios Materiales	124
Figura 3.19. Diagrama de Moody para el factor de fricción.	125

Figura 3.20. Electroválvula modelo CPE18-M1H-5/3E-1/4	132
Figura 3.21: Simbología electroválvula 5/3.	132
Figura 3.22. Manifold Neumático FESTO CPE18-PRS-3/8-7	132
Figura 3.23. Set de Fijación FESTO CPE18-H5-SET	133
Figura 3.24: Electroválvula AIRTAC, modelo 4V210-08.....	134
Figura 3.25. Válvula proporcional MPPES-3-1/2-6-420.....	135
Figura 3.26. Diagrama neumático interno de válvula proporcional.	135
Figura 3.27. Manguera 8mm FESTO PUN-8X1,25BL.	136
Figura 3.28. Manguera Parker SAE 100R2 Hidráulica.	137
Figura 3.29. Conector rápido Parker, Coupling 1141-62 Male.	138
Figura 3.30. Conector rápido Parker, Quick Series Coupling Female.	138
Figura 3.31. Tipos de aisladores ubicados en soporte de cajera.	144
Figura 3.32. Disposición de aisladores en el soporte de la cajera.	145
Figura 3.33. Diseño CAD del soporte de sensores.	147
Figura 3.34. Diseño CAD, ensamble de soporte de sensores.	148
Figura.3.35. Diseño CAD Soporte de cornetas.	150
Figura 3.36. Ensamble de soporte de cornetas.	150
Figura 3.37: Movimiento de desmontaje de soporte de cornetas.....	151
Figura 3.38. Estudio CAE de soporte de cornetas.	151
Figura 3.39. Estudio de tensiones, soporte de cornetas.....	154
Figura 3.40. Estudio de deformaciones, soporte de cornetas.	155
Figura 3.41. Puntos de máxima deformación soporte de cornetas.	156
Figura 3.42. Puntos de máximo esfuerzo soporte de cornetas.	156
Figura 3.43. Tensión máxima en pasador de soporte de cornetas.	157
Figura 3.44. Diseño CAD, soporte de cajera.....	158
Figura 3.45. Diseño CAD soporte de cajera, vista posterior.....	159
Figura 3.46. Estudio CAE, soporte de cajera.	159
Figura 3.47: Estudio de tensiones, soporte de cajera.....	161
Figura 3.48. Estudio de deformaciones, soporte de cajera.	162
Figura 3.49. Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	166
Figura 3.50. Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01	166
Figura 3.51. Breaker General Electric C10.....	168
Figura 3.52. Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01	170
Figura 3.53. Breaker General Electric C4.....	172
Figura 3.54. Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	174
Figura 3.55. Gabinetes BEAUCOUP.	175
Figura 3.56. Tabla de conductores AWG	178
Figura 3.57. Cable 3x14AWG	179
Figura 3.58. Cable 8x18AWG Apantallado.....	179
Figura 3.59. SURCABLE (VOV-K) Apantallado.	180
Figura 3.60. Bornera con Fusible Phoenix Contact.	180
Figura 3.61. Bornera de Interconexión Phoenix Contact.	181

Figura 3.62: Riel Din Phoenix Contact.....	181
Figura 3.63. Tope de Borneras Phoenix Contact.	181
Figura 3.64. Puente de 20 Pines para Borneras Phoenix Contact.....	182
Figura 3.65. Marcador de Regletas Phoenix Contact.	182
Figura 3.66. Tira Zack para borneras Phoenix Contact.	182
Figura 3.67. Canaleta 4x4cm Phoenix Contact.	183
Figura 3.68. Transductor de Presión NOSHOK 2000 PSI	185
Figura 3.69. Transductor de Presión SICK 5000PSI	186
Figura 3.70. Transductor de Presión NOSHOK 300 PSI.	187
Figura 3.71. Sensores Inductivos SICK IME12.	188
Figura 3.72. Sensor de Nivel TDR SICK	189
Figura 3.73. Extensibilidad PLC S7-1200.....	192
Figura 3.74. Ampliación con Signal Boards, PLC S7-1200.	193
Figura 3.75. Ventajas de comunicación, PLC S7-1200	193
Figura 3.76. Programación global, PLC S7-1200.	194
Figura 3.77. Tamaño de memoria, PLC S7-1200.	194
Figura 3.78. Manejo de variables PLC S7-1200.	195
Figura 3.79: Memory card, PLC S7-1200.....	195
Figura 3.80. Módulo de entradas digitales SM1221.....	199
Figura 3.81. Módulo de entradas análogas SM1231	200
Figura 3.82. Módulo de salidas digitales SM1222.	201
Figura 3.83. Signal Board SB1232.	201
Figura 3.84. Periferia descentralizada, ET200S.....	203
Figura 3.85. Módulo de Potencia PM-E DC24.	204
Figura 3.86. Módulo electrónico digital Entradas y Salidas 8DI/DO	205
Figura 3.87. Declaración de variables	207
Figura 3.88. Descripción de bloques de programación PLC	207
Figura 3.89. Pasos para la creación de un proyecto.....	214
Figura 3.90. Selección de PLC TIA Portal.	215
Figura 3.91. Selección dispositivo HMI.....	216
Figura 3.92. Tabla de variables.	217
Figura 3.93. Programación de bloques apertura de válvulas.	218
Figura 3.94. Programación de bloques cierre de válvulas.....	218
Figura 3.95. Programación de bloques envío a neutro desde abierto.	219
Figura 3.96. Programación de bloques envío a neutro desde cerrado	219
Figura 3.97. Programación de bloques válvula by pass a 1500 psi.	220
Figura 3.98. Programación de bloques válvula by pass a 3000 psi.	220
Figura 3.99. Normalizado y escalado de señales analógicas.....	221
Figura 3.100. Rango análogo en mediciones de corriente	222
Figura 3.101. Programación de bloques, diagnóstico de dispositivos.	223
Figura 3.102. Programación de bloques, alarma general (incendio).	224
Figura 3.103. Diagrama de bloques del sistema controlado.	226

Figura 3.104. Configuración bloque PID Compact.....	227
Figura 3.105. Panel móvil, SIMATIC IWLAN 277.....	230
Figura 3.106. Partes del panel móvil IWLAN 277	230
Figura 3.107. Vista lateral del panel móvil IWLAN 277.....	231
Figura 3.108. Vista posterior del panel móvil IWLAN 277.	231
Figura 3.109. Partes del panel de carga para panel IWLAN 277.	232
Figura 3.110. Pantalla de trabajo WinCC, TIA Portal v12.....	234
Figura 3.111. Lista de indicadores de la guía GEDIS	235
Figura 3.112. Pantalla de inicio.....	236
Figura 3.113. Pantalla principal de procesos.	237
Figura 3.114. Pantalla secundaria de procesos.	237
Figura 3.115. Pantalla de comando de válvulas.	238
Figura 3.116. Pantalla de configuración de ajustes.	239
Figura 3.117. Pantalla de configuración presión del preventor anular.	239
Figura 3.118. Pantalla de tendencias, unidad de prueba.	240
Figura 3.119. Pantalla de alarmas e historial.	240
Figura 3.120. Mapa gráfico de la arquitectura de pantallas.....	242
Figura 3.121. Plantilla de pantalla 1.	250
Figura 3.122. Plantilla de pantalla 2.	250
Figura 3.123. Barra de navegación con íconos gráficos.....	253
Figura 3.124. Botón de navegación “ATRÁS”, ubicación 1.	254
Figura 3.125. Botón de navegación “ATRÁS”, ubicación 2.	254
Figura 3.126. Símbolos e íconos utilizados en el HMI.	261
Figura 3.127. Prototipo de pantalla de datos análogos.	263
Figura 3.128. Pantalla de pruebas de presión de la unidad BOP.	265
Figura 3.129. Ingreso de datos para presión del preventor anular.....	268
Figura 3.130. Secuencia de accionamiento de válvulas.....	269
Figura 3.131. Cuadro de diálogo para cierre del ram ciego.	269
Figura 3.132. Indicador estado de alarma de presión del acumulador.	272
Figura 3.133. Alarmas representadas en el historial.....	272
Figura 3.134. Indicador de estado de alarma de presión del manifold.	273
Figura 3.135. Presión Promedio de Cierre Del Preventor Hydril GK	274
Figura 3.136. Indicador estado alarma presión del preventor anular.	274
Figura 3.137. Indicador estado alarma presión de aire comprimido.	275
Figura 3.138. Reservorio de Aceite Hidráulico.....	277
Figura 3.139. Altura del Tapón de Inspección.....	278
Figura 3.140. Indicador estado alarma de nivel de aceite hidráulico.	279
Figura 3.141. Propagación de ondas de radiofrecuencia	283
Figura 3.142. Estándares para redes inalámbricas.	285
Figura 3.143. Ancho de banda e interferencia de canales.	289
Figura 3.144. SCALANCE W788-1.....	291
Figura 3.145. Antena Omnidireccional ANT795-6MT.	293

Figura 3.146. Conexión de antena y dispositivo Scalance	294
Figura 3.147. Topología de red Stand alone.	297
Figura 3.148. Primary Setup Tool.	298
Figura 3.149. Asignación de IP y nombre de dispositivo.	299
Figura 3.150. Configuración básica de Punto de Acceso.	300
Figura 3.151. Configuración de antenas del Punto de Acceso.....	301
Figura 3.152. Configuración parámetros Punto de Acceso.	301
Figura 3.153. Configuración de seguridad del Punto de Acceso.	302
Figura 3.154. Configuración básica del Cliente.....	303
Figura 3.155. Configuración de antenas del Cliente.	303
Figura 3.156. Configuración de parámetros del Cliente.	304
Figura 3.157. Configuración de seguridad del Cliente.	305
Figura 3.158. Esquema de red inalámbrica de equipos.	305
Figura 4.1. Disposición de equipos gabinete acumulador de presión.	307
Figura 4.2. Gabinete del acumulador de presión	308
Figura 4.3. Armado de gabinete del acumulador de presión.	308
Figura 4.4. Aisladores de vibración en gabinete del acumulador.....	309
Figura 4.5. Aisladores inferiores del gabinete del acumulador	310
Figura 4.6. Sujeción de cajera del acumulador de presión.	310
Figura 4.7. Instalación final del gabinete del acumulador de presión.	311
Figura 4.8. Instalación de soporte de sensores en válvulas de 4 vías.	312
Figura 4.9. Unidad FRL de la línea principal.	312
Figura 4.10. Línea principal de aire comprimido del acumulador	313
Figura 4.11. Línea principal de aire de la cajera del acumulador	313
Figura 4.12. Sensor de aire comprimido y banco de electroválvulas.	314
Figura 4.13. Conectores pasamuros de cajera del acumulador	314
Figura 4.14. Armado de mangueras a través de los pasamuros.....	315
Figura 4.15. Conexión externa de conectores pasamuros	315
Figura 4.16. Armado de electroválvulas en banco de alimentación	316
Figura 4.17. Unidad FRL para la válvula proporcional.....	316
Figura 4.18. Instalación de válvula proporcional	317
Figura 4.19. Alimentación y protecciones eléctricas.	318
Figura 4.20. Organización de cableado de control.	318
Figura 4.21. Montaje de equipos y conexiones eléctricas.	319
Figura 4.22. Conexión de cableado de sensores inductivos	320
Figura 4.23. Montaje de sensores inductivos en soporte de sensores.	320
Figura 4.24. Calibración de distancia de sensado.	321
Figura 4.25. Distancias mínimas de instalación de sensor TDR.	322
Figura 4.26. Instalación de tubo coaxial de sensor TDR.	322
Figura 4.27. Instalación de tubo coaxial de sensor TDR.	323
Figura 4.28. Centrado de tubo coaxial de sensor TDR.....	323
Figura 4.29. Instalación final del sensor de nivel TDR.....	324

Figura 4.30. Montaje de PLC en rieles DIN	324
Figura 4.31. Conexión del cableado del PLC	325
Figura 4.32. Armado de cable Ethernet industrial	325
Figura 4.33. Conexión de antena a través de conectores pasamuros.	326
Figura 4.34. Intensidad de señal a 100 metros de distancia.	326
Figura 4.35. Distribución de equipos en cajera de la Casa del Perro.	327
Figura 4.36. Montaje de equipos en cajera de la Casa del Perro.	327
Figura 4.37. Cajera de la Casa del Perro	328
Figura 4.38. Instalación sistema de comunicación Casa del Perro.	329
Figura 4.39. Antena de la Casa del Perro	329
Figura 4.40. Luces piloto y pulsadores del panel eléctrico.	330
Figura 4.41. Luces piloto y pulsadores del panel eléctrico.	330
Figura 4.42. Corte en pared frontal de la Casa del Perro	331
Figura 4.43. Instalación de panel fabricado.....	332
Figura 4.44. Instalación final del panel remoto eléctrico	332
Figura 4.45. Cornetas instaladas en soporte.	333
Figura 4.46. Instalaciones neumáticas cajera de la Casa del Perro.	334
Figura 4.47. Electroválvulas del sistema de alarma general.	335
Figura 4.48. Instalación sistema eléctrico cajera de Casa del Perro.	336
Figura 4.49. Tendido eléctrico para el panel eléctrico remoto.	337
Figura 4.50. Instalación de módulos en el dispositivo periférico	337
Figura 4.51. Montaje de estación de carga en oficina de Operaciones	338
Figura 4.52. Prueba de electroválvulas.	341
Figura 4.53. Accionamiento de electroválvulas	341
Figura 4.54. Verificación de sensado de palanca de válvulas	343
Figura 4.55. Prueba de luces piloto y pulsadores del panel eléctrico.	343
Figura 4.56. Verificación on-line del programa del PLC	344
Figura 4.57. Ventana on-line y diagnóstico.	345
Figura 4.58. Verificación del uso de memoria del PLC (on-line).	345
Figura 4.59. Buffer de diagnóstico del PLC (on-line).	346
Figura 4.60. Registro de diagnóstico de comunicación.	346
Figura 4.61. “Roaming Threshold” y “Background Scan Mode”	348
Figura 4.62. Banco de pruebas Estación #1.	348
Figura 4.63. Banco de pruebas Estación #2.	349
Figura 4.64. Banco de pruebas sistema unificado.	349
Figura 4.65. Banco de pruebas con simulación desde computadora.	350
Figura 4.66. Instalación final del Acumulador de Presión.....	351
Figura 4.67. Instalación final Panel Remoto eléctrico.....	351
Figura 4.68. Calibración de sensores en sitio desde computadora.	352
Figura 4.69. Calibración del sensor de nivel en modo on-line.....	353
Figura 4.70. Calibración del sensor de nivel TDR desde su pantalla.	353
Figura 5.1. Incendio provocado por un reventón de pozo.	358

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Relación tamaño de BOP y tamaño de tubería para corte.....	18
Tabla 3.1. Presiones presentes en el Sistema.....	104
Tabla 3.2 Matriz de Selección de Sensores de Nivel.....	108
Tabla 3.3 Matriz de Selección de Sensores de Nivel.....	123
Tabla 3.4 Matriz de Selección de Sensores de Nivel.....	127
Tabla 3.5 Transmisibilidad recomendada en %.....	140
Tabla 3.6. Aisladores de vibración de acuerdo a deflexión estática.....	141
Tabla 3.7. Peso de la cajera del acumulador de presión.....	142
Tabla 3.8. Análisis de Sólidos, soporte de cornetas.....	152
Tabla 3.9. Propiedades del soporte de cornetas.....	153
Tabla 3.10. Tipos de carga, soporte de cornetas.....	153
Tabla 3.11. Tensiones, soporte de cornetas.....	154
Tabla 3.12. Deformaciones, soporte de cornetas.....	155
Tabla 3.13. Análisis de Sólidos, soporte cajera.....	160
Tabla 3.14. Propiedades del soporte de cajera.....	160
Tabla 3.15. Tipos de carga, soporte de cajera.....	160
Tabla 3.16. Tensiones, soporte de cajera.....	161
Tabla 3.17. Deformaciones, soporte de cajera.....	162
Tabla 3.18. Dispositivos Eléctricos Cajera Acumulador de Presión.....	164
Tabla 3.19. Consumo Eléctrico Dispositivos Acumulador de Presión.....	165
Tabla 3.20. Consumo Eléctrico 24VDC del Acumulador de Presión.....	167
Tabla 3.21. Consumo Eléctrico 120 AC, Acumulador de Presión.....	167
Tabla 3.22. Dispositivos Eléctricos en Cajera de la Casa del Perro.....	168
Tabla 3.23. Consumo Eléctrico 24 VDC de la Casa del Perro.....	169
Tabla 3.24. Consumo Eléctrico 240VAC, Casa del Perro sistema #1.....	170
Tabla 3.25. Consumo Eléctrico 240VAC, Casa del Perro sistema #2.....	171
Tabla 3.26. Consumo Eléctrico Dispositivos 240VAC Casa del Perro.....	171
Tabla 3.27. Dispositivos Eléctricos en Estación de Carga.....	172
Tabla 3.28. Consumo Eléctrico Dispositivos Estación de Carga.....	173
Tabla 3.29. Consumo Eléctrico 120VAC Estación de Carga.....	174
Tabla 3.30. Características CPU 1214C.....	198
Tabla 3.31. Necesidad de número de entradas y salidas.....	198
Tabla 3.32. Entradas y salidas disponibles integradas en la CPU.....	199
Tabla 3.33. Entradas y salidas libres disponibles en PLC.....	202
Tabla 3.34. Necesidad de entradas y salidas para periferia.....	205
Tabla 3.35. Entradas y salidas libres disponibles en la periferia.....	206
Tabla 3.36. Variables de sensores inductivos.....	208
Tabla 3.37. Variables de control de electroválvulas.....	209
Tabla 3.38. Variables de botones del panel móvil.....	209
Tabla 3.39. Variables de botones de la consola remota eléctrica.....	210

Tabla 3.40. Variables de luces piloto de la consola remota eléctrica.....	211
Tabla 3.41. Variables de señales analógicas.....	211
Tabla 3.42. Variables de normalizado y escalado de señales.....	212
Tabla 3.43. Variables de control de la válvula proporcional.	212
Tabla 3.44. Variables para avisos del HMI.....	213
Tabla 3.45. Uso de colores en el diseño del HMI.	257
Tabla 3.47. Volumen de cierre y Apertura de Rams.	276
Tabla 3.48. Personal que realizó la evaluación del HMI.....	280
Tabla 3.49. Resolución y tiempo de muestreo de módulos del PLC.....	295
Tabla 4.1. Pruebas de presiones de aire comprimido.	339
Tabla 4.2. Pruebas de tensiones en fuentes de alimentación.	342
Tabla 4.3. Parámetros de configuración de comunicación.	347
Tabla 4.4. Parámetros de configuración del sensor de nivel TDR.	354
Tabla 5.1. Costos del proyecto.	355

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1. SISTEMA DE CONTROL TÍPICO DE BOP
- ANEXO 2. MATRIZ QFD.
- ANEXO 3. ÍNDICES DE EVALUACIÓN DEL HMI
- ANEXO 4. PLANOS DE COMUNICACIÓN
- ANEXO 5. DIAGRAMAS DE FLUJO
- ANEXO 6. SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PI ON-LINE
- ANEXO 7. PLANOS ELÉCTRICOS
- ANEXO 8. PLANOS MECÁNICOS
- ANEXO 9. MANUAL DE USUARIO

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo inalámbrico del acumulador de presión para el taladro de perforación CPV-23 de la empresa PDVSA Ecuador, el mismo que permite, mediante la activación de electroválvulas controladas con un PLC, el accionamiento de las válvulas hidráulicas de apertura y cierre de los componentes del BOP. Este proyecto también integra la adquisición, normalización y escalado de señales de sensores de presión del acumulador, manifold, preventor anular, aire comprimido y unidad de prueba; así como del sensor de nivel TDR y de los proximitores que permitirán sensar el estado de las válvulas hidráulicas. El control y monitoreo del sistema se lo realizará desde dos paneles, uno ubicado en la casa del perro, el cual tendrá pulsadores para la apertura y cierre de los Rams del BOP, así como luces piloto que permitan visualizar el estado de las válvulas hidráulicas; y otro ubicado en la oficina del supervisor de 24 horas del taladro, el cual consiste en un HMI móvil e inalámbrico que permitirá visualizar todos los parámetros analógicos y digitales del sistema, así como accionar las válvulas del BOP. La comunicación entre el PLC y las estaciones control se la realizará inalámbricamente vía WIFI industrial. El concepto también incluye un sistema de alarmas que permitirá alertar al personal en caso de alguna emergencia y un registro digital de las presiones de prueba de la BOP.

Palabras clave: CONTROL REMOTO, ACUMULADOR DE PRESIÓN, IWLAN, BOP, HMI.

ABSTRACT

This project involves the design and implementation of a wireless monitoring and control system for the pressure accumulator of the drilling rig CPV- 23 of PDVSA Ecuador. This system actuates the hydraulic valves to open and close the BOP components, by activating solenoid valves controlled by a PLC. This design includes the acquisition, normalization and scaling of the TDR level sensor, the pressure sensors' signals of manifold, annular preventer, compressed air and the pressure test unit, and the proximity sensors in order to sense the status of the hydraulic valves. The control and monitoring of the system will be done from two panels. One of the panels, which is located in the dog house, will have both, buttons to open and close the BOP Rams and pilot lights to visualize the status of the hydraulic valves, and the other one, located in the office of then Rig Manager, consists of a mobile and wireless HMI to watch the analog and digital parameters of the system and actuate the BOP valves. The communication between the PLC and the monitoring stations are performed wirelessly via Industrial WIFI. The project also includes on the one hand, an alarm system that will alert the staff in case of emergency and on the other hand a digital record of the pressure tests of the BOP.

Keywords: REMOTE CONTROL, PRESSURE ACUMMULATOR, IWLAN, BOP, HMI.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La empresa PDVSA Ecuador realiza operaciones de perforación de pozos petroleros. Uno de los subsistemas en la operación de perforación es el acumulador de presión, el cual tiene la función de proveer la presión hidráulica necesaria para accionar las válvulas de control del BOP (Blowout Preventer). Para ello se utiliza un panel de control fijo, ubicado en el Acumulador de Presión, y 2 remotos; esto debido a la importancia de tener mandos cerca, tanto del perforador como del supervisor de la locación.

Las consolas remotas realizan el control mediante señales neumáticas con paneles de accionamiento mecánico, ubicados aproximadamente a 30 metros de distancia del acumulador como se muestra en la Figura 1.1, para lo cual se ocupan mangueras de larga distancia que llevan la señal neumática a dichos paneles. Esta señal está sujeta a grandes pérdidas por la distancia que recorre el aire y hace que el accionamiento de los cilindros no sea óptimo, incluso llegando a situaciones en que la presión que llega a los actuadores es tan baja que no los acciona o demora en accionarlos.



Figura 1.1. Distancia que recorren las señales neumáticas.

Como se muestra en la Figura 1.2, los paneles remotos de control del acumulador utilizan una tecnología obsoleta, lo cual lejos de facilitar el acceso y manipulación del controlador en casos de emergencia, necesita el accionamiento mecánico de palancas y la apertura del gabinete para su operación, lo cual es difícil debido a la oxidación y corrosión que presenta su manija (Figura 1.3).



Figura 1.2. Panel remoto de control del acumulador de presión



Figura 1.3. Manija del panel de control remoto fijo.

El propósito de este proyecto es implementar un control automatizado, remoto e inalámbrico para el acumulador de presión del taladro de perforación CPV23. Se ve la necesidad de desarrollar este proyecto, ya que el control del acumulador de presión juega un papel importante durante las operaciones de perforación y posibles emergencias. Por ello es fundamental que los controles remotos del acumulador proporcionen un óptimo funcionamiento para las operaciones y su accionamiento sea sencillo. Los paneles actuales, con los que se realiza las operaciones de control remoto, ocupan una tecnología obsoleta basada en accionamientos mecánicos de palanca; además se utilizan largas mangueras para llevar señales neumáticas que realizan el control y no existen indicadores que muestren el estado de la operación ni alarmas. Todo esto impide que los paneles sean utilizados óptimamente y que en caso de alguna emergencia pueda fallar y ocasionar un incidente.

La ejecución de este proyecto es importante, ya que interviene en el mejoramiento del sistema acumulador de presión para precautelar la seguridad de la operación y los operadores dentro del campo de trabajo. Es decir, el proyecto ayudará a manejar óptima, segura y de manera local o remota los accionamientos del acumulador de presión, y así mejorar su control para ejecutar las operaciones del taladro y evitar en caso de emergencia la venida y derrame de fluido del pozo en perforación. Además se justifica debido al ahorro de tiempo en las mudanzas que constantemente realiza el taladro una vez culminadas las operaciones de perforación en una

localidad; pues al ser inalámbrico el sistema propuesto, es de fácil transporte.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

Este sistema permite realizar el monitoreo en tiempo real y operación del Sistema Acumulador de Presión, mediante la detección de estado y activación de válvulas hidráulicas de cuatro vías, lectura de presiones del Acumulador, Manifold, Preventor Anular y aire comprimido; control de la presión del diafragma del Preventor Anular y sensado de nivel del reservorio.

El sistema tiene dos estaciones de control remoto inalámbricas, una fija y otra móvil. La estación fija se ubica en la planchada de la torre de perforación junto al perforador y consta de un panel eléctrico con arreglo de luces piloto y pulsadores que permiten monitorear y controlar el Acumulador de Presión, además de activar las secuencias de alarmas generales del taladro como arremetida incendio, derrame o primeros auxilios.

La estación móvil es un panel táctil inalámbrico con un diseño HMI que permite la monitorización y activación del Acumulador de presión, así como también de las alarmas generales del taladro. Esta estación implementa la función de registrar digitalmente las presiones durante las pruebas de presión al conjunto BOP, realizadas previo a las operaciones de perforación de cada pozo; generando un reporte con la opción de imprimirlo para su respaldo. Todas las instalaciones, estaciones e instrumentos de

medición se diseñaron y seleccionaron en base a la norma API RP 16E “Prácticas Recomendadas para el Diseño de Sistemas de Control de Equipos de Control de Pozo”.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Diseñar y construir un sistema mecatrónico de control con accionamiento remoto inalámbrico para el manejo del acumulador de presión del BOP para el taladro de perforación CPV-23 de la empresa PDVSA Ecuador en el año 2013.

1.4.2 Específicos

- Reducir los componentes mecánicos y el espacio físico que se ocupa en el control del acumulador de presión, en un 70% al finalizar el proyecto.
- Disminuir el tiempo de activación de los paneles remotos del acumulador de presión en un 80% una vez instalado el proyecto.
- Incrementar la seguridad en las operaciones de perforación a través de un buen control del acumulador de presión del BOP.
- Lograr la aprobación del prototipo por parte de PDVSA Ecuador para su implementación en otros taladros.
- Realizar las pruebas de la unidad BOP en menor tiempo, lo que permitirá empezar con las operaciones de perforación y reducir tiempos perdidos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMA BOP (Blowout Preventer)

2.1.1 Definición

Los eventos menos deseados durante la perforación de un pozo, son las arremetidas y los reventones. Para solucionar en parte estos problemas, se tienen en los taladros, equipos especiales de seguridad que permiten cerrar el pozo y evitar que el fluido invasor salga a la superficie.

Estos equipos son las Válvulas Impide-Reventones (VIR) o más conocidas como BOP. Dentro de las funciones principales de este equipo están: permitir un sello de hoyo cuando ocurra una arremetida, mantener suficiente contrapresión en el hoyo, prevenir que siga la entrada de fluidos desde la formación al pozo, mientras se está realizando la restauración del pozo a sus condiciones normales.

El factor principal para prevenir una arremetida es la presión hidrostática aplicada a la formación por la columna del fluido de perforación.

2.1.2 Partes

El conjunto BOP está compuesto de varios RAMS ilustrados en la Figura 2.1, con una función en específico y propiedades de cada uno.

Nombrando en orden de ubicación descendente tenemos: Preventor Anular, Ram Superior, Ram Ciego, Válvula HCR y RAM Inferior.

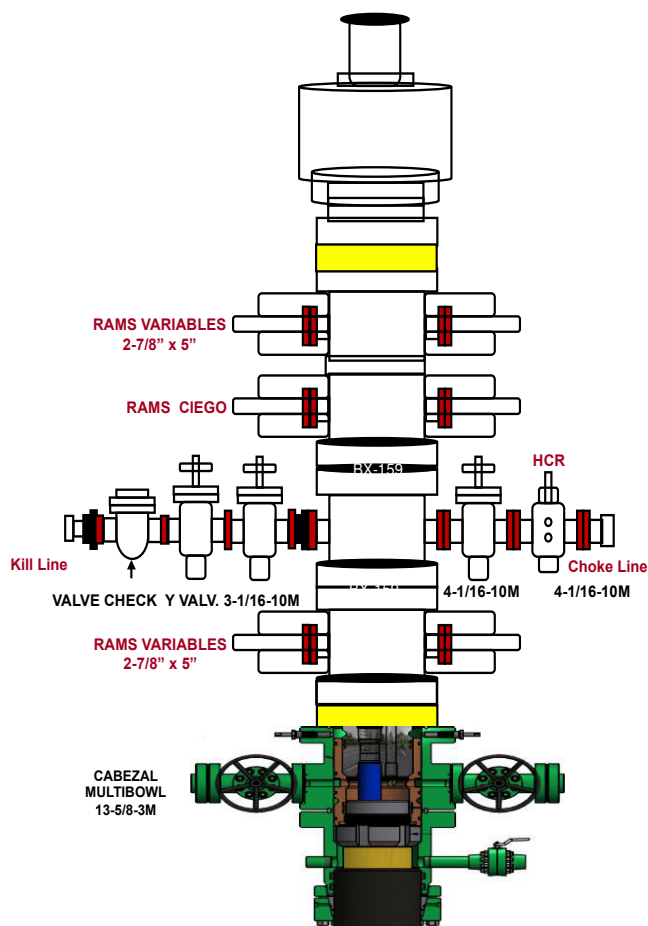


Figura 2.1. Arreglo típico de BOP.

2.1.2.1 Preventor Anular

Los preventores anulares están diseñados para que un pistón forzado hidráulicamente empuje un elemento (empaquete circular) hacia arriba o lateralmente, este elemento debe cerrarse contra las herramientas que estén siendo utilizadas durante la perforación: tubería de perforación, tubing, wire line, etc. y en una emergencia puede cerrarse completamente hasta cerrar el hueco abierto. (Anónimo, 2005)

El preventor anular consta de las siguientes partes principales, como muestra la Figura 2.2:

- Cuerpo.
- Cabeza.
- Pistón.
- Cámara de apertura y cierre.
- Unidad de empaque.
- Sellos

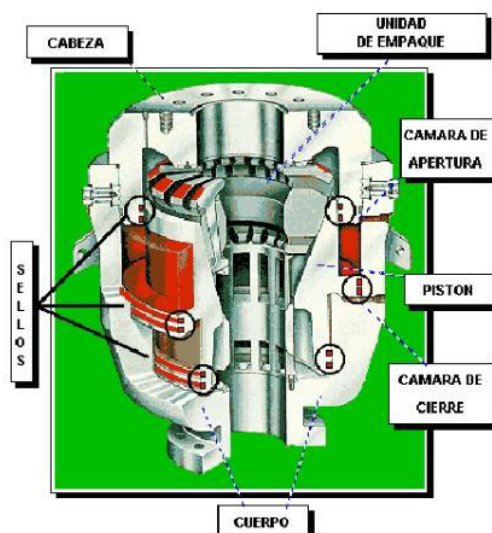


Figura 2.2. Componentes del Preventor Anular.

Cuerpo: El cuerpo ha sido diseñado para soportar las altas presiones y está hecho de acero forjado. Es sometido a test acústicos para verificar la homogeneidad del acero y luego a pruebas hidráulicas del accionamiento del mismo. Dentro del cuerpo están las cámaras de apertura y cierre, así como los orificios roscado API para la conexión de las líneas de apertura y las líneas de cierre. (Hydrill, 2009)

Cabeza: La cabeza da acceso a la unidad de empaque del BOP durante la inspección y operación de mantenimiento. EL preventor Anular presente en el CPV-23 dispone de una cabeza de tipo SCREWED HEAD, la cual se conecta al cuerpo a través de una sección de hilos cuadrados, y se sella con un empaque. Una desventaja de este tipo de cabeza es que resulta difícil desenroscarla.

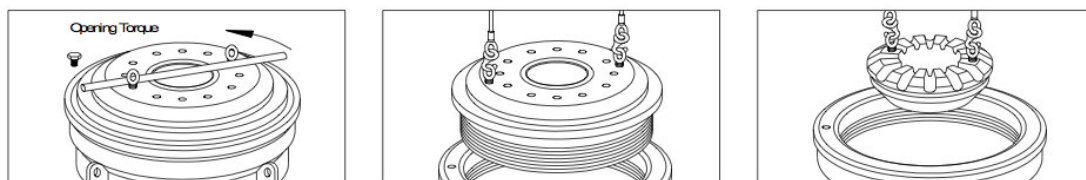


Figura 2.3. Proceso de Apertura del Preventor Anular

Pistón: Gracias a su inclinación el pistón convierte el movimiento vertical en movimiento radial. Durante las operaciones de cierre su movimiento ascendente determina el cierre del elemento empacador alrededor el tubo. El sellado hidráulico entre el pistón y el cuerpo es asegurado debido a la presencia de los sellos. (Hydrill, 2009)

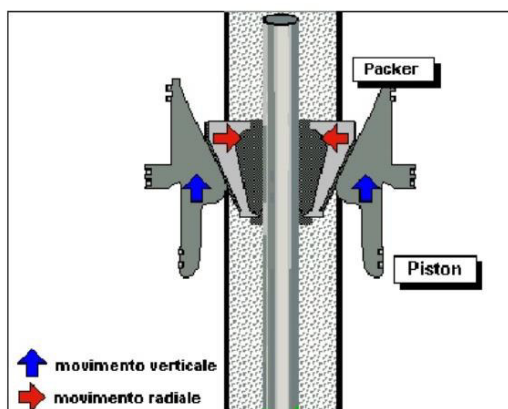


Figura 2.4. Movimiento del Pistón del Preventor Anular

Cámara de apertura y cierre: Los preventores anulares tienen dos cámaras por donde circula el fluido hidráulico que trabaja, este controla el movimiento del pistón y por lo tanto la apertura y cierre del preventor.

Unidad de Empaque: La unidad de empaque es una estructura de caucho reforzada con segmentos de acero. La parte de acero es deformable para llevar a cabo el sellado, mientras los segmentos de acero aseguran solidez, previniendo así la extrusión de los cauchos y reduciendo la fricción con la cabeza del preventor. Esta unidad constituye el elemento más crítico del preventor anular y tiene que ser chequeado periódicamente. (Hydrill, 2009)

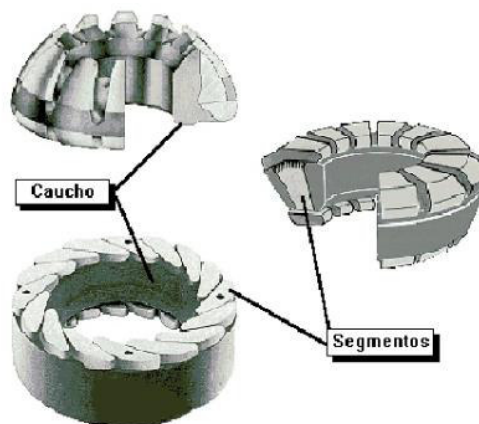


Figura 2.5. Unidad de Empaque del Preventor Anular

El material de caucho empleado es de alto impacto y/o larga vida, los materiales comúnmente usados para la fabricación de los mismos son:

- Caucho Natural: Se usa en operaciones de perforación con lodo en base agua y temperaturas inferiores a -30 F.

- Caucho Nitrilo: Es un compuesto sintético y se usa para operaciones con lodo en base aceite y temperaturas por debajo de 20 F.
- Caucho Neopreno: Se usa para operaciones con temperaturas de -30 F y lodo en base aceite.

Sellos: Generalmente hay 6 sellos ubicados entre:

- La cámara de apertura y la cabeza.
- La cámara de apertura y la cámara de cierre.
- La cámara de cierre y el pozo.

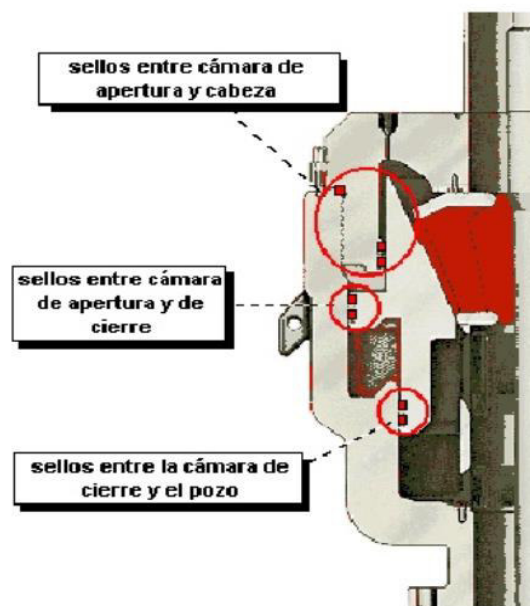


Figura 2.6. Sellos del Preventor Anular.

Las mangueras de accionamiento del preventor anular deben ser de por lo menos 1" de diámetro (1-1/2" es ideal) y tener un recubrimiento metálico y térmico en buenas condiciones; esto garantiza que resista 700°C

durante 30 minutos en caso de un incendio y pueda ser operada la BOP en estas emergencias. (Hydrill, 2009)

Algunas de las características principales del preventor anular, marca Hydrill presente en el CPV-23 son las siguientes:

- La presión del pozo no ayuda en el cierre del preventor.
- La mínima presión de cierre es de 750 PSI y la máxima de 1500 PSI.
- El volumen de hidráulico es pequeño y por lo tanto su cierre es relativamente rápido.
- Une dos elementos de sello que actúan como un set al cambiarlos.

2.1.2.2 Rams inferior y superior

Los rams de los BOP's pueden ser de tipo sencillo, doble o triple y tiene que contar ya sea con un mecanismo manual o un ram hidráulico para bloquear el sistema según el reglamento API.

Cuentan con conexiones principales y laterales con bridas o empalmadas con abrazaderas, y son todas, salvo pocas excepciones, para servicio H₂S. Además, son particularmente apropiados para operaciones de stripping, pero no pueden utilizarse solos. Durante el stripping o a altas presiones, pueden combinarse ya sea con el preventor anular otro ram de BOP. (CAMERON, 2002)

Los rams presentes en el CPV-23 son rams variables de 2-7/8" a 5", los cuales permiten el sellado de diferentes diámetros de tuberías.

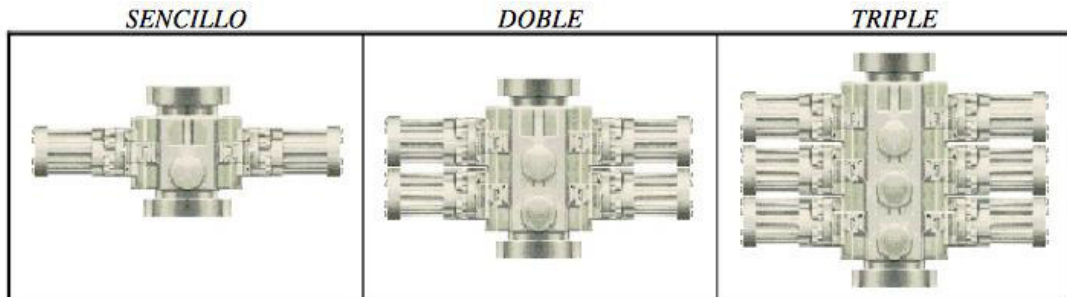


Figura 2.7. Tipos de Rams.

2.1.2.3 Ram Ciego

Son una clase especial de rams de tubería que no presenta el recorte de tubería en el cuerpo de la ram. Las rams ciegas cuentan con elementos empaquetadores de buen tamaño y están diseñadas para cerrar sobre el pozo abierto. Constan básicamente del ariete, un sello y un empaque como se muestra en la Figura 2.8. (Anónimo, 2005)

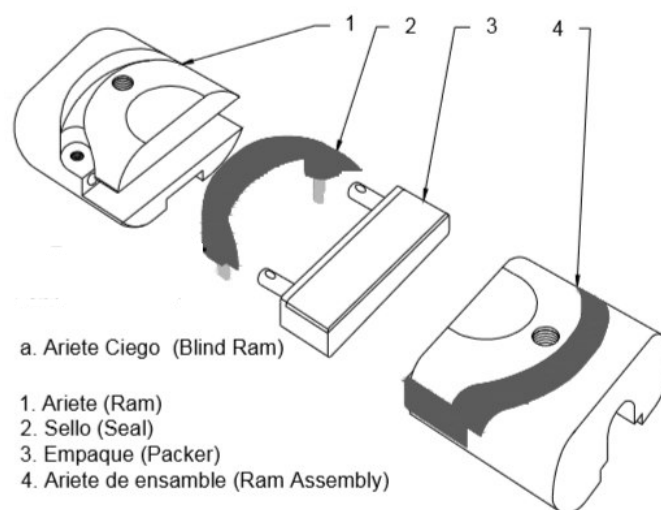


Figura 2.8. Ram Ciego.

2.1.2.4 HCR (High Close Ratio)

Son válvulas hidráulicas usadas para contener y transferir el flujo y la presión del fluido de perforación en el sistema hidráulico. Son muy similares a otras válvulas en su propósito general de regular el flujo, pero a diferencia de muchas otras las válvulas, las válvulas hidráulicas son usadas estrictamente en sistemas hidráulicos. Trabajan en conjunto con otras válvulas para mantener el flujo apropiado en el sistema. (Anónimo, 2005)

En la sección conectada al BOP stack se instalan dos válvulas:

- Válvula Manual
- Válvula Hidráulica operada con control remoto (HCR)

Las válvulas manuales generalmente se colocan al lado del pozo y se mantienen abiertas, mientras que las válvulas hidráulicas se colocan al lado externo y se mantienen cerradas.

2.1.2.5 Kill Line

El kill line es una tubería de alta presión, la cual dependiendo del arreglo de la unidad preventora BOP puede estar conformada por varias válvulas de control de alta presión, las cuales pueden ser de tipo aguja, compuerta o check, las mismas que pueden tener accionamiento manual o hidráulico (Remoto). El Kill Line presente en la unidad BOP del taladro CPV-23 dispone de dos válvulas manuales de compuerta y una válvula tipo check.

Esta última es de suma importancia, ya que solo debe permitir el flujo por una dirección (flujo unidireccional).

2.1.3 Funcionamiento

2.1.3.1 Preventor Anular

Cierre: Cuando el preventor anular empieza a cerrar, el fluido de trabajo procedente del acumulador de presión, entra en la cámara de cierre y empuja el pistón hacia arriba. En consecuencia la unidad de empaque aprieta más y más alrededor del centro del preventor, sellándolo poco a poco. Como podemos ver en la Figura 2.9, la fuerza hidráulica obliga al empaque a cerrarse sobre la tubería.

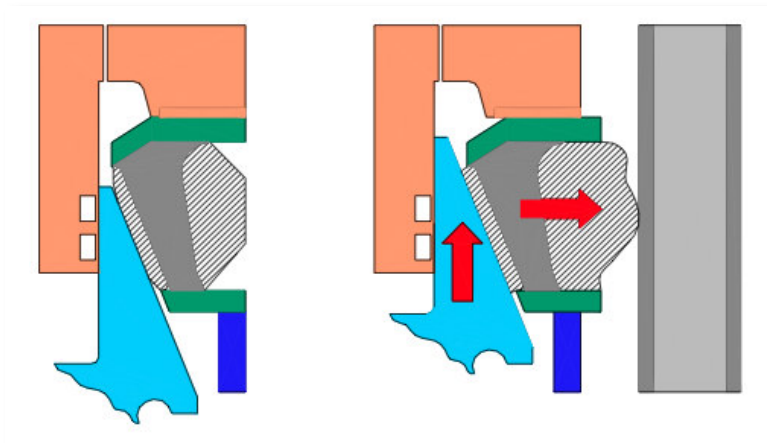


Figura 2.9. Cierre del Preventor Anular.

Apertura: Durante la apertura, el fluido de trabajo entra en la cámara de apertura y empuja al pistón hacia abajo, mientras va descargando el fluido hidráulico de la cámara de cierre. La unidad de empaque retorna a su posición original, abriendo de esta manera el preventor anular. El fluido

hidráulico aplicado sobre el pistón de cierre debe estar completamente limpio y puede ser aceite hidráulico o una solución soluble aceite-agua.

2.1.3.2 Rams Inferior y Superior

Los Rams Inferior y Superior, más conocidos como Pipe Rams, son arietes en forma de U, los cuales solo cierran el anular del pozo cuando la tubería está dentro del pozo. Están diseñados para cerrar alrededor de un diámetro específico de tubería, vienen en diferentes tamaños de acuerdo con el diámetro exterior de la tubería (En particular el diámetro de estos rams en el CPV-23 es de 13 5/8"). Estos rams se pueden usar para mantener la tubería de perforación en el hoyo, cuando la presión del pozo trata de sacarla. La presión de cierre de los rams es de 1500 PSI, la cual es transferida a través de fluido hidráulico, desde el acumulador de presión hacia los arietes, por medio de mangueras de alta presión.

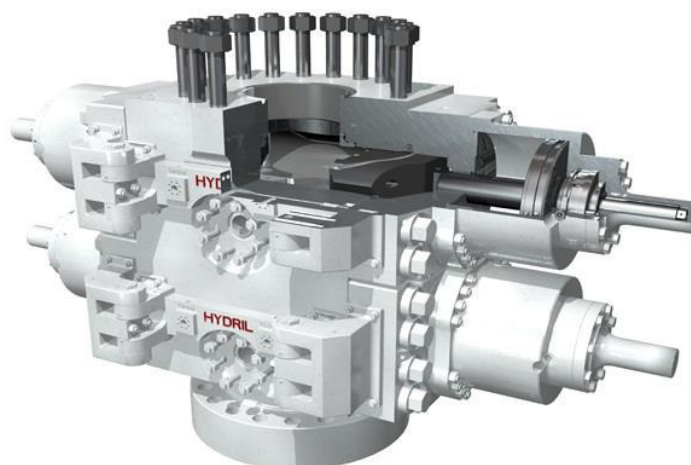


Figura 2.10. Rams de Tubería - Pipe Rams.

2.1.3.3 Ram Ciego

El Ram Ciego, más conocido como ariete de corte, además de cortar la tubería, sella el pozo en una operación. La presión de cierre hidráulico necesaria para cortar la tubería está por debajo de la presión normal del acumulador 1500 PSI. Estos arietes también funcionan como arietes de sello completo para operaciones normales. Cuando corta, la cuchilla inferior pasa por debajo del borde inferior agudo del bloque superior del ariete y corta la tubería como se muestra en la Figura 2.11

La sección inferior de la tubería cortada se acomoda en el espacio entre la cuchilla inferior y el soporte superior. La sección superior de la tubería cortada se acomoda en el espacio en la parte superior del bloque inferior del ariete.

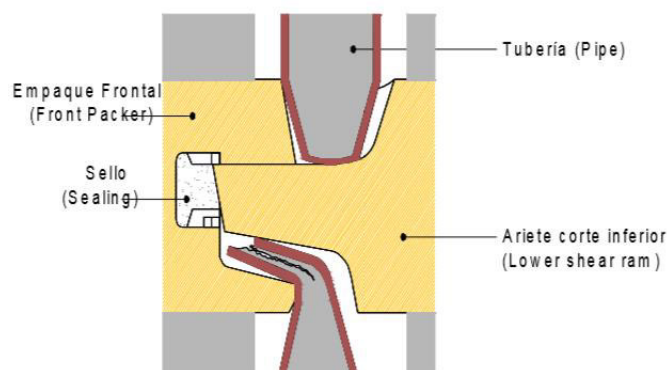


Figura 2.11. Corte de tubería del Ram Ciego

El movimiento de cierre de los arietes continúa hasta que se encuentran las puntas de los bloques del ariete. El cierre continuo del soporte presiona los sellos semicirculares hacia arriba en contacto sellante con el asiento en el cuerpo del BOP. Estos sellos tienen medios anillos

moldeados en acero que limitan el prensado impartido a ellos por los soportes. El sello horizontal se energiza al mismo tiempo que el sello circular. El movimiento de cierre del soporte superior empuja el sello horizontal hacia adelante y abajo sobre el tope de la cuchilla inferior dando un contacto de sello apretado. El sello horizontal tiene una placa soporte moldeada que lo mantiene en su puesto cuando se abren los arietes. (CAMERON, 2002)

Los tamaños máximos de tubería que pueden cortarse con los arietes ciegos de corte están limitados por el tamaño del preventor, la amplitud de las cuchillas y la capacidad de operación del sistema. La siguiente tabla es una relación del tamaño del preventor y el tamaño de tubería para corte.

Tabla 2.1 Relación del tamaño de BOP y tamaño de tubería para corte.

TAMAÑO DEL BOP		TUBERÍA QUE CORTA	
Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas
179.5	7-1/16	101.7	4
209.4	11	127	5
346	13-5/8	139.7	5

2.1.3.4 Kill Line

El kill line es una tubería de alta presión. Se usa para bombear dentro del pozo cuando la circulación a través de los tubos no es posible. Durante las operaciones de control de pozos, el fluido para “matar” el pozo es bombeado a través de la sarta de perforación y el fluido anular es extraído del pozo a través del choke line, que baja la presión del líquido a presión atmosférica.

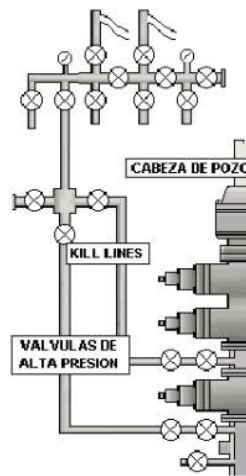


Figura 2.12. Kill Line.

2.1.3.5 HCR (Válvula de Control Hidráulico)

La válvula hidráulica HCR, forma parte del circuito de alta presión, el cual se usa para circular con el pozo cerrado y cuando hay registros de presión alta. Esta válvula permite el flujo hacia el Manifold choke (Figura 2.13) a través del choke line (Figura 2.14).

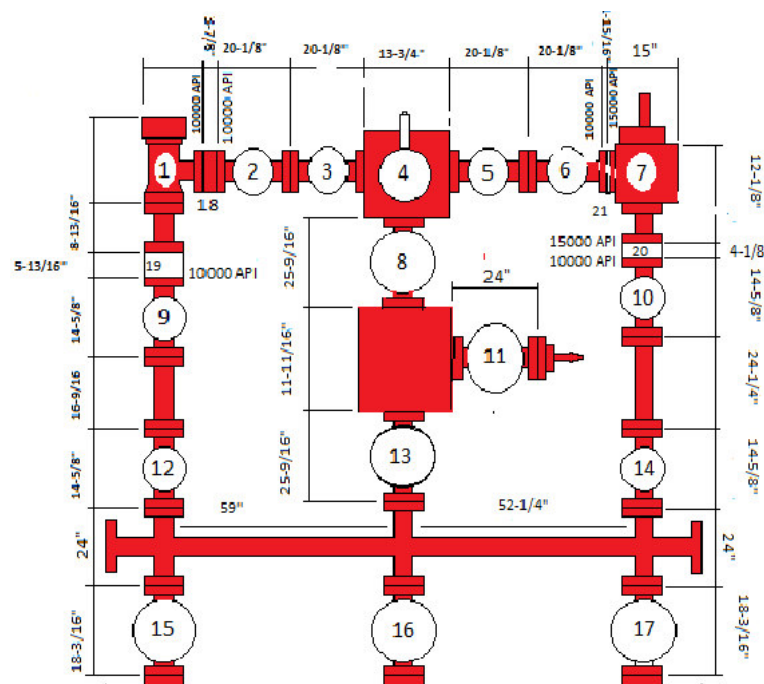


Figura 2.13. Manifold Choke.

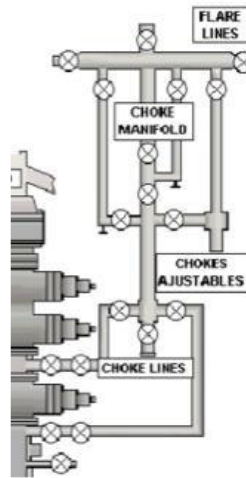


Figura 2.14. Choke Line.

2.2 ACUMULADOR DE PRESIÓN

2.2.1 Definición

Es un dispositivo hidráulico usado en actividades de perforación de pozos petroleros, instalado usualmente a un lado de la torre de perforación o cabria. Su función principal es suplir fuerza hidráulica a la Unidad Preventora de Reventones (BOP) para realizar la apertura o cierre de las válvulas de prevención que conforman esta unidad, tanto en operaciones normales como en situaciones de emergencia.

La presión almacenada en el sistema provee de fuerza para el accionamiento de las válvulas del BOP en operaciones de control de pozos.

Por lo tanto, el acumulador debería tener suficiente volumen de fluido hidráulico para operar todas las válvulas y la presión del equipo debe

mantenerse todo el tiempo. De acuerdo con la norma API RP53 en su artículo 7.9.9.36, el tanque de reserva debe tener por lo menos un volumen total del doble del requerido para cerrar todo el conjunto de válvulas preventoras.

Los elementos del Acumulador de Presión, en base a la norma API RP53, artículo 7.9.9.1, están conformados por los siguientes elementos:

- a. Sistema de Almacenamiento (Reservorio), para el suministro necesario de fluido a los equipos del sistema de bombeo.
- b. Los sistemas de bombeo, para presurizar el fluido de control.
- c. Botellas acumuladoras, para almacenar el fluido presurizado de control.
- d. Manifold de control hidráulico, para la regulación de la presión del fluido de control y dirigir el flujo de fluido para operar las válvulas del sistema
- e. Paneles de control remoto
- f. Fluido de control hidráulico



Figura 2.15. Sistema Acumulador de Presión.

2.2.2 Subsistemas

2.2.2.1 Sistema neumático

El sistema neumático en el Acumulador de Presión está ubicado en los paneles remotos y sirve principalmente para el control de válvulas neumáticas manuales ubicadas en estos paneles Figura 2.16; que accionan a distancia unos cilindros neumáticos, los mismos que tienen acoplados mecánicamente los mandos manuales de las válvulas preventoras en el Acumulador Figura 2.17.



Figura 2.16. Panel remoto original (vista interior).

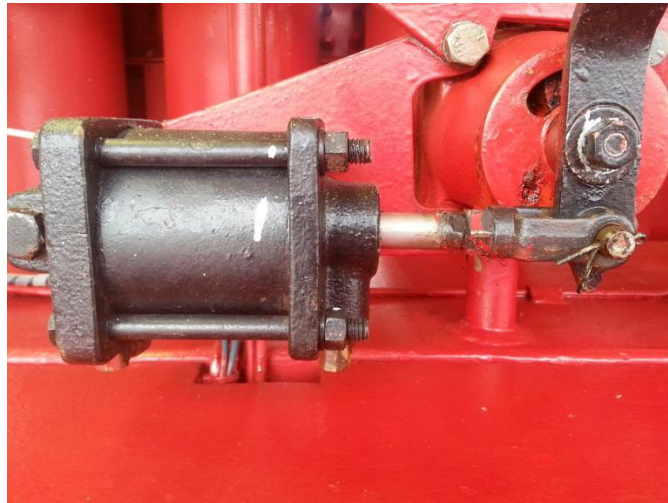


Figura 2.17. Cilindros neumáticos para accionamientos remotos.

En el caso que se desee comandar el equipo desde una unidad remota, se necesita accionar los mandos manuales de los paneles remotos y así permitir el paso de aire comprimido. El suministro de aire comprimido proviene de la Sala de Compresores de aire del taladro y éste es almacenado en un tanque reservorio, presurizado a 120 psi, que está ubicado en la parte posterior de los paneles remotos Figura 2.18. La señal neumática es enviada por mangueras desde la ubicación del panel remoto hasta el Acumulador de Presión, aproximadamente unos 40m y contiene una manguera por cada cilindro neumático ubicado en el Acumulador, en total 7 (BY PASS, KILL LINE, HCR, RAM INFERIOR, RAM SUPERIOR, RAM CIEGO Y ANULAR).



Figura 2.18. Reservorio de panel remoto original.

Este sistema también incluye las señales enviadas por 3 transductores de presión, los mismos que toman la presión del fluido hidráulico del acumulador y la transforman en señal neumática para ser mostrada en manómetros neumáticos ubicados en los paneles remotos. El sistema neumático se conecta al Sistema del Acumulador de Presión mediante una placa circular con todos los conectores de las mangueras que llevan las señales como se ilustra en la Figura 2.19.



Figura 2.19. Conector circular del control remoto original CPV-23.

Además, el Acumulador tiene una bomba neumática que cumple la función de ayudar a presurizar el sistema en su encendido, o cuando uno de los RAMS ha sido accionado y el sistema detecta una baja de presión. Esta bomba también cuenta con una unidad FRL (Filtrado-Regulación-Lubricación) que se encarga de que el aire proveniente de los compresores se trate antes de ingresar a la bomba.

2.2.2.2 Sistema hidráulico

Este sistema es el encargado de llevar a cabo la activación, apertura o cierre, de las válvulas preventoras del BOP. Consiste en un circuito diseñado para funcionar a 3000 psi de presión, excepto para algunas válvulas que operan a menores presiones. El fluido hidráulico, que está almacenado en un reservorio, es bombeado hacia las válvulas preventoras según el mando que se le aplique, utilizando 2 bombas eléctricas y con apoyo de la bomba neumática, que son las encargadas de mantener presurizado el sistema.

Para aumentar la presión del fluido se cuenta con botellas acumuladoras (bombonas), las cuales poseen internamente una goma que es precargada con 1000 psi de Nitrógeno; completando de esta manera la presión necesaria para operar las válvulas preventoras, que es de 3000 psi.

El fluido hidráulico presurizado se divide en las dos siguientes vías: La primera es usada para controlar el Preventor Anular. El fluido a 3000 psi

en las botellas pasa por un Regulador de Presión con el propósito de regular la presión a unos 750 psi para operar el preventor anular según las necesidades. La presión manejada por el Preventor Anular es menor que la empleada para operar los otros RAMS, debido a que una alta presión puede dañar el sello de goma dentro del preventor anular.

La otra vía es la usada para controlar las válvulas preventoras .El fluido hidráulico puede ser controlado en un rango de 1500 a 3000 psi por medio de un regulador de presión. Una vez regulado, el fluido hidráulico se dirige a un manifold que se usa para dividir la presión hidráulica hacia diferentes vías para operar el equipo. Eso es lo que generalmente se conoce como Manifold de Presión.

2.2.2.3 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico del Acumulador de Presión tiene como elemento principal a la bomba eléctrica, que tienen la función de presurizar el fluido al encender el acumulador o en caso de una despresurización del fluido. Su activación/desactivación es desde un gabinete de control situado junto al acumulador, mediante un pulsador de encendido. Para cuando se necesita presurizar el fluido hidráulico durante operación, se usa un switch de presión que enciende la bomba automáticamente.

2.2.2.4 Seguridad y protecciones

El sistema Acumulador de Presión contiene algunas protecciones para el equipo y medidas de seguridad. Por un lado cuenta con válvulas de seguridad o alivio en caso de que el fluido se presurice demasiado; una configurada a 3500 psi en la línea de control y otra a 5000 psi en las botellas acumuladoras.

Por otra parte cuenta con un sistema de alarma visual, que alerta niveles bajos de fluido hidráulico, y una alarma auditiva que informa una baja presión en el sistema acumulador. Estas alarmas son activadas por una válvula de boya y una válvula de alivio, ubicados en el reservorio de fluido y línea de presión respectivamente.

2.2.3 Descripción de partes del Acumulador de Presión

En el Anexo 1 se muestra el esquema con el número de partes de un Acumulador de Presión típico. A continuación se detallan cada una de las partes que conforman el sistema con una breve descripción de su funcionamiento y recomendaciones de uso.

(1) Botellas Acumuladoras: Botellas de 11 galones de capacidad, su presión de trabajo es de 3,000 PSI y la presión de precarga con nitrógeno al bladder interno es de 1,000 PSI. Es recomendable verificar la presión de precarga en cada botella cada 30 días, las botellas deben contener

solamente nitrógeno, ya que el aire y otros gases pueden causar fuego o explosión.



Figura 2.20. Botellas acumuladoras, CPV-23

(2) Válvulas aisladoras del banco acumulador: Normalmente deben estar abiertas; solamente se cierran cuando se desea aplicar una presión mayor de 3,000 PSI (para que no ingrese a las botellas acumuladoras), o cuando se realiza pruebas de efectividad de tiempo de respuesta del sistema. (Murchinson, 1994)

(3) Válvula de seguridad del banco acumulador: Está calibrada para abrir a 3,500 PSI. Protege también a la bomba Triple en caso de sobrepresión.

(4) Filtro en línea suministro de aire: Su función es evitar el ingreso de partículas a las líneas de aire comprimido. Se debe limpiarlo cada 30 días.



Figura 2.22. Filtro en línea de suministro de aire, CPV-23.

(5) Lubricador de aire: Debe usarse lubricante ISO VG 32 (Aceite de viscosidad 32 cSt a 40°C, equivalente a un lubricante SAE 10W) y ajustarlo para que provea seis gotas de aceite por minuto, además de revisarlo semanalmente. (Murchinson, 1994)

(6) Manómetro indicador de presión de aire: Sirve para verificar la presión de aire comprimido al sistema. El manómetro tiene un rango de presión de 0 - 300 PSI.

(7) Interruptor de presión neumático: Funciona como conmutador automático y está regulado para cortar el bombeo cuando el sistema alcanza los 2900 PSI. Cuando la presión en el Sistema desciende a 2,700 PSI, el interruptor de presión automáticamente permite que el aire fluya y arranque la bomba. Se puede ajustar los valores de corte y arranque con una tuerca de regulación.

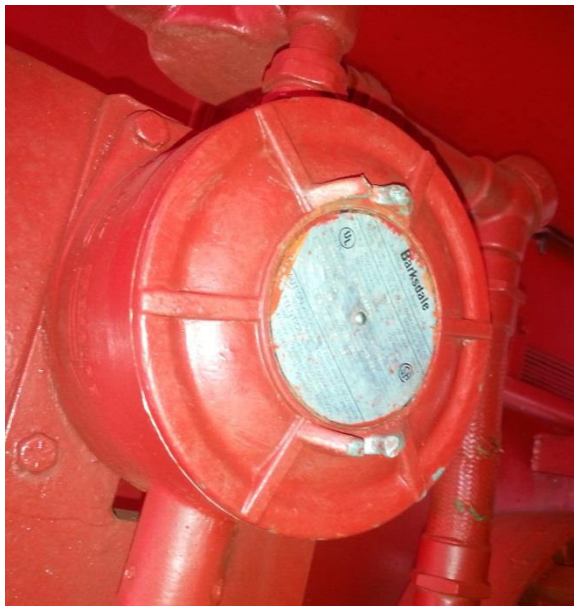


Figura 2.23. Interruptor de presión neumático, CPV-23.

(8) Válvula para anular el interruptor de presión hidro-neumático:

Esta válvula cuando es accionada anula el funcionamiento del interruptor de presión. Se utiliza cuando se va a realizar algún mantenimiento a la bomba neumática o a su vez esta se encuentra fuera de servicio.

(9) Válvula de suministro de aire a la bomba neumática: Esta

válvula permite el paso de aire hacia las líneas de la bomba neumática.

(10) Válvulas de cierre en línea de succión: Esta válvula permite el paso de aire hacia las líneas de succión de bomba neumática. Si la bomba esta operativa, esta válvula debe estar siempre en posición abierta.

(11) Filtros de succión: Su función es evitar el ingreso de partículas a la bomba neumática. La limpieza se realizará cada 30 días.

(12) Bomba Neumática: Este tipo de bomba opera con 125 PSI máximo, pero todos los equipos de aire trabajan con 120 PSI de presión de aire. Cada PSI de presión de aire produce 60 PSI de presión hidráulica. Por lo tanto la máxima presión hidráulica que producirán es de 7200 PSI.



Figura 2.24. Bomba neumática, CPV-23.

(13) Válvulas de contrapresión (check): Su función es permitir reparar o cambiar la bomba neumática sin perder presión en el banco acumulador.

(14) Motor eléctrico y arrancador: El motor eléctrico opera con tensión eléctrica de 220 / 440 voltios, 48,7 / 24,4 Amperios, 60 Hz, tres fases, 1765 RPM. El arrancador acciona y para automáticamente el motor eléctrico que controla la bomba Triple; trabaja conjuntamente con el interruptor de presión eléctrico (20) y tiene un interruptor manual de control para accionar o parar. Normalmente el interruptor de control debe estar en la posición "AUTO".



Figura 2.25. Motor eléctrico del acumulador de presión, CPV-23.

(15) Bomba Triplex: Esta bomba de 3 pistones tiene la función de presurizar el sistema acumulador en el arranque y durante cualquier activación. Es recomendable cada 30 días revisar el nivel de aceite (SAE-30W) de lubricación interna del cigüeñal. Además se tiene que revisar el nivel de aceite en la coraza de la cadena (SAE30 ó SAE40W), el cual debe llegar hasta el tapón de llenado. (Murchinson, 1994)



Figura 2.26. Bomba Triple del acumulador de presión, CPV-23.

(16) Válvula de cierre de succión: Esta válvula permite el paso de aceite hacia las líneas de succión de bomba triplex. Si la bomba esta operativa y encendida, esta válvula debe estar siempre en posición abierta.

(17) Filtro de succión: Impide el paso de partículas y suciedad hacia la bomba eléctrica. Se debe revisar cada 30 días.



Figura 2.27. Filtro de succión hacia la bomba triple, CPV-23.

(18) Válvula de contrapresión (check): Impide el retorno de fluido hacia la descarga de la bomba eléctrica. Además su función es permitir reparar el extremo hidráulico de la bomba sin perder presión en el Sistema.

(19) Válvula aisladora de la bomba eléctrica: Debe estar abierta normalmente y sólo tiene que cerrarla cuando vaya a generar presiones mayores de 3,000 PSI con las bombas hidroneumáticas.

(20) Interruptor de presión eléctrico: El motor de la bomba hidroeléctrica arranca automáticamente cuando la presión en el banco acumulador desciende a 2700 PSI y corta cuando la presión llega a 3,000 PSI. Se puede ajustar los valores de corte y arranque con una tuerca de regulación.



Figura 2.28. Interruptor de presión eléctrico, CPV-23.

(21) Manómetro indicador de la presión en el sistema acumulador:
Rango de presión de 0- 6000 PSI. Debe de marcar 1500 PSI.



Figura 2.29. Manómetro del sistema acumulador, CPV-23.

(22) Filtro del sistema acumulador: Impide el paso de partículas y suciedad hacia las líneas del acumulador; sirve como respaldo del filtro en la bomba eléctrica. Se debe revisar cada 30 días.

(23) Válvula reguladora y reductora de presión: Permite el cambio de la presión del Sistema entre 1500PSI y 3000 PSI para operar los preventores de arietes y válvulas. Se puede ajustar la presión con una tuerca de regulación y observando el manómetro del manifold (24).



Figura 2.30. Válvula reguladora de presión, CPV-23.

(24) Manómetro indicador de la presión en el Manifold: Rango de presión de 0 - 10000 PSI. Aquí se puede leer hasta 5,500 PSI, a esto nos limita la válvula de seguridad en el manifold de distribución (50).



Figura 2.31. Manómetro del Manifold de distribución, CPV-23.

(25) Válvula By Pass: Sirve para anular la válvula reguladora y reductora de presión (23). Normalmente debe estar en posición abierta. Cuando se necesiten aplicar presiones mayores de 1,500 PSI a los preventores de arietes se debe colocar en cerrada y de esta manera circulan el fluido a los 3000 PSI de presión que levantan las bombas.

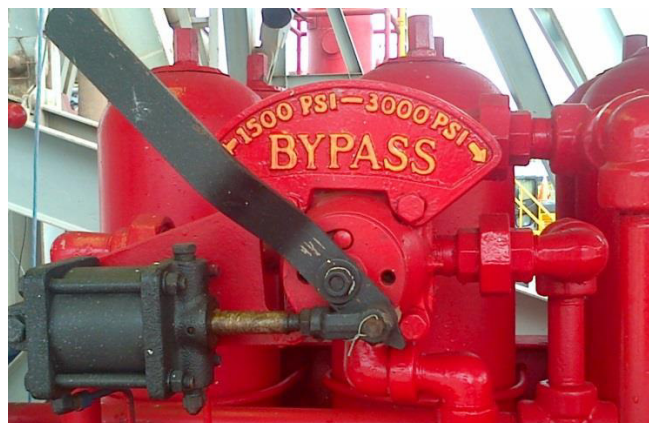


Figura 2.32. Válvula bypass, CPV-23.

(26) Válvula neumática reguladora de presión: Regula la presión para operar el preventor anular. Normalmente y dependiendo del estado de la goma del preventor, se regula (desde la válvula (35)) la presión entre 750 y 1100 PSI.



Figura 2.33. Válvula neumática reguladora del preventor anular, CPV-23.

(27) Manómetro indicador de la presión del preventor anular:

Rango de presión de 0-3000 PSI. La presión en este manómetro depende del preventor instalado.



Figura 2.34. Manómetro del anular, CPV-23.

(28) Válvulas hidráulicas de cuatro vías: Permiten cerrar o abrir los preventores y las válvulas hidráulicas instaladas. Manténgase en operación

abierta o cerrada. Nunca en neutral, a menos que se requiera descargar el fluido hidráulico al reservorio.



Figura 2.35. Válvula hidráulica de 4 vías, CPV-23.

(29) Válvula de purga: Normalmente debe estar cerrada. Esta válvula sólo debe mantenerse abierta cuando se precargan las botellas del acumulador o cuando se despresuriza el sistema para desmontar la Unidad BOP.



Figura 2.36. Válvula de purga, CPV-23.

(31) Caja de empalme de aire: Se usa para conectar las líneas de aire en el Sistema a las líneas de aire que vienen del tablero de control remoto.

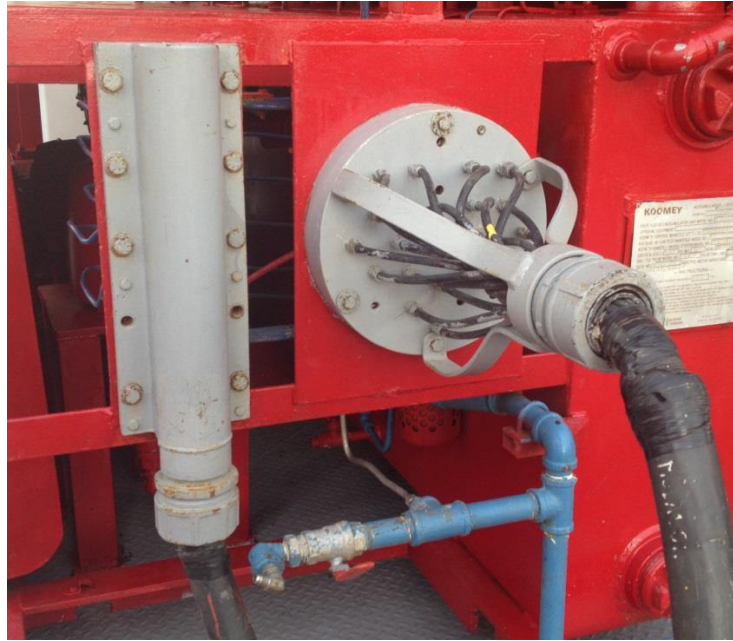


Figura 2.37. Cajas de empalme de aire, CPV-23.

(32) Transmisor de presión neumática del preventor anular: Traduce la presión hidráulica en presión neumática para enviarla al panel remoto del acumulador. Esta presión debe ser igual a la del manómetro indicador de la presión del preventor anular (27).

(33) Transmisor de presión neumática del manifold: Traduce la presión hidráulica en presión neumática para enviarla al panel remoto del acumulador. Esta presión debe ser igual a la del manómetro indicador de la presión en el manifold (24).

(34) Transmisor de presión neumática para la presión del sistema acumulador: Traduce la presión hidráulica en presión neumática para enviarla al panel remoto del acumulador. Esta presión debe ser igual a la del manómetro indicador de la presión en el manifold (21).



Figura 2.38. Transmisores neumáticos de presión, CPV-23.

(35) Válvula neumática para regular la válvula 26: Se utiliza para regular la presión de operación del preventor anular. El giro a la izquierda disminuye presión y a la derecha la incrementa.

(36) Selector de unidad del panel: Es una válvula manual de tres vías. Se usa para seleccionar desde donde se desea controlar el regulador 26, desde la unidad (Válvula 35) o desde los paneles de control remoto.



Figura 2.39. Selector de unidad de panel, CPV-23.

(37) Válvula de seguridad del manifold: Está regulada para que abra a 5,500 PSI.



Figura 2.40. Válvula de seguridad del manifold de distribución, CPV-23.



Figura 2.41. Unidad acumulador de presión, CPV-23

2.3 CONTROL REMOTO

2.3.1 Definición

Un control remoto o mando a distancia, es un sistema que permite controlar una máquina o equipo a una cierta lejanía de su ubicación fija. En las operaciones de perforación de pozos petroleros, y particularmente en el sistema de prevención de reventones, se utiliza un control remoto para la unidad Acumulador de Presión con el fin de facilitar su accionamiento en caso de una emergencia. Estas unidades remotas suelen ubicarse, una cerca al departamento de Operaciones en una locación, donde normalmente se encuentra el Supervisor encargado del taladro, quien es el responsable de realizar estos accionamientos ante una arremetida o venida de pozo; y otra junto al perforador quien puede también hacer uso de este control en caso de cualquier emergencia.

La importancia de una unidad de control remoto para el Acumulador de Presión trasciende en el tiempo de respuesta que se puede tener ante una eventualidad. Al contar con un mando a distancia este tiempo se reduce considerablemente en comparación a realizar el accionamiento desde el Acumulador de Presión, debido a la distancia que se debiera recorrer si se desea accionar el sistema. Es por ello que la efectividad y funcionamiento de esos mandos deben ser óptimos, ya que de ellos depende un buen control de arremetidas y de esta manera no ocasionar una eventualidad.

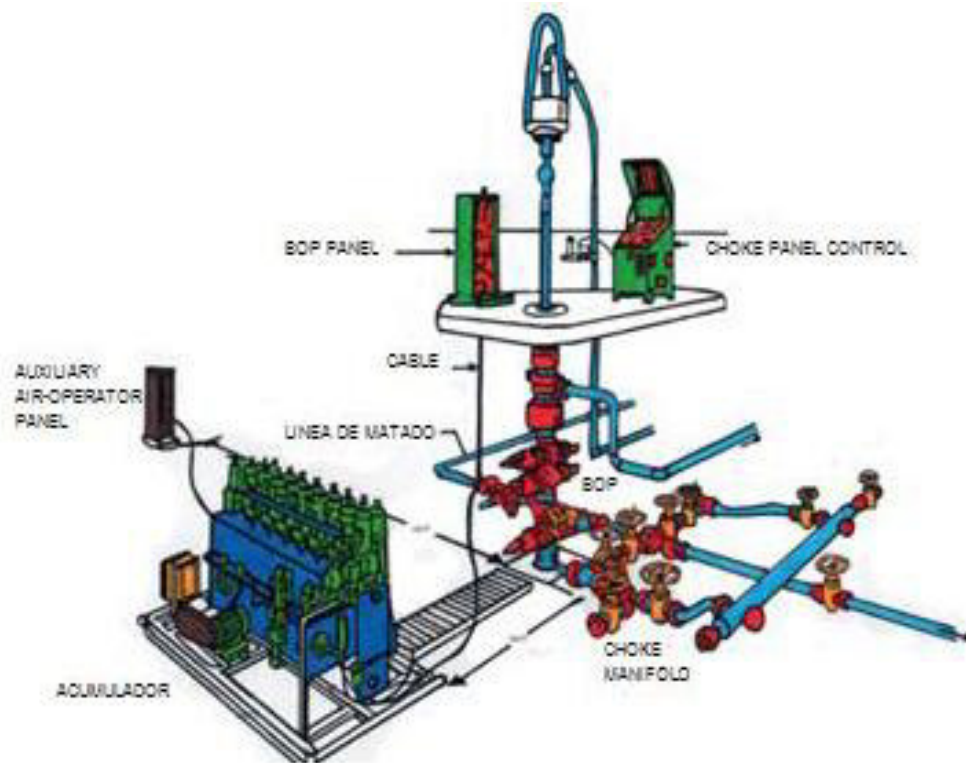


Figura 2.42. Esquema de conexiones Acumulador de Presión y Controles Remotos. (Murchinson, 1994)

2.3.2 Características y componentes

Una unidad de control remoto para Acumulador de presión debe contener los mandos e indicadores para realizar una operación de apertura/cierre del BOP, como si lo estuviera haciendo directamente desde el Acumulador. Es decir se debe poder accionar cada uno de los RAMS y visualizar todas las presiones del sistema Acumulador. Además debe tener la capacidad de realizar los accionamientos de forma eficiente, es decir en un tiempo mínimo, ya que se lo utilizaría durante una emergencia; y con el caudal y presión necesarios para poder realizar la operación.

Cada control remoto consta de los siguientes componentes:

- Válvulas de accionamiento manual: Una por cada RAM (6 en total), que se desee manipular. Estas válvulas son de centro a descarga, ya que tienen 3 posiciones, una de apertura, una de cierre y en el centro la descarga de presión para que no realice ningún movimiento. Su accionamiento es de palanca.
- Manómetros: Estos instrumentos permiten visualizar las diferentes presiones que se encuentran en el Acumulador, como son: Presión del Acumulador, Presión del manifold y Presión del RAM Anular. Además se coloca un manómetro extra para monitorear la presión de alimentación neumática de suministro.
- Gabinete: Acoge a todos los componentes para su visualización y acceso. Consiste en un armario metálico de aproximadamente 2m de altura y 1,20m de ancho; con una puerta de reja que impide el acceso a cualquier operador. En la parte posterior del armario se encuentran todas las conexiones del sistema neumático y sus elementos: Válvulas, racores, mangueras, tanque de suministro y manómetros.
- Base: Es una estructura fuerte donde se asienta el gabinete y está diseñada con puntos de izamiento en sus extremos, lugares de donde se levanta el sistema para cambiarlo de ubicación durante una mudanza.



Figura 2.43. Control Remoto del Acumulador de Presión del CPV-23

2.3.3 Funcionamiento

La unidad de control remoto se basa en sistema neumático, donde existe un tanque de almacenamiento de aire presurizado, el cual es el suministro del equipo; este tanque alimenta con aire a 120 PSI a las válvulas que controlan la apertura/cierre de los RAMS. Para realizar cualquier acción, es necesario abrir una válvula que permite el paso de aire y manteniéndola abierta accionar cualquiera de las válvulas de los RAMS; una vez realizada esta maniobra el aire del tanque circula a través de ellas para realizar el accionamiento de los cilindros neumáticos que se encuentran en el acumulador (a unos 30 a 60m aproximadamente, dependiendo de la locación) y así abrir o cerrar uno de los RAMS.



Figura 2.44. Distancia de ubicación del panel remoto desde el Acumulador de Presión locación 1 (30m aprox.).



Figura 2.45. Distancia de ubicación del panel remoto desde el Acumulador de Presión locación 2 (60m aprox.).

La desventaja principal de usar este dispositivo, es la eficiencia con la que realiza cualquier maniobra. Al ser un control remoto, su ubicación debe estar alejada del Acumulador de Presión lo cual implica largas mangueras de conexión de aire comprimido, realizando empalmes cada cierta distancia y haciendo que el peso de esta manguera sea exagerado. La longitud de la manguera dificulta el paso de vehículos pesados dentro de la locación, por lo que se improvisan excavaciones de canales en el suelo para enterrar la manguera, dejándola expuesta a soportar el paso diario de camiones, montacargas, grúas y demás equipos industriales. En ocasiones por descuidos de conductores o falta de señalización han ocurrido aplastamientos que dañan las mangueras (Figura 2.46) o rompen el plato de conexiones (Figura 2.47).



Figura 2.46. Mal estado de mangueras de señales del control remoto.



Figura 2.47. Aplastamiento y rotura de plato de terminales neumáticas por un camión montacargas.

Muchas veces estas uniones de mangueras se rompen por esfuerzos grandes, o al enrollar la manguera (Figura 2.48) para realizar una mudanza. Además afectan directamente al accionamiento, ya que existen pérdidas en cada unión y pérdidas por distancia recorrida del aire comprimido, resultando en accionamientos fallidos debido al poco caudal que llega a los cilindros. Si una emergencia llegase a suceder, el quipo podría no responder como se desea provocando un mal control del pozo y finalmente un incidente.



Figura 2.48. Enrollado de mangueras para realizar mudanza.

2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

De acuerdo con la definición de la "Nema" (National Electrical Manufacturers Association), un controlador lógico programable es: "Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1 5 VDC, 4 20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos".

Los controladores lógicos programables, más conocidos por sus siglas en inglés (PLC), con computadoras utilizadas en ingeniería para realizar la automatización de diferentes tipos de procesos. Los PLC's son altamente utilizados en la industria y en el control de máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples entradas y salidas de señales, ya sean digitales o analógicas.

Son sistemas basados en un microprocesador; y sus partes fundamentales son:

- La unidad central de proceso (CPU).
- La memoria.
- Módulos de Entradas y Salidas
- Fuente de Alimentación.
- Periféricos.

La CPU es la encargada de realizar todo el control interno y externo del PLC, así como de la interpretación de las instrucciones del programa. En base a las instrucciones que son almacenadas en la memoria y a los datos que lee de los módulos de entrada, se generan las señales en los módulos de salida. El PLC dispone de dos tipos de memoria: Memoria ROM; la cual es solo de lectura, y la Memoria RAM; que es la memoria de lectura y escritura. (SIEMENS, Siemens Global Website)

La memoria ROM es en donde se almacenan los programas e información esencial para el correcto funcionamiento del PLC. La memoria RAM está conformada por la memoria de datos, en la que se almacena la información de los módulos de entradas y salidas y de variables internas y por la memoria de usuario.

Los módulos de entradas y salidas recopilan la información del proceso y generan las acciones de control del mismo. Los dispositivos que se conectan a los módulos de entradas de un PLC pueden ser: Pulsadores, interruptores, contactos auxiliares, sensores de temperatura, de posición, de velocidad, etc. Al igual en los módulos de salida se pueden conectar diferentes tipos de dispositivos como: luces piloto, relevadores, contactores, electroválvulas, drives, variadores de frecuencia, etc. Existen muchas compañías que fabrican controladores lógicos programables, de las cuales trabajaremos con SIEMENS por su alto grado de confiabilidad en el área industrial petrolera y garantías de fabricación.

2.4.1 Clasificación.

Esta marca comercializa varios tipos de PLC que difieren en la aplicación para la cual se van a utilizar. Es así que tenemos las diferentes familias de PLC's de SIEMENS que se indican en el cuadro de la Figura 2.49.

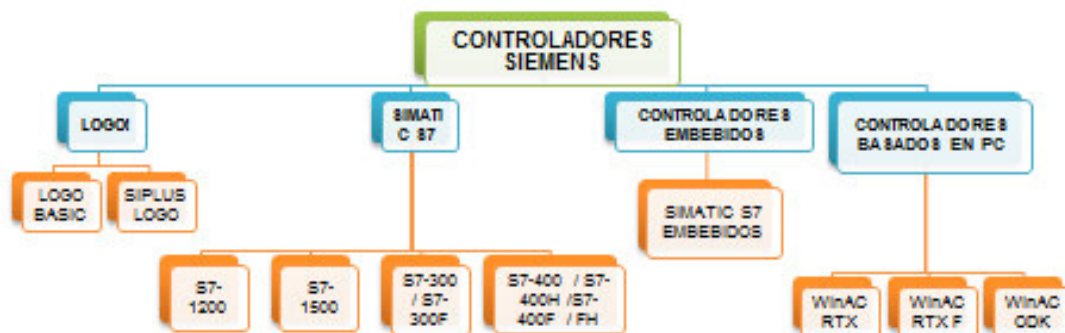


Figura 2.49. Familia de PLC de la marca SIEMENS.

El nuevo controlador modular SIMATIC S7-1200, es el núcleo de la nueva línea de productos SIEMENS para tareas de automatización sencillas pero de alta precisión ya que integran muchas funciones lógicas, matemáticas, de control, HMI y redes industriales. El S7-1200 es el sucesor del S7-200. Gracias a su diseño compacto, su bajo coste y sus potentes funciones, los sistemas de automatización S7-1200 son idóneos para el tipo de automatización que será diseñado en este proyecto de tesis. (SIEMENS, Siemens Global Website)

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos según la necesidad en las

tareas de automatización. Esta marca comercializa varios tipos de PLC que difieren en la aplicación para la cual se van a utilizar.

2.4.2 Módulos de Expansión.

La gama de PLC's S7-1200 ofrece una gran variedad de módulos de señales y Signal Boards que permiten ampliar las prestaciones del controlador. También se pueden instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación industrial.

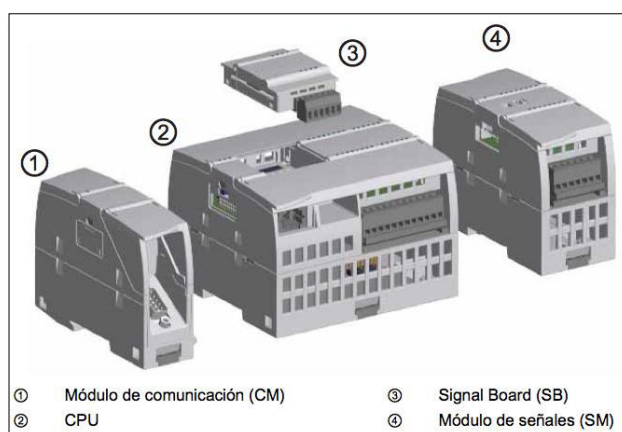


Figura 2.50. Módulos de expansión PLC Siemens S7-1200.

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
<ul style="list-style-type: none"> • RS485 • RS232 				

Figura 2.51. Módulos de Expansión del S7-1200.

El nuevo sistema S7-1200 desarrollado viene con tres modelos diferentes de CPU (CPU 1211C, CPU 1212C y CPU 1214C), los cuales se pueden expandir a las necesidades y requerimientos de las máquinas.

En la siguiente figura se especifica las características de cada CPU del controlador S7-1200:

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75
Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> • Digital • Analógico 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 entradas 4 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 entradas 6 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas 10 salidas • 2 entradas
Salidas de impulsos ¹	2	2	2
Memory Card (opcional)	Sí	Sí	Sí
Tiempo de respaldo del reloj en tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Figura 2.52. Características CPU's S7-1200. (SIEMENS S. , 2009)

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad, además de entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta. Una vez descargado el programa, la CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos conectados al PLC. La CPU hace lectura de las entradas y

cambia el estado de las salidas en función de la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas básicas y complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. En la siguiente figura se puede observar las principales partes del CPU del PLC Siemens S7-1200.

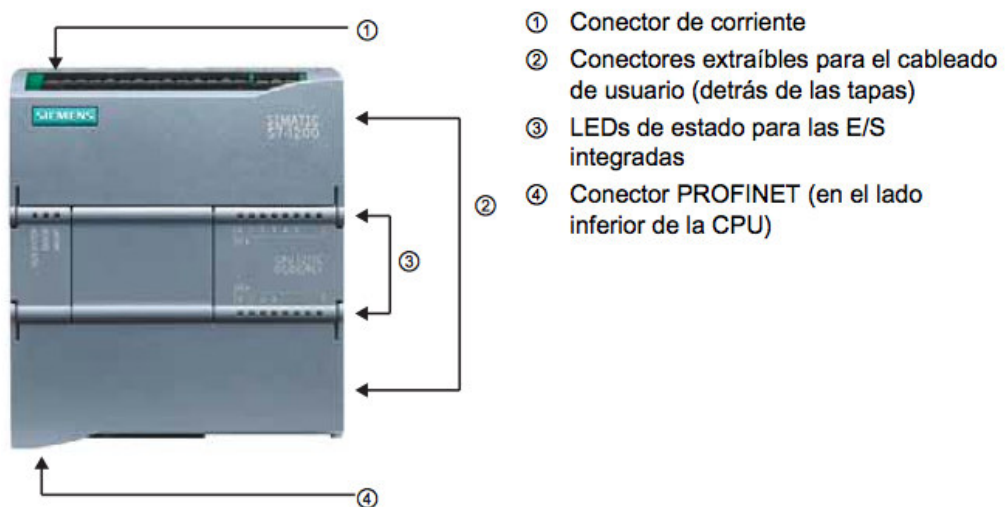


Figura 2.53. Partes del CPU del PLC s7-1200. (SIEMENS S. , 2009)

Un Signal Board pueden añadirse en la parte frontal de cualquiera de las CPUs de manera que se pueden expandir fácilmente las señales digitales y analógicas sin afectar el tamaño físico del controlador.

A la derecha de la CPU pueden colocarse los módulos de señales que se requieran para aumentar la capacidad de entradas y salidas analógicas. A la CPU 1212C pueden añadirse dos módulos de señales y, a la CPU 1214C, ocho. Finalmente todas CPU SIMATIC S7-1200 pueden equiparse hasta con tres módulos de comunicación a la izquierda del

controlador, lo que permite una comunicación serie punto a punto con otros dispositivos. (SIEMENS, S7 Controlador programables s7-1200, 2012)

2.4.3 Programación.

En el marco del compromiso de la tecnología SIMATIC para la automatización plenamente integrada; TIA por sus siglas en inglés (Totally Integrated Automation), y herramienta de programación Step 7 Basic, proporcionan la flexibilidad necesaria para cubrir las diferentes necesidades de automatización presentes en la industria. (SIEMENS S. , 2009)

El SIMATIC S7-1200 se lo programa, mediante la herramienta de Software Step 7 Basic V11, para la configuración no solamente de este controlador sino de manera integrada los paneles de la gama Simatic Basic panel, con el sistema de ingeniería WinCC Basic.

STEP 7 Basic, proporciona un entorno fácil de manejo para configurar la lógica del controlador, la visualización del HMI y la comunicación por red. Para aumentar la productividad ese software ofrece dos vistas diferentes del proyecto, a saber: Distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (Vista del Portal), o una vista orientada a los elementos del proyecto (Vista del Proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente.

La vista de proyecto proporciona una vista funcional de las tareas del proyecto y organiza las herramientas de acuerdo con la tarea que se va a realizar. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que debe seleccionarse como se indica en la Figura 2.54.

1. Portales para las diferentes tareas.
2. Tareas del portal seleccionado.
3. Panel de selección para la acción seleccionada.
4. Cambia a la vista del proyecto



Figura 2.54. Vista de Portal, TIA Portal V11.

La vista del proyecto proporciona acceso a todos los componentes del proyecto, como muestra la Figura 2.55.

1. Menús y barra de herramientas.
2. Árbol del Proyecto.
3. Área de Trabajo.
4. Task Cards.
5. Ventana de Inspección.
6. Cambia a la vista del portal.
7. Barra del Editor.

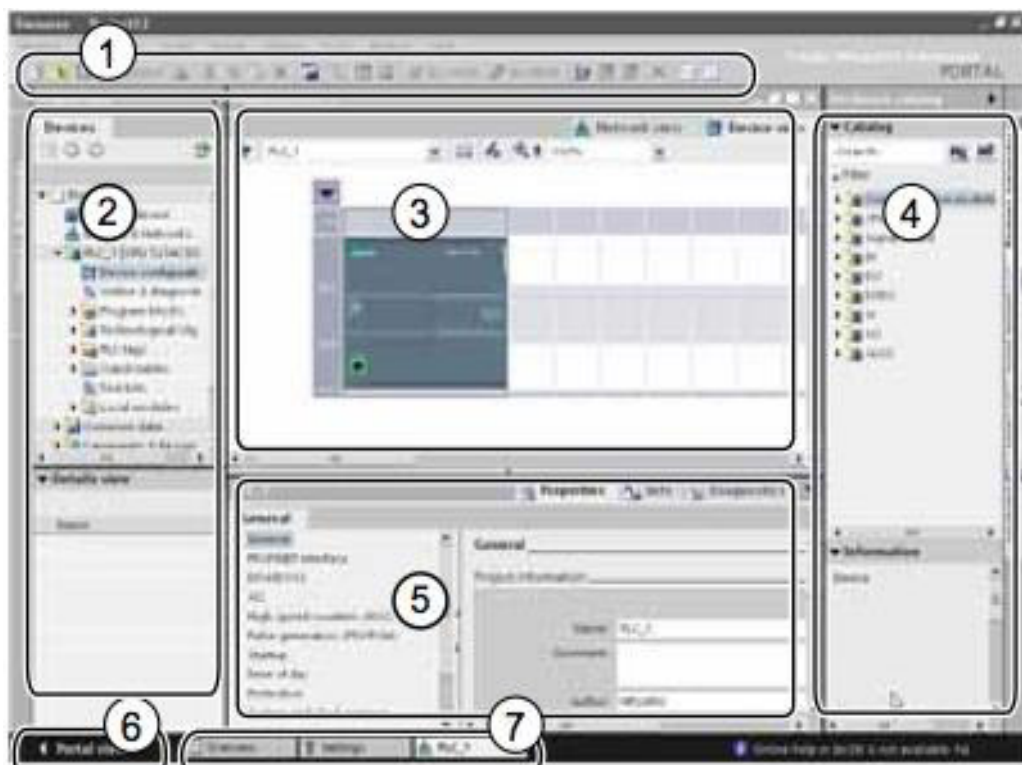


Figura 2.55. Vista de proyecto, TIA Portal V11.

Puesto a que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La

ventana de inspección por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo. Si se seleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestra las propiedades que pueden configurarse.

El software de programación STEP 7 ofrece un entorno confortable que permite, desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto. (SIEMENS, TIA Portal Step 7 Basic V12, 2012)

STEP 7 proporciona lenguajes de programación estándar, que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control. Estos lenguajes son los siguientes:

- KOP (Esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación se basa en esquemas.
- FUP (Diagrama de funciones) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra.

Al crear un bloque lógico, se debe seleccionar el lenguaje de programación que empleará dicho bloque. El programa de usuario puede

emplear bloques lógicos creados con cualquiera de los lenguajes de programación.

2.4.3.1 Esquema de Contactos (KOP):

Los elementos de un esquema de circuitos, tales como contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, así como las bobinas, se combinan para formar segmentos.

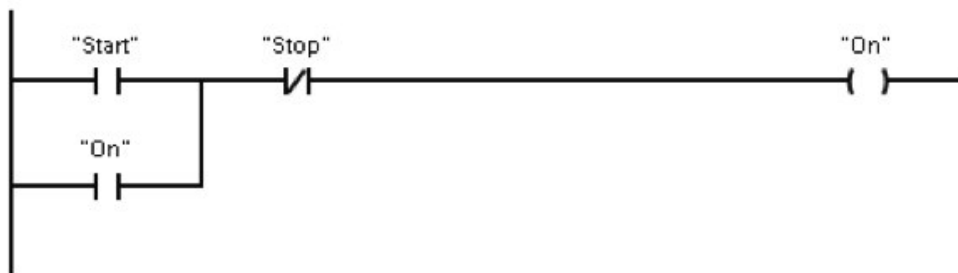


Figura 2.56. Segmento de Instrucciones KOP.

Para crear la lógica de operaciones complejas, es posible insertar ramas para los circuitos paralelos. Las ramas paralelas se abren hacia abajo o se conectan directamente a la barra de alimentación. Las barras se terminan hacia arriba.

KOP ofrece instrucciones con cuadros para numerosas funciones, por ejemplo: matemáticas, temporizadores, contadores y transferencia. STEP 7 no limita el número de instrucciones (filas y columnas) de un segmento KOP.

2.4.3.2 Diagrama de funciones (FUP):

Al igual que KOP, FUP es un lenguaje de programación gráfico. La representación de la lógica se basa en los símbolos lógicos gráficos del álgebra booleana.

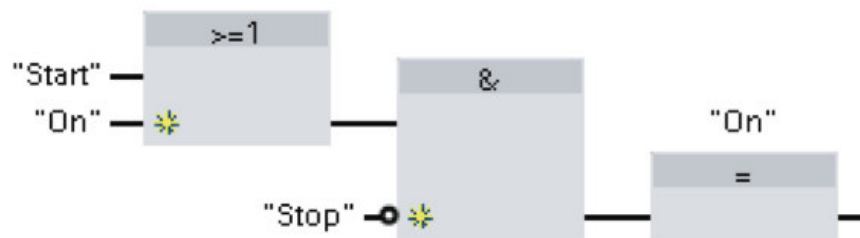


Figura 2.57. Segmento de Instrucciones FUP.

2.4.4 Comunicación.

Todas las CPU SIMATIC S7-1200 pueden equiparse hasta con tres módulos de comunicación a la izquierda del controlador lo que permite una comunicación sin discontinuidades, de entre las que se destacan:

- Industrial Ethernet/Profinet: esta interfaz garantiza una comunicación con el sistema de ingeniería STEP 7 Basic integrado y con dispositivos Profinet I/O. Esta interfaz permite la programación y la comunicación con los Basic Panels para la visualización, controladores adicionales y equipos de otros fabricantes.

- Protocolos abiertos de Ethernet TCP/IP native e ISO-on-TCP hacen posible la conexión y la comunicación con varios equipos de otros fabricantes.
- PROFIBUS DP: permiten la integración en la automatización estándar. (SIEMENS S. , 2009)

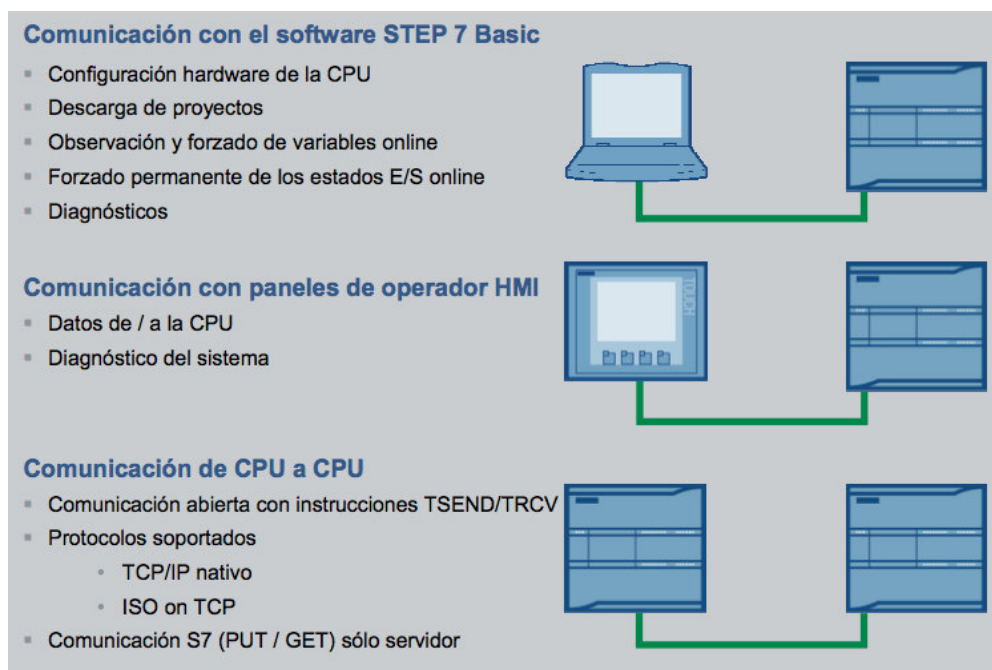


Figura 2.58. Interfaz PROFINET Ethernet S7-1200 (SIEMENS S. , 2009)

2.4.5 IWLAN

La comunicación industrial es una de las claves para aumentar la eficiencia, reducir los costes totales de propiedad y mejorar la productividad. El enorme potencial de esta tecnología abre nuevas expectativas, desde la modernización parcial de una planta o máquina, hasta la optimización de complejos procesos logísticos o de producción. (SIEMENS)

Las soluciones inalámbricas se convierten cada vez más en componentes imprescindibles de máquinas e instalaciones. Para aquellos casos en los que la comunicación de datos deba satisfacer estrictos requisitos, Industrial Wireless LAN (IWLAN) apuesta por innovaciones como las redes inalámbricas deterministas y PROFINET, el estándar de Industrial Ethernet.

Una IWLAN está particularmente indicada para aplicaciones industriales sofisticadas que requieren comunicación inalámbrica homogénea, fiable y segura:

- Para clientes del sector industrial y de automatización
- Para severos requisitos climáticos en el exterior
- Para la integración económica en el armario eléctrico o en equipos

Productos de comunicación adaptados entre sí posibilitan un funcionamiento sin problemas desde el nivel del campo hasta el ámbito de la oficina, desde PROFIBUS e Industrial Ethernet por cable hasta soluciones inalámbricas con Industrial Wireless LAN. Todo ello redundará en una mayor eficiencia, dado que todas las estaciones y sistemas se pueden utilizar de forma homogénea en la producción y la administración. Con la conexión de un punto de acceso IWLAN a la red Ethernet, ésta se amplía con la tecnología inalámbrica. Las estaciones se conectan vía inalámbrica mediante la interfaz WLAN que tienen integrada (por ejemplo, cuando se

trata de un PC portátil) o a través de un módulo cliente IWLAN al que se puede conectar la estación u otro segmento de red por medio de un cable.

Esto permite acceder a PLCs o procesos existentes sin necesidad de trabajo de cableado adicional. Con una conexión inalámbrica y la función de itinerancia (roaming), las estaciones conectadas pueden moverse libremente dentro del radio de cobertura de la red IWLAN. (SIEMENS)

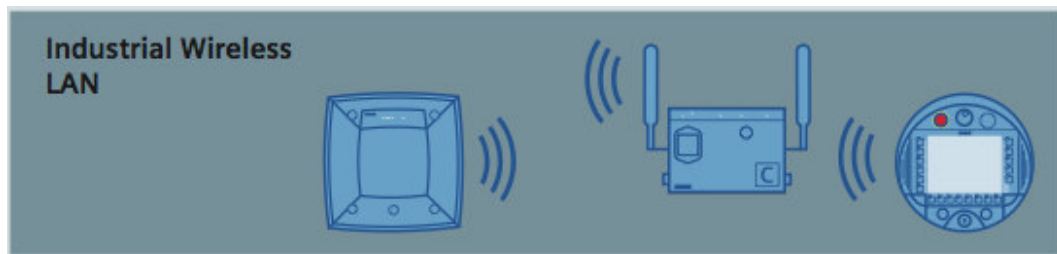


Figura 2.59. Industrial Wireless LAN.

2.4.6 Infraestructura de Radiotransmisión:

Los módulos SCALANCE W utilizan para mejorar la recepción tecnologías como la conmutación de antenas (diversidad de antenas), receptores de alta calidad y procedimientos de modulación tolerantes a fallos, con lo que mejora la calidad de las señales y se evita la interrupción de la radiotransmisión. Las ampliaciones del estándar IEEE 802.11 permiten asimismo la transmisión inalámbrica fiable de PROFINET y constituyen el requisito para aplicaciones Safety basadas en radiofrecuencia y la transmisión de datos de vídeo con datos de respuesta y actualización muy cortos. (SIEMENS)

2.4.6.1 Solución de red con IWLAN:

Con equipos terminales móviles es posible realizar, por ejemplo, un flujo de información continuo desde el nivel de gestión de la empresa hasta el nivel de producción.

Para una conexión a equipos PROFIBUS basada en radiofrecuencia, está disponible IWLAN/PB Link PN IO. Con él se proporciona la información por vía rápida, inalámbrica, segura y sencilla en el lugar correcto y en el momento adecuado.

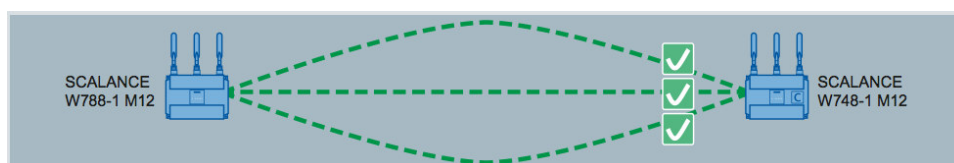


Figura 2.60. Propagación por trayectos múltiples MIMO con SCALANCE.

2.4.6.2 Puntos de acceso:

Los puntos de acceso de la línea de productos SCALANCE W780 son ideales para construir redes IWLAN (Industrial Wireless LAN) a 2,4 GHz o 5 GHz. Se pueden utilizar en todas las aplicaciones que requieren gran seguridad funcional, incluso en condiciones ambientales extremadamente adversas.

Altas velocidades de transferencia (hasta 450 Mbits/s en combinación con Channel Bonding) por tecnología 3x3 MIMO (Multiple Input, Multiple Output); los puntos de acceso SCALANCE W utilizan para ello tres canales

para la transmisión y recepción simultáneas. (SIEMENS, Industrial Wireless LAN, SCALANCE W700 Web Based Management, 2012)

- Apto para uso universal:
 - Para el montaje en armario eléctrico
 - Para instalación en interiores fuera del armario eléctrico
 - Para severos requisitos climáticos en el exterior
- Fiabilidad garantizada por su caja robusta a prueba de golpes, protección contra los efectos del agua y el polvo (IP65), resistencia a choques, vibraciones y campos electromagnéticos.
- Aplicaciones exigentes con requisitos de redundancia y grandes anchos de banda, p. ej., para vídeo, por la utilización de IEEE 802.11n.
- Ayuda para la configuración mediante asistentes y ayuda online; administración sencilla mediante servidor web y SNMP.

El cuadro de la Figura 2.61 muestra los diferentes tipos de Puntos de Acceso con sus respectivas antenas y la Figura 2.62 muestra los dispositivos SCALANCE para comunicaciones inalámbricas IWLAN.

















	Industrial Wireless LAN according to IEEE 802.11		Industrial Wireless LAN incl. iFeatures	
	Access Points	Client Modules	Access Points	Client Modules
For outside environments	W786 RJ45 / W786 SFP 		W786-2RR 	
For interior environments	802.11a/g/n W788 M12 	W748 M12 	W788-1RR / W788-2RR 	W747-1RR 
For cabinets	W788 RJ45 	W748 RJ45 	802.11a/b/g W784-1RR 	W747-1 
	802.11a/b/g W784-1 	W744-1 / W746-1 		IWLAN / PB Link PN IO 
Mobile operating		Field PG 		Mobile Panel 277F (IWLAN) 
Wireless Devices				ET200pro IWLAN 

Figura 2.61. Puntos de acceso y módulos cliente SCALANCE W.



Figura 2.62. Puntos de acceso SCALANCE W

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para el desarrollo del sistema a implementar es importante seguir una metodología de desarrollo de un producto. En este caso nos regiremos a los pasos secuenciales mencionados en el libro PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT de Karl Ulrich; los cuales son:

- Identificación de la oportunidad.
 - Antecedentes.
- Mision Statement.
 - Planteamiento.
 - Identificación de Mercados (Primario, Secundario).
 - Metas clave del proyecto.
 - Stakeholders.
- Identificación de necesidades del cliente.
 - Objetivos.
 - Lista de usuarios.
 - Entrevista a usuarios.
 - Análisis de resultados.
 - Requerimientos de norma API RP 16E.
 - Identificación de restricciones del Producto.
 - Interpretación de las necesidades del cliente.

- Ponderación de las necesidades del cliente.
- Resumen de necesidades del cliente.
- Especificaciones del producto.
 - QFD (Quality Function Deployment).
 - Especificaciones obtenidas.
- Generación de conceptos.
 - Five Step Concept Generation Method.
- Selección del concepto.

El proyecto a desarrollar se puede considerar como un producto personalizado, debido a que es una variación a un sistema que ya existe en la empresa (Unidad Acumuladora de Presión), en respuesta pedidos específicos del cliente. El desarrollo del producto personalizado consiste básicamente en establecer valores de variables de diseño tales como dimensiones físicas y materiales.

Antes de iniciar con el diseño del sistema es muy importante seguir una metodología de desarrollo del producto. Una vez analizados tanto los problemas del sistema como las necesidades de los operadores, estos se deben transformar a especificaciones del sistema a implementar.

3.1.1 Identificación de la oportunidad

3.1.1.1 Antecedentes

El proceso de planeación empieza con una identificación de oportunidades de desarrollo del producto. Una vez analizados los antecedentes mencionados en el capítulo uno, se pueden considerar varias oportunidades de desarrollo del producto identificadas por muchas fuentes, incluyendo sugerencia hechas por varios ingenieros de la empresa, así como técnicos, operadores del taladro y de comparación con productos de la competencia.

3.1.2 Mission Statement

3.1.2.1 Planteamiento

De entre otras oportunidades se seleccionó el Diseño y construcción de un sistema mecatrónico de control del acumulador de presión. Se programó un tiempo de 6 meses para el desarrollo del mismo, y la empresa asignó un presupuesto de alrededor de \$30000.

“Aumentar la eficiencia y seguridad en el control de los acumuladores de presión de unidades BOP en las empresas de perforación petrolera”

3.1.2.2 Identificación de Mercados

Mercado Primario:

- Empresas de Perforación Petrolera

Mercado Secundario:

- Fabricantes de equipos de perforación
- Fabricantes de unidades BOP

3.1.2.3 Metas clave del Proyecto

- Lograr un financiamiento en su totalidad por parte de la compañía PDVSA.
- Implementación del sistema en el taladro CPV-23.
- Aumentar la seguridad en la operación de los acumuladores de presión.
- Vender la idea del producto a varias empresas de perforación.

3.1.2.4 Stakeholders

- Distribuidoras de equipos de perforación.
- Gobierno.
- Posibles compradores de patente.

3.1.3 Identificación de necesidades del cliente**3.1.3.1 Objetivos**

- Garantizar que el producto se enfoque en las necesidades del cliente.
- Identificar necesidades latentes y ocultas así como necesidades explícitas.

- Proveer una base de hecho para justificar las especificaciones del producto.
- Garantizar que no falte o no se olvide ninguna necesidad crítica del cliente.
- Desarrollar un entendimiento común de las necesidades del cliente entre miembros del equipo de desarrollo.

3.1.3.2 Lista de Usuarios:

Usuarios Primarios:

- Perforadores de un Taladro.
- Supervisor de 24 horas de un Taladro de Perforación.

Usuarios Secundarios:

- Supervisor de 12 horas de un Taladro de Perforación.
- Supervisor de Mantenimiento de un Taladro de Perforación.
- Company Man de la empresa operadora.

Usuarios Terciarios:

- Supervisor de instrumentación del Taladro de Perforación.
- Instrumentista del Taladro de Perforación.

3.1.3.3 Entrevista a Usuarios

Para realizar la identificación de necesidades se procedió a realizar una entrevista a las siguientes personas:

- Supervisor de 24 Horas de turno A del CPV-23: Augusto Rangel.
- Supervisor de 24 Horas de turno B del CPV-23: Gerardo Guerra.
- Supervisor de 12 Horas de turno A del CPV-23: Sergio Andrade.
- Supervisor de 12 Horas de turno B del CPV-23: Benito Estrada.
- Perforador de turno del CPV-23: Xavier Benavides
- Supervisor de Mantenimiento BOC: Alexis Franco.
- Instrumentista del CPV-23 Turno A: Luis Castro.
- Instrumentista del CPV-23 Turno B: Eduardo Alcívar.

La entrevista realizada a los usuarios incluyó las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la función del acumulador de presión en el taladro de perforación?
2. ¿Cómo está conformada la unidad BOP del taladro CPV-23?
3. ¿Quiénes son los encargados de manipular el control de los RAMS del BOP?
4. ¿Quién es el encargado de regular la presión de cierre del Preventor Anular? Y ¿En base a que se regula la presión del mismo?
5. ¿Qué defectos ve usted al acumulador de presión presente en el CPV-23?

6. ¿Qué tipos de accionamiento tienen los Rams del BOP?
7. ¿Ha visto usted otro tipo de accionamiento de los RAMS en otros taladros de perforación?, ¿Cuáles son las diferencias con este taladro?
8. ¿Qué tipo de mejora le haría usted al accionamiento de los RAMS de la BOP?

Se consideró de gran importancia realizar una entrevista al personal de mantenimiento del taladro, ya que ellos son los encargados de dar servicio de mantenimiento preventivo y correctivo tanto al acumulador de presión como a sus controles neumáticos, además de que brindaron información técnica del mismo. Al entrevistar a estas personas se agregaron las siguientes preguntas:

1. ¿Cuánto se demora en la conexión y desconexión de las mangueras neumáticas de los controles del acumulador de presión?
2. ¿Cuánto se demora en realizar servicio de mantenimiento a los controles neumáticos del acumulador de presión?
3. ¿Qué tipo de regulación de presión posee el Preventor Anular?
4. ¿Cuánta presión se maneja en los controles neumáticos del acumulador?
5. ¿Cuáles son los datos técnicos del acumulador de presión?

3.1.3.4 Análisis de Resultados:

Declaraciones Directas de los Usuarios:

- El acumulador de presión es un elemento clave y esencial en las operaciones del taladro de perforación.
- El acumulador de presión es el encargado de proveer la presión hidráulica necesaria para el cierre de los RAMS y del preventor que conforman la unidad BOP.
- Los datos técnicos del acumulador de presión presente en el Taladro CPV-23 son los siguientes:

- Marca: KOOMEY
- Modelo: T20150 3S
- Presión de Trabajo: 3000 PSI
- Presión Manifold: 1500 PSI (Regulable)
- Presión Anular: 600 a 1500 PSI (Regulable por Diafragma de Aire)
- Cilindros de Nitrógeno: 20 (11 Galones, precargados con 1000 PSI cada uno)
- Bombas: Bomba neumática y una Bomba Triple energizada eléctricamente.
- Aceite Hidráulico: Hidralub 68
- Capacidad Reservoirio: 280 GLS

- 7 válvulas de 4 vías accionadas por un cilindro neumático de doble efecto o con un brazo tipo palanca. (Bypass, HCR, Kill Line, Ram Inferior, Ram Ciego, Ram Superior, Preventor Anular)
- La unidad acumuladora posee dos tipos de alarmas, una visual que sirve para alertar que existe bajo nivel de aceite hidráulico en el reservorio, y una auditiva que alerta cuando el acumulador presenta una presión por debajo de los 1000 PSI. Estas alarmas son de mucha importancia debido a que el acumulador de presión debe tener todo el aceite hidráulico necesario para la apertura y cierre de los rams de la BOP, así como debe mantener una presión superior a los 1500 PSI para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos durante las operaciones de cierre del pozo.
- Los controles neumáticos accionan los cilindros de las válvulas de cuatro vías de cada RAM, por medio de válvulas de 5 vías y 3 posiciones con retorno a resorte, las cuales poseen una alimentación de aire comprimido de 120 PSI.
- El encargado de realizar la apertura y cierre de los RAMS de la BOP son tanto el Supervisor de 12 Horas como el perforador. Si llegase a existir una emergencia y es necesario el cierre del ram ciego, el encargado de hacerlo es el Supervisor de 24 horas.
- No se sigue ninguna norma o especificación para la regulación de la presión de cierre del preventor anular. Esta presión se debe regular

dependiendo del diámetro de tubería con el que se esté perforando, y varía entre 600 a 1000 PSI según el fabricante. Es recomendable utilizar las presiones de cierre específicas para cada tubería con la finalidad de aumentar la vida útil de la unidad de empaque de caucho presente en el preventor.

- La regulación de la presión del preventor anular se la realiza en base a un regulador de presión de tipo diafragma que se encuentra en el acumulador, el mismo que recibe una señal neumática para regular la presión hidráulica. Esta señal neumática es regulada por una válvula manual y el tiempo de respuesta es muy lento.
- La unidad BOP presente en el taladro CPV-23, se encuentra conformada por los siguientes elementos:
 - Ram Sencillo
 - Ram Inferior
 - Ram Doble
 - Ram Ciego (Arietes de sello completo CSO)
 - Ram Superior (Pipe Rams)
 - Preventor Anular
 - Válvula HCR
- Los accionamientos remotos de los rams del BOP se encuentran completamente obsoletos, a pesar de cumplir con la función para la cual fueron diseñados.

- El accionamiento remoto que debe encontrarse cerca de la oficina del Supervisor de 24 Horas resulta bastante tedioso de conectarlo, transportarlo y de realizarle un servicio de mantenimiento. Este resulta casi inútil y prácticamente no se lo utiliza. En ciertas locaciones este control queda bastante alejado de la oficina de operaciones debido a que la manguera que lleva las señales neumáticas hacia el acumulador solo posee 30 metros de longitud. Esto representa un riesgo latente si llegara a ocurrir un incidente en el pozo.
- El realizar el servicio de mantenimiento preventivo a uno de los accionamientos remotos de la BOP lleva alrededor de dos horas.
- Existen accionamientos con mando eléctrico por pulsador en otros taladros de perforación.
- Desde la cabina del perforador no se puede visualizar el estado de los RAMS del BOP, es decir no se puede saber si los mismos se encuentran abiertos o cerrados.

3.1.3.5 Requerimientos de norma API RP 16E

Además de realizar las entrevistas a los usuarios es importante tomar en cuenta las especificaciones y requerimientos que menciona la norma API RP 16E: Recommended Practice for Design of Control Systems for Drilling Well Control Equipment (Prácticas Recomendadas para el Diseño de Sistemas de Control de Equipos de Control de Pozo). La información

relevante para el proyecto de tesis es la siguiente (Enumerado en base a los incisos de la Norma API RP 16E):

16E.2.5.1: Un circuito control dedicado debe operar el preventor anular. Los componentes en este circuito deben incluir un regulador de presión para reducir la presión en el manifold aguas arriba hasta el nivel de presión de fluido de alimentación que cumpla las recomendaciones del fabricante de la BOP. El regulador debe responder a los cambios de presión en el lado de aguas abajo con la sensibilidad suficiente para mantener la presión establecida dentro de más o menos 150 PSI. (API, 1997)

16E.2.5.1.1: El regulador de presión del Preventor Anular debe ser controlable remotamente. Una válvula manual directa y un regulador de operatividad deben permitir el cierre de anular BOP y / o mantener la presión regulada en caso de pérdida de la capacidad de control remoto. (API, 1997)

16E.2.5.2: Las válvulas y los manómetros del acumulador de presión deben estar claramente etiquetadas. (API, 1997)

16E.2.6: Debe suministrarse por lo menos un panel de control remoto. Esto es para garantizar que existan al menos dos lugares de donde todas las funciones del sistema pueden ser operadas. El panel remoto debe ser accesible para el perforador para operar funciones durante la perforación. El

panel remoto debe estar físicamente arreglado como una representación gráfica del stack de la BOP. Sus capacidades deben incluir lo siguiente:

1. Controlar todas las funciones hidráulicas de la BOP.
2. Mostrar la posición de todas las válvulas de control (4 vías) e indicar cuando la bomba eléctrica está encendida.
3. Proveer el control del regulador de presión del preventor anular.
4. Proveer el control de la válvula de Bypass del manifold de control.
5. El panel de control debe estar equipado con displays de lectura de:
 - a. La presión del acumulador.
 - b. La presión del manifold de control.
 - c. La presión regulada del preventor Anular.
 - d. La presión de aire comprimido.
6. Todos los paneles de control deben requerir operación con dos manos. (API, 1997)

Esta unidad debe ser instalada en una locación remota de la planchada y debe ser fácilmente accesible por el personal del taladro en caso de emergencia.

16E.2.6.1: El control remoto de los paneles remotos del manifold de válvulas de control hidráulico puede ser actuado por sistemas neumáticos (aire), hidráulicos, electro-neumáticos o electro-hidráulicos. El sistema de control remoto debe ser diseñado de tal manera que la operación manual de

las válvulas de control en la unidad de control hidráulico anulará la posición establecida previamente por los mandos a distancia. (API, 1997)

16E.2.6.1.3: Los controles electro-neumáticos emplean circuitos eléctricos para operar válvulas neumáticas solenoides que controlan los actuadores neumáticos (cilindros) los cuales operan las válvulas hidráulicas de control. Los controles electro-neumáticos tienen la ventaja de tener un respuesta rápida y la facilidad de la instalación de cables eléctricos en comparación a conjuntos de mangueras neumáticas de los controles remotos netamente neumáticos. (API, 1997)

16E.2.7: Todas las válvulas, acoples, y otros componentes como switches de presión, transductores, transmisores, etc. deben tener una presión de trabajo al menos igual a la presión de trabajo del sistema de control. (API, 1997)

16E.2.7.1: Toda la tubería de interconexión, mangueras, acoples, etc. deben estar protegidos al daño que puede ser causado por las operaciones de perforación, equipo de perforación y operaciones cotidianas. (API, 1997)

16E.2.8: La fuente de poder eléctrica de paneles electro-neumáticos o electro-hidráulicos debe alternar automáticamente a una fuente alterna de poder cuando la fuente primaria es interrumpida. La fuente de poder eléctrico

alterna debe ser capaz de mantener la operación de los controles remotos por un mínimo de dos horas si la fuente primaria falla. (API, 1997)

3.1.3.6 Interpretación de las Necesidades del Cliente:

- El sistema permite controlar remotamente los Rams de la BOP.
- El sistema permite regular la presión de cierre del Preventor Anular remotamente.
- El sistema aumenta la eficiencia y la seguridad en el control de los rams de la BOP.
- El sistema es compacto.
- El sistema no requiere de un servicio de mantenimiento complejo ni recurrente.
- Todo el sistema posee una presión de trabajo igual a la presión neumática del acumulador de presión.
- El sistema de control responde de una manera determinística.
- El sistema es de fácil instalación.
- El sistema permite el control en paralelo de las válvulas del acumulador de presión de manera manual.
- El sistema posee manómetros correctamente etiquetados.
- El sistema posee permisivos de accionamiento.
- El sistema posee alarmas para alertar al usuario que existe baja presión en el acumulador y bajo nivel de aceite hidráulico.
- Los elementos del sistema de control está protegidos contra daños que podrían ser causados durante operaciones de perforación.

- El sistema permite observar en qué posición están las válvulas de cuatro vías.
- El sistema permite visualizar cuando la bomba eléctrica del acumulador de presión se encuentra activa.
- El panel de control permite observar la presión del acumulador de presión, presión del manifold de control, presión del preventor anular y presión del aire comprimido.
- El panel permite el accionamiento remoto de la válvula de Bypass.
- El panel de control está instalado en una locación remota de la planchada y es fácilmente accesible.
- El sistema resulta fácil de utilizar para los usuarios.
- El sistema debe ser robusto y resistente.

3.1.3.7 Identificación de restricciones del Producto

Las restricciones que se identificaron fueron las siguientes:

- El producto debe cumplir las normas de diseño API 16E.
- El mantenimiento del producto no debe ser tedioso.
- El costo de implementación del producto no debe superar los \$40000.
- El producto debe estar protegido contra los posibles daños causados por las operaciones de perforación.

3.1.3.8 Ponderación de las Necesidades del Cliente

- **El sistema permite el control y monitoreo del acumulador de presión y del BOP.**

- *** El sistema permite controlar remotamente los Rams de la BOP.
- *** El sistema permite regular la presión del Preventor Anular remotamente.
- *** El panel permite visualizar todas las presiones del acumulador.
- ** El sistema permite observar en qué posición están las válvulas de 4 vías.
- ** El sistema permite visualizar el estado de la bomba eléctrica.
- ** El sistema permite el accionamiento remoto de la válvula de Bypass.

- **El sistema incrementa la seguridad y eficiencia en las operaciones del Taladro**

- *** El sistema aumenta la eficiencia y la seguridad en el control del acumulador.
- *** El sistema de control responde de una manera determinística.
- *** El sistema permite el control en paralelo de las válvulas del acumulador.
- *** El sistema posee permisivos de accionamiento.
- ** El panel es accesible y está instalado en una locación remota de la planchada.

El sistema es compacto, robusto y de fácil uso, mantenimiento e instalación

- *** El sistema no requiere mantenimiento complejo ni recurrente.

- *** El sistema resulta fácil de utilizar para los usuarios.
- *** El sistema es robusto y resistente.
- ** Los elementos del sistema de control está protegidos contra daños.
- ** El sistema es de fácil instalación.
- * El sistema es compacto.

- **El sistema se acopla al acumulador de presión y posee alarmas de alerta**

- *** El sistema trabaja con la presión neumática de trabajo del acumulador.
- ** El sistema posee manómetros correctamente etiquetados.
- ** El sistema posee alarmas de baja presión y bajo nivel de aceite hidráulico.

3.1.3.9 Resumen de las Necesidades del Cliente

Una vez realizada la ponderación de las necesidades del cliente, se puede resumir las mismas en la siguiente lista, numeradas en nivel de importancia:

1. El sistema permite controlar remotamente los Rams de la BOP.
2. El sistema aumenta la eficiencia y la seguridad en el control del acumulador.
3. El sistema no requiere mantenimiento complejo ni recurrente.
4. El sistema trabaja con la presión neumática de trabajo del acumulador.

5. El sistema permite regular la presión del Preventor Anular remotamente.
6. El panel permite visualizar todas las presiones del acumulador.
7. El sistema de control responde de una manera determinística.
8. El sistema permite el control en paralelo de las válvulas del acumulador.
9. El sistema posee permisivos de accionamiento.
10. El sistema resulta fácil de utilizar para los usuarios.
11. El sistema es robusto y resistente.
12. El sistema permite observar en qué posición están las válvulas de cuatro vías.
13. El sistema permite visualizar el estado de la bomba eléctrica del acumulador.
14. El sistema posee alarmas de baja presión y bajo nivel de aceite hidráulico.
15. El sistema permite el accionamiento remoto de la válvula de Bypass.
16. El panel es accesible y está instalado en una locación remota de la planchada.
17. El sistema posee manómetros correctamente etiquetados.
18. Los elementos del sistema de control está protegidos contra daños.
19. El sistema es fácil de instalar.
20. El sistema es compacto.

3.1.4 Especificaciones del producto

3.1.4.1 QFD (Quality Function Deployment)

El objetivo de esta etapa es generar las especificaciones del producto que satisfagan las necesidades detectadas, así como las normas API, para posteriormente realizar el QFD que permita tener una idea más clara de lo que podría ser el producto a diseñar (Ver Anexo 2).

Necesidades Funcionales:

- Rapidez en el envío de señales de control y monitoreo.
- Alcance en la activación y monitoreo.
- Presión de trabajo del sistema.
- Número de componentes del sistema de control.
- Instrumentación digital.
- Grado de Protección IP o NEMA.
- Horas de Mantenimiento.
- Peso del sistema de control.
- Señales de Activación Neumáticas.
- Número de alarmas visuales y sonoras.
- Permisivos de Accionamiento.

3.1.4.2 Especificaciones Obtenidas:

Las especificaciones obtenidas después de la elaboración del QFD se muestran en la siguiente lista, la misma que está numerada en base al peso

relativo y a la evaluación técnica de importancia de cada una de ellas en relación a la satisfacción de las necesidades del cliente.

1. Rapidez en el envío de señales de control y monitoreo.
 - a. Dirección de Mejora: Maximizar.
2. Instrumentación Digital.
 - a. Dirección de Mejora: Enfocar.
3. Alcance en la activación y monitoreo.
 - a. Dirección de Mejora: Maximizar.
4. Señales neumáticas de activación.
 - a. Dirección de Mejora: Minimizar.
5. Presión de trabajo del Sistema.
 - a. Dirección de Mejora: Enfocar.
6. Número de componentes del sistema de control.
 - a. Dirección de Mejora: Minimizar.
7. Permisivos de accionamiento.
 - a. Dirección de Mejora: Enfocar.
8. Número de alarmas visuales y sonoras.
 - a. Dirección de Mejora: Enfocar.
9. Grado de protección IP o NEMA.
 - a. Dirección de Mejora: Maximizar.
10. Peso del sistema de control.
 - a. Dirección de Mejora: Minimizar.
11. Horas de mantenimiento del sistema.
 - a. Dirección de Mejora: Minimizar.

3.1.5 Generación de conceptos

3.1.5.1 Five Step Concept Generation Method

Este método tiene la finalidad de dividir un problema complejo en sub-problemas más simples. Los conceptos de las soluciones son identificados por estos sub-problemas en base a procedimientos de búsqueda externa e interna. (Carl T. Ulrich, 2008)

Paso 1. Clarificar el Problema:

El mission statement planteado nos permite definir el problema específicamente en el control y el monitoreo eficiente de los acumuladores de presión encargados de brindar la potencia hidráulica para realizar la apertura y cierre de los rams de la BOP por medio de las válvulas de cuatro vías.

En base a esto podemos subdividir el problema principal en los siguientes sub-problemas:

- Accionamiento de las válvulas hidráulicas de cuatro vías.
- Sensado de la presión del acumulador, manifold y preventor anular.
- Sensado de la posición de las válvulas de cuatro vías.
- Sensado del nivel de aceite hidráulico del reservorio.
- Regulación de presión del preventor anular remotamente.

a) Diagrama Funcional:

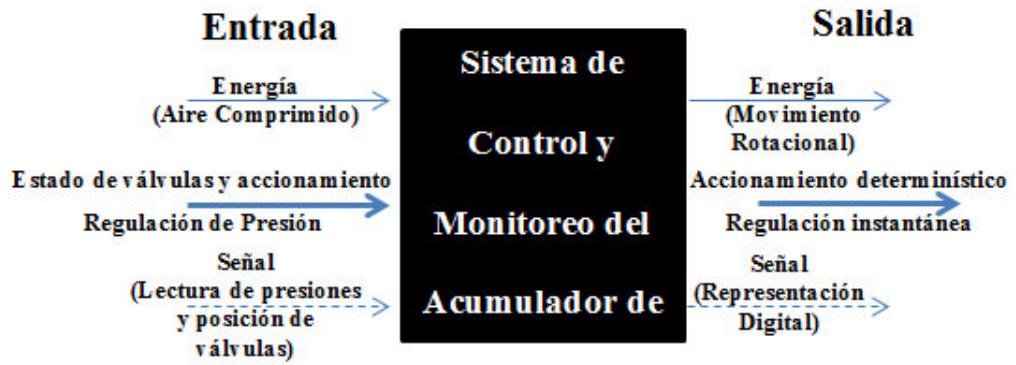


Figura 3.1. Diagrama funcional

b) Sub-funciones:

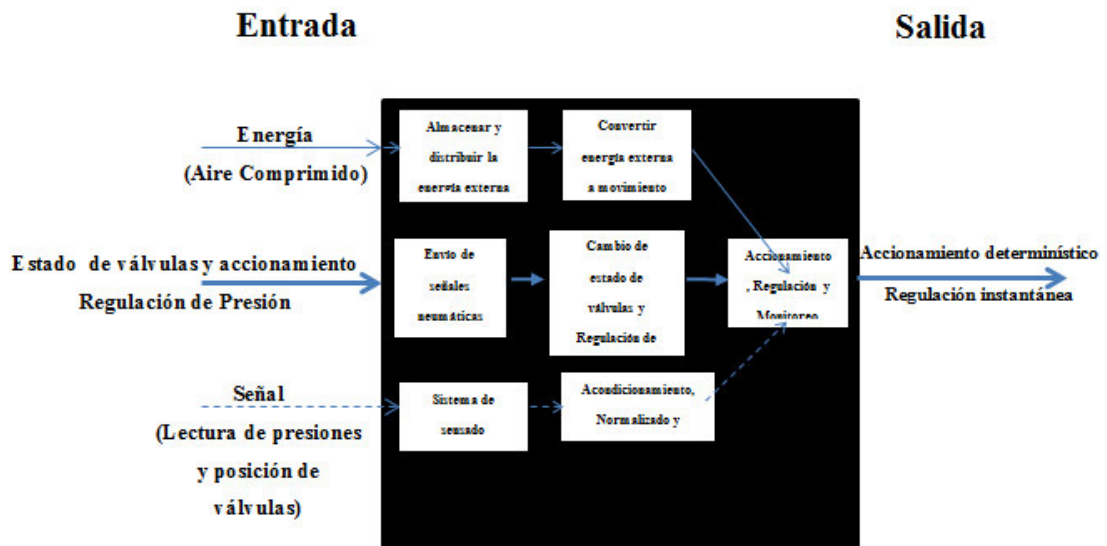


Figura 3.2. Diagrama de subfunciones

Paso 2. Búsqueda Externa:

a) Búsqueda de Patentes:

Una vez realizada la búsqueda de patentes pudimos encontrar que tan solo una empresa tiene registrada la invención de un sistema que posee prestaciones cercanas a las que buscamos obtener en el sistema a desarrollar, exceptuando la movilidad del panel remoto, el registro de pruebas de la unidad BOP y la activación del sistema de alarmas generales del taladro. La patente fue desarrollada por la empresa SARA SAE, y es la siguiente:

US7539548B2: *Smart-control PLC based touch screen driven remote control panel for BOP control unit.* (Panel de control remoto para la unidad de control del BOP con pantalla táctil basada en control inteligente por PLC).

Link: <http://www.google.com/patents/US7539548>

Resumen:

La presente invención se refiere a un dispositivo para controlar el preventor de reventones (BOP) utilizado en operaciones de perforación de pozos que comprende: unidad de control de BOP, el panel de control maestro conectado a la unidad de BOP para la adquisición de datos y el procesamiento de dichos datos, que comprende un módulo de entrada, un módulo de salida analógica y módulo de E / P; una pluralidad de paneles

esclavos conectados al panel de maestro a través de los medios de conexión que comprenden módulo de entrada, módulo de salida para el control de la unidad de control de BOP; en el que el panel de dicho esclavo es un controlador lógico programable (PLC) para control de la unidad de control BOP.

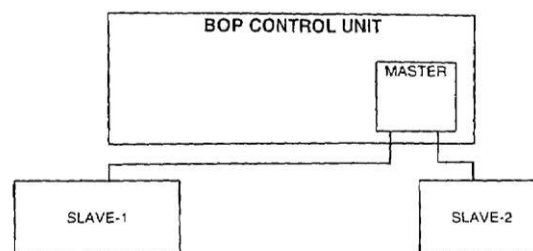


Fig - 1

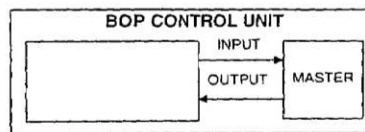


Fig - 2(a)

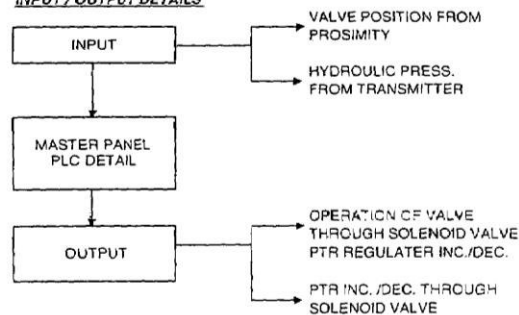
INPUT / OUTPUT DETAILS

Figura 3.3. Topología de control, patente US7539548B2

Paso 3. Búsqueda Interna:

En el paso anterior pudimos dividir el problema en los siguientes sub-problemas; para los cuales después de un análisis y según el conocimiento

del equipo de desarrollo se logró listar las soluciones posibles para cada uno de ellos:

- **Almacenar y distribuir la energía externa (Aire Comprimido)**

- Circuito cerrado de aire comprimido
- Circuito abierto de aire comprimido.
- Mangueras neumáticas.
- Válvulas neumáticas.
- Depósito de acumulación de aire comprimido.
- Manifold de Distribución.

- **Convertir energía externa en movimiento**

- Cilindros neumáticos.
- Mesa rotativa indexada.
- Mecanismos varios

- **Sistema de Control:**

- Control Eléctrico Industrial
- Microprocesador.
- PLC

- **Envío de señales neumáticas de control**

- Cables de control eléctrico.
- Control inalámbrico.

- **Cambio de Estado de válvulas y Regulación de presión del preventor anular**
 - Electroválvulas de control.
 - Regulador de presión neumática.
- **Sistema de sensado:**
 - **Presión:**
 - Manómetros (Bourdon, Diafragma, etc.)
 - Transductores de Presión.
 - Sensores de Presión Electromecánicos (Resistivos, Inducción variable, Reluctancia Variable, Galga extensiométrica, etc.)
 - Sensores de presión electrónicos.
 - **Proximidad:**
 - Sensores Inductivos.
 - Sensores Capacitivos.
 - Sensores Ultrasónicos.
 - Sensores de fin de carrera.
 - Sensores Magnéticos.
 - **Nivel:**
 - Flotadores.
 - Sensores Ultrasónicos.
 - Sensores Capacitivos.
 - Sensores TDR (Radar de Ondas Guiadas).
 - Sensores de Presión Hidrostática.

- Sensores de Presión Diferencial
-
- **Acondicionamiento, Normalizado y Escalado:**
 - Acondicionamiento integrado en sensor.
 - Normalizado y Escalado por Software.
 - Normalizado y Escalado eléctrico/electrónico.
-
- **Accionamiento, Regulación y Monitoreo determinístico:**
 1. Accionamiento remoto de válvulas de cuatro vías (Apertura y Cierre).
 - a. Accionamiento por HMI.
 - b. Accionamiento por tablero de control eléctrico por medio de pulsadores.
 2. Regulación remota de presión del preventor anular.
 - a. Regulación en panel HMI.
 - b. Regulación por válvula manual en sitio.
 3. Sensado y visualización del estado de las válvulas de cuatro vías (Abierto, Cerrado y Neutro).
 - a. Sensado de posición de válvulas con sensores inductivos.
 - b. Visión artificial para detectar posición de válvulas.
 - c. Visualización de estado de válvulas en panel eléctrico por medio de luces piloto.
 - d. Visualización de estado de válvulas por HMI.

4. Visualización de presiones del Acumulador, Manifold, Preventor Anular y Aire comprimido.
 - a. Visualización de presiones con manómetros en sitio.
 - b. Visualización de presiones remotamente en panel HMI.
5. Visualización del nivel de aceite hidráulico presente en el depósito del acumulador.
 - a. Visualización del nivel de aceite en sitio por medio de manguera transparente acoplada al reservorio.
 - b. Visualización del nivel de aceite con mecanismo flotador-cremallera.
 - c. Visualización del nivel de aceite remotamente en panel HMI.
6. Control y Monitoreo remoto del acumulador de presión.
 - a. Control y monitoreo por medio de un panel eléctrico.
 - b. Control y monitoreo por panel HMI inalámbrico.

Paso 4. Explorar Sistemáticamente:

Como resultado de las actividades de búsqueda externa e interna se pudo recolectar bastante información relevante al sistema a desarrollar, enfocando las soluciones en los sub-problemas que conforman el mismo, e integrando estos recursos con la finalidad de satisfacer las necesidades del

cliente y las especificaciones del sistema obtenidas en el QFD. (Carl T. Ulrich, 2008)

a) Clasificación de Conceptos:

Toda esta información deber ser organizada y distribuida de manera que la selección de la solución para cada sub-problema pueda realizarse de manera correcta, para esto se empleó el árbol de clasificación de conceptos para dividir todo el espacio de posibles soluciones en diferentes clases, lo que facilitó la comparación y eliminación de las posibilidades que menos se adaptan a la solución de un sub-problema.

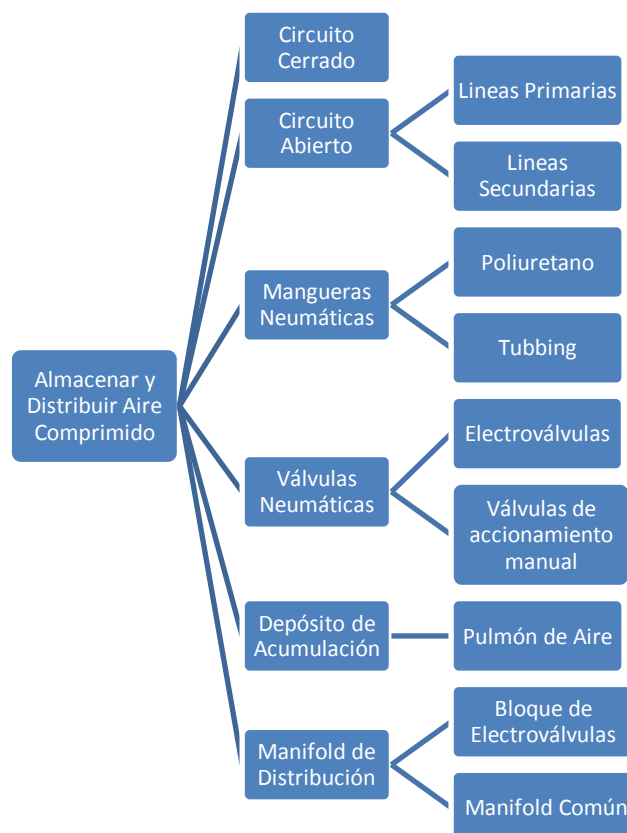


Figura 3.4. Árbol de Conceptos: Almacenar y distribuir aire comprimido

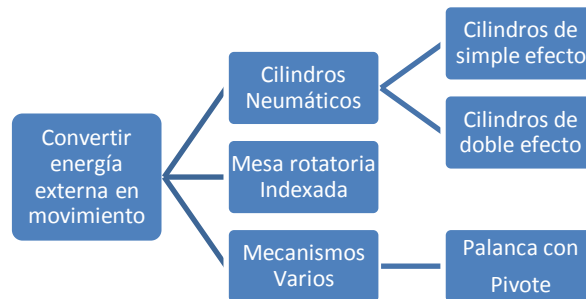


Figura 3.5.Árbol de Conceptos: Convertir energía externa en movimiento

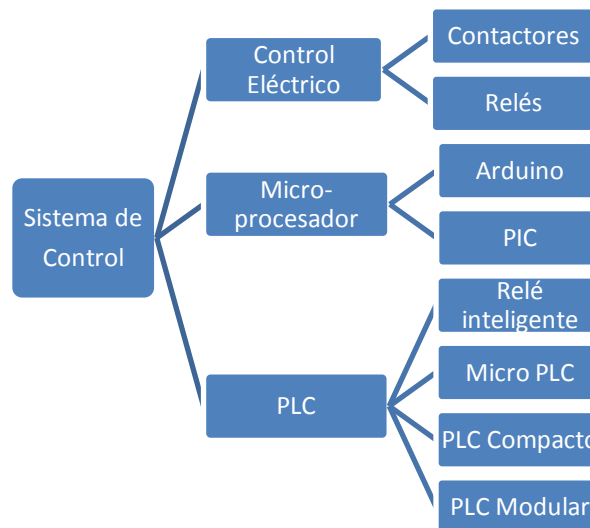


Figura 3.6. Árbol de Conceptos: Sistema de Control.

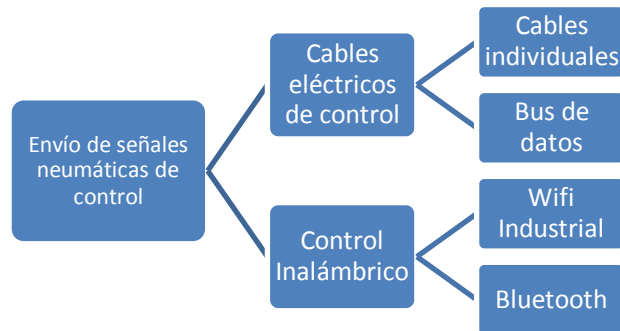


Figura 3.7. Árbol de Conceptos: Envío de señales neumáticas de control.



Figura 3.8. Árbol de Conceptos: Cambio de estado de válvulas y regulación de presión del preventor anular

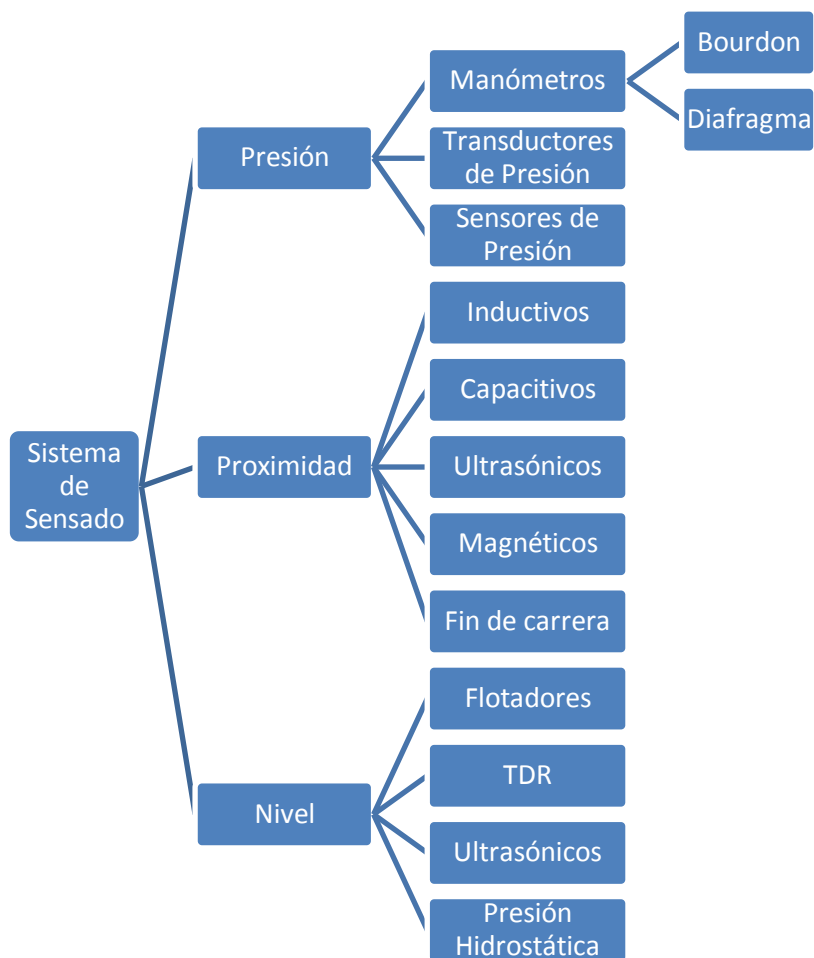


Figura 3.9. Árbol de Conceptos: Sistema de Sensado

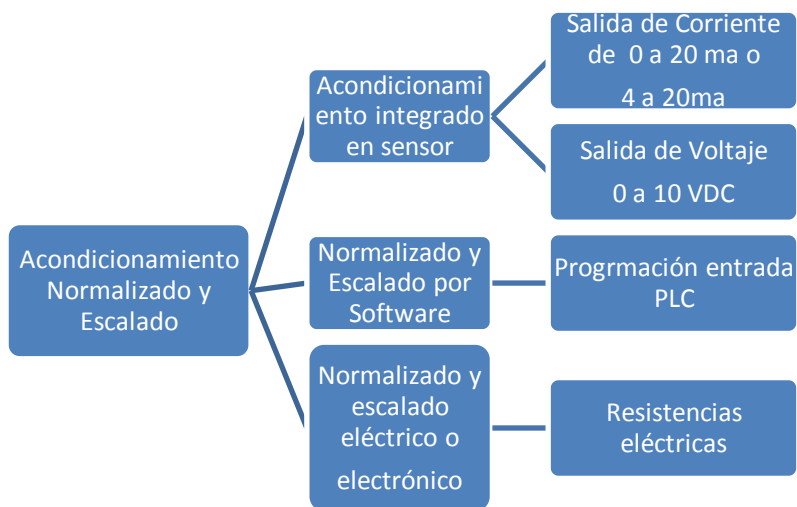


Figura 3.10. Árbol de Conceptos: Acondicionamiento, Normalizado y Escalado

b) Requerimientos y Prestaciones del sistema instalado:

- **Almacenar y distribuir aire comprimido:**

El sistema a mejorar dispone de una alimentación de aire comprimido de 120 PSI, la cual llega directamente desde un pulmón de almacenamiento por medio de una tubería de hierro negro de 1" de diámetro, la misma que pasa por una unidad de mantenimiento FRL (Filtrado Regulación y Lubricación) antes de llegar al acumulador de presión.

Existe un Manifold de distribución de señales neumáticas, que permite unir las señales de control neumático que llegan desde el panel ubicado en la casa del perro con las señales que llegan desde el panel de control que se ubica cerca del camper de operaciones. Ambos paneles de control disponen de válvulas de 5 vías y 3 posiciones accionadas manualmente, las cuales permiten el control remoto de apertura y cierre de las válvulas hidráulicas de cuatro vías ubicadas en el acumulador de presión.

- **Convertir energía externa en movimiento:**

El sistema a mejorar posee un mecanismo conformado por un cilindro de doble efecto, cuyo vástago en su extremo se encuentra acoplado por medio de un pasador a la palanca de accionamiento de las válvulas de cuatro vías, como se puede observar en la siguiente figura, el diseño realizado en Solidworks.

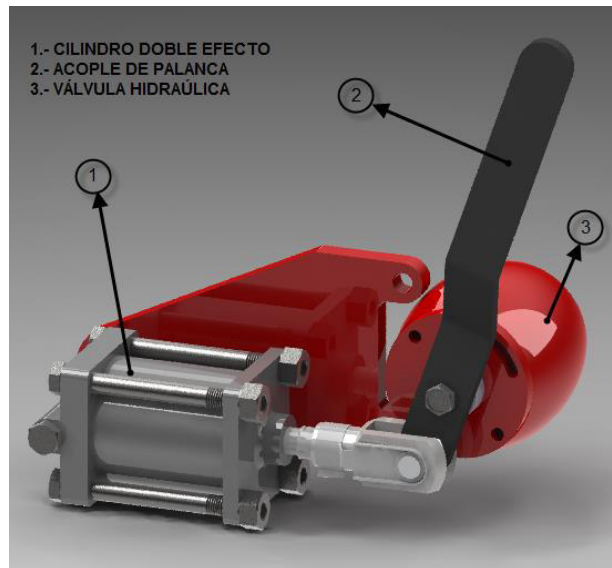


Figura 3.11. Sistema mecánico original

Cuando el cilindro de doble efecto recibe la señal de activación neumática; ya sea de apertura o cierre; el vástago se extiende y transmite el movimiento a la palanca de la válvula hidráulica, transformando el movimiento horizontal en rotacional.

- **Sistema de Control:**

El sistema a mejorar no dispone de algún sistema centralizado de control, por lo que es de suma importancia implantar uno.

- **Envío de señales neumáticas de control:**

Como se mencionó anteriormente, el sistema posee dos paneles de control puramente mecánicos, los mismos envían las señales neumáticas de control a través de mangueras neumáticas de ¼" de diámetro, las mismas

que llegan al acumulador de presión en conjunto en un manguerote. Cuando estas señales llegan al sistema se distribuyen en tubing de 1/8" hacia los cilindros de doble efecto.

- **Cambio de estado de válvulas y regulación de presión del preventor anular:**

El cambio de estado de las válvulas hidráulicas de cuatro vías se realiza con la ayuda del accionamiento manual de válvulas de cinco vías y tres posiciones ubicadas en los paneles de control, así como existe la posibilidad de cambiar el estado de las válvulas directamente moviendo sus palancas de accionamiento.

La regulación de la presión de cierre del preventor anular se la realiza gracias a un diafragma de regulación, el mismo que recibe un señal neumática que es regulada manualmente con la ayuda de una válvula manorreductora controlada por piloto, la cual se encuentra ubicada en el acumulador de presión, así también se puede regular esta presión neumática desde uno de los paneles remotos.

- **Sistema de Sensado:**

El sistema posee varias variables de instrumentación las cuales son:

- Presión
- Nivel

- Proximidad

Para visualizar la presión, el sistema tiene instalados cinco manómetros encargados de medir las siguientes presiones con sus respectivos rangos de medida:

Tabla 3.1. Presiones presentes en el Sistema.

PRESIÓN	RANGO
Presión del Acumulador	0 a 4500 PSI
Presión del Manifold	0 a 4500 PSI
Presión del Preventor Anular	0 a 2000 PSI
Presión del Aire Comprimido	0 a 200 PSI
Presión de regulación neumática	0 a 120 PSI

En cuanto a la proximidad, el requerimiento del sistema es poder sensar la posición de las válvulas neumáticas de cuatro vías, para poder visualizar su estado desde los diferentes paneles remotos. Las posiciones son:

- Abierto
- Cerrado
- Neutral

El acumulador de presión trabaja con aceite hidráulico HIDRALUB-68, el mismo que es almacenado en un depósito de 290 GLS de capacidad, el mismo que no dispone de un sensor de nivel, el cual permita saber el volumen de aceite que se encuentra en él, lo cual es de gran importancia ya que se debe garantizar que existe suficiente aceite hidráulico en el sistema

para realizar la apertura o el cierre de los rams y del preventor anular del BOP en caso de presentarse una arremetida del pozo.

- **Acondicionamiento, Normalizado y Escalado:**

Los instrumentos presentes en el acumulador no disponen de ningún tipo de acondicionamiento, normalizado y escalado de señal debido a que solo se dispone de manómetros mecánicos.

Paso 5: Selección del Concepto

Los criterios que el libro del ULRICH menciona acerca de la selección del concepto son los siguientes:

- Facilidad de uso.
- Facilidad de manejo.
- Durabilidad.
- Portabilidad.
- Facilidad de fabricación.

Para cada sub-problema se realizó la siguiente selección de conceptos:

- **Almacenar y Distribuir Aire Comprimido:**

Para el almacenamiento y distribución del aire comprimido se decidió implementar un Manifold de electroválvulas, el mismo que será el encargado de distribuir el aire comprimido de alimentación del sistema hacia los

cilindros de doble efecto presentes en el acumulador de presión a través de mangueras neumáticas y tubing con sus respectivos conectores.

- **Convertir Energía Externa en Movimiento:**

Para lograr el accionamiento de las válvulas hidráulicas de cuatro vías se mantendrá los cilindros neumáticos de doble efecto, los cuales transmiten la fuerza neumática hacia las palancas de accionamiento.

- **Sistema de Control:**

Para el control de todo el sistema se disponía de algunas posibilidades, de las cuales se seleccionó utilizar un controlador lógico programable (PLC), debido a que es un dispositivo industrial que permite la integración de varios sistemas como son: adquisición de datos, control, comunicaciones industriales, etc.

El PLC a seleccionar debe ser un controlador modular que permita la adición de módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, así como módulos de comunicación que permitan el intercambio de datos entre diferentes estaciones.

- **Envío de Señales Neumáticas de Control:**

De todas las posibilidades de envío de señales estudiadas en el apartado anterior, se seleccionó la transferencia inalámbrica, a través de

WIFI industrial, el mismo que cumple con los requerimientos en cuanto a seguridad, conectividad, ancho de banda, velocidad de transmisión y alcance.

- **Cambio de Estado de Válvulas y Regulación de Presión del Preventor Anular:**

Para el cambio de estado de las válvulas de cuatro vías se decidió utilizar electroválvula de 5 vías y tres posiciones, las cuales permiten enviar la presión neumática del manifold hacia los cilindros de doble efecto para abrir o cerrar las válvulas de cuatro vías según la señal de activación que reciban. Es importante también que se conserve la capacidad del accionamiento manual en sitio de las válvulas hidráulicas de cuatro vías, por lo que las electroválvulas deben ser de centro con retorno a descarga.

Para realizar la regulación de presión de cierre del preventor anular se decidió reemplazar la válvula manual que se encontraba en uno de los paneles remotos de control e utilizar una válvula neumática reguladora proporcional, la misma que permite la regulación y el control de la presión neumática que llegará al diafragma hidráulico, en base a parámetros eléctricos de entrada.

- **Sistema de Sensado:**

Como se analizó anteriormente se requiere sensar algunos tipos de variables físicas importantes en el correcto funcionamiento tanto del

acumulador de presión como de la unidad BOP. Uno de esos parámetros y el más importante de todos es la presión, para esto se decidió utilizar cinco transductores de presión, los mismos que según su rango de operación envían una señal analógica de 4 a 20ma al módulo de entradas analógicas del PLC. Los transductores de presión deben ser capaces de medir las siguientes presiones con sus respectivos rangos:

- Presión de Cierre Preventor Anular: 0 a 2000 PSI.
- Presión Acumulador Presión: 0 a 5000 PSI.
- Presión Manifold: 0 a 5000 PSI.
- Presión Aire Comprimido: 0 a 200 PSI.
- Presión Unidad de Prueba: 0 a 5000 PSI.

Otro parámetro de vital importancia es el nivel de aceite hidráulico del reservorio. Para realizar esta medición se disponían de varios tipos de sensores, por lo cual se realizó la siguiente matriz de selección:

Tabla 3.2 Matriz de Selección de Sensores de Nivel

SENSOR	TAMAÑO	SEÑAL	INTERFERENCIA	COSTO
Flotador	Grande	Resist. Variable	Obstáculos	Bajo
Ultrasónico	Pequeño	4-20ma 0-10VDC	Tanques Angostos Vapor Fluido Pulverizado	Medio
P.Hidroestática	Pequeño	Presión	Baja Sensibilidad y Presión Fluidos no estáticos	Bajo
TDR	Mediano	4-20ma 0-10VDC	Coeficiente Dieléctrico de fluidos	Alto

En base a la tabla 3.2 , podemos observar que el sensor que más se adapta a los requerimiento de medición del nivel de aceite hidráulico presente en el reservorio del acumulador de presión es el sensor TDR (Ondas micro guiadas), esto debido a que un sensor ultrasónico no puede medir en tanques pequeños ya que las señales ultrasónicas rebotarían en las paredes del reservorio creando una interferencia en la lectura, a diferencia de estos los sensores de ondas guiadas disponen de una sonda por la cual viajan las ondas hasta rebotar con la superficie del fluido, el tiempo entre el envío y la recepción de las ondas es directamente proporcional al nivel del fluido presente en el tanque, dependiendo de la configuración y calibración inicial del mismo.

La medición del nivel en base a la presión hidrostática del mismo, después de ser realizados los siguientes cálculos:

El aceite hidráulico con el que trabaja el acumulador de presión es HIDRALUB AW 68, el mismo que posee una densidad relativa de: 0,88.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{agua}}$$

$$0,88 = \frac{\rho}{1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}$$

$$\rho = 1136,4 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

La máxima presión hidrostática en el tanque será de:

$$P = \rho * g * h$$

$$P = 1136,4 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] * 0,9[m]$$

$$P = 10033,28[Pa]$$

$$P = 1.46[PSI]$$

Entonces la presión hidrostática variaría entre los 0 PSI y 1,46PSI, por lo cual la sensibilidad y la precisión de la medida no serían las adecuadas, además que cuando se descargue la presión del sistema en el tanque las lecturas van a variar mucho debido a que el fluido no permanece estático.

Las consideraciones a tomar para implementar el sensor de nivel TDR son las siguientes:

- Tamaño de la sonda.
- Coeficiente dieléctrico del fluido.

La última variable a sensor es la proximidad, para la cual se seleccionaron sensores inductivos de presencia ON/OFF, debido a que nos permiten tener una señal discreta a la salida de los mismos siempre y cuando exista presencia de metal en sus cercanías, los sensores capacitivos se descartaron debido a que en el medio ambiente existe mucha presencia de insectos, los cuales podrían ser detectados por los sensores capacitivos.

- **Acondicionamiento, Normalizado y Escalado:**

Para evitar tener una etapa de acondicionamiento de señales, se decidió seleccionar sensores que dispongan de una salida analógica con

estándares industriales, es decir 4 a 20ma, 0 a 20ma o 0 a 10VDC, la misma q será conectada directamente a los módulos de entradas analógicas del PLC.

El controlador lógico programable será el encargado de realizar el normalizado y el escalado de la señal analógica de entrada según los requerimientos de lectura y parámetros del sensor.

Así mismo la válvula reguladora proporcional debe poseer una entrada analógica de 4 a 20ma / 0 a 10VDC.

3.1.6 Selección y Descripción del Concepto:

El concepto a diseñar consiste en un sistema de control y monitoreo inalámbrico del acumulador de presión, el mismo que enviará señales neumáticas para el accionamiento de las válvulas de cuatro vías, con la ayuda de electroválvulas de cinco vías y tres posiciones, con centro a descarga para permitir el accionamiento manual de las válvulas hidráulicas en sitio. Las electroválvulas, así como todo el sistema serán controladas en base a un PLC, el mismo que será el encargado también de realizar la adquisición, normalización y escalado de señales de los sensores de presión del acumulador, manifold, preventor anular, aire comprimido y unidad de prueba; así como del sensor de nivel TDR y de los proximitores que permitirán sensar el estado de las válvulas hidráulicas.

El control y monitoreo del sistema se lo realizará desde dos paneles, uno ubicado en la casa del perro, el cual tendrá pulsadores para la apertura y cierre de los Rams del BOP, así como luces piloto que permitan visualizar el estado de las válvulas hidráulicas, y otro ubicado en la oficina del supervisor de 24 horas del taladro, este último también permitirá visualizar todos los parámetros analógicos y digitales de entrada al PLC (Presiones, Nivel, Estado de Válvulas). La comunicación entre el PLC y las estaciones control se la realizará inalámbricamente vía WIFI industrial. Se instalará un transductor de presión de 5000PSI en la estación principal, con la finalidad de tener un registro digital de las presiones de prueba de la BOP.

El concepto a diseñar también dispondrá de un sistema de alarmas que permitirá alertar al personal en caso de alguna emergencia.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO

3.2.1 Diseño del Circuito Neumático e Hidráulico.

El sistema neumático de este proyecto tiene la función de actuar sobre los RAMS de la Unidad BOP. Es decir, el sistema neumático accionará las válvulas hidráulicas de cuatro vías de la Unidad Acumuladora de Presión, las mismas que permiten el paso de aceite hidráulico hacia el RAM seleccionado y así realizar el control deseado sobre el pozo durante operaciones de perforación.

Para esto es necesario diseñar un circuito que nos permita manipular cada una de las válvulas del Acumulador de Presión. Este control se lo realizará por medio de válvulas electro-neumáticas que accionan un cilindro de doble efecto, el cual, mediante un acople mecánico de palanca ubicado en cada válvula hidráulica del Acumulador, cambia de estado a dichas válvulas.

El diseño del circuito neumático debe cumplir con la función poder mover cada cilindro de doble efecto a posiciones diferentes: Abierto, Neutro, Cerrado; esto debido a que las válvulas a gobernar son de 3 estados con centro a descarga, lo cual significa que permite tener un estado neutral donde la válvula no realiza ninguna acción de pilotaje sino únicamente descarga todo el fluido hacia el reservorio y bloquea la entrada de fluido.

3.2.1.1 Metodología de diseño

Para iniciar con el diseño del circuito electro-neumático de control, se debe identificar la funcionalidad que el mismo tiene que cumplir. Como se mencionó anteriormente este sistema debe ser capaz de controlar las válvulas hidráulicas de cuatro vías y tres estados; abierto, neutral y cerrado. Además de permitir el accionamiento manual de la palanca de mando directamente en el acumulador de presión. Las válvulas de control deben ser capaces de trabajar a la presión estándar que proporcionan los compresores presentes en el Taladro CPV-23; la misma que es 120 PSI.

De todas estas necesidades principales podemos obtener las siguientes especificaciones primarias del sistema:

- Válvulas cinco vías y tres posiciones.
- Válvulas normalmente cerradas.
- Centro a descarga.
- Rango de operación 0 a 150 PSI

En base a estos requerimientos se diseñó el circuito neumático cerrado en el software de simulación neumática e hidráulica FLUIDSIM, que se puede observar en la figura 3.12.

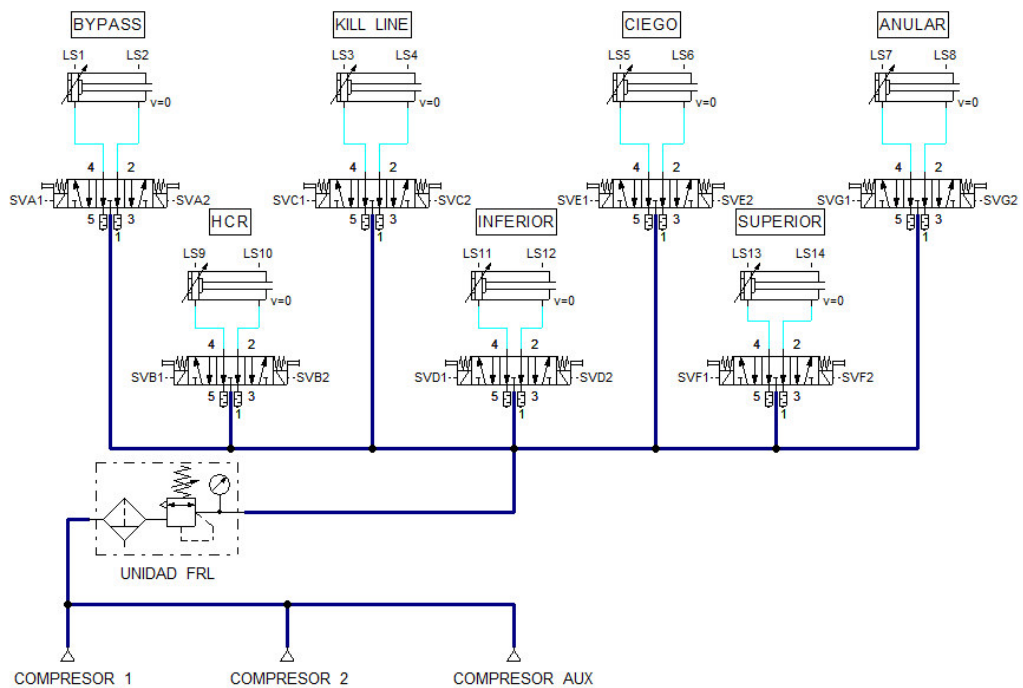


Figura 3.12. Circuito Neumático Gabinete #1

Así también es necesario diseñar el circuito neumático que será el encargado de accionar las cornetas de alarmas para aviso al personal. Se tienen cuatro cornetas marcas EXCEL las cuales serán accionadas por cuatro electroválvulas que tendrán alimentación independiente. Para garantizar que el flujo de aire sea constante y la caída de presión no sea considerable para mantener el mismo tono en las cuatro cornetas, es necesario diseñar un depósito de aire comprimido, para lo cual se ocupó la siguiente fórmula:

$$V = \frac{q * t}{P_1 - P_2}$$

Donde: V: Volumen del depósito de aire [NL]

q: Caudal de aire durante fase de vaciado [lt/s]

t: Duración de la fase de vaciado [s]

P₁: Presión normal de trabajo en la red [bar]

P₂: Presión mínima para el punto de consumo

Entonces:

El consumo de aire comprimido de cada una de las cornetas es de 2 litros por segundo, por lo que en total se tendría un consumo de 8 litros por segundo. El tiempo de vaciado máximo se lo tomó de 8 segundos, debido a que la secuencia de activación de alarmas más larga tiene esta duración. La presión normal de trabajo de las cornetas es de 8 bares y la presión mínima para asegurar que el tono se mantenga uniforme es de 7 bares, por lo tanto:

$$V = \frac{4 * 2 \left[\frac{lt}{s} \right] * 8[s]}{8[bar] - 7[bar]} = 64[NL]$$

Este volumen está dando en litro normales, por lo que hay que transformarlos a litros reales dividiéndolos para la presión real de trabajo, la misma que es 8 bares, además se multiplica por un factor de sobredimensionamiento de 1,2.

$$V_R = \frac{64}{8} = 8[lt] * 1,2 = 9,6[lt]$$

El depósito de aire comprimido que se instalará tendrá 10 litros de volumen. Para el control de pase de aire comprimido hacia las cornetas se podría utilizar electroválvulas de dos vías y dos posiciones, pero debido a que la empresa tenía en stock electroválvulas de 5 vías y 3 posiciones se realizaron las conexiones necesarias en el circuito para poder utilizarlas. El diseño del circuito fue realizado en el software de simulación neumática e hidráulica FLUIDSIM que se puede observar en la figura 3.13.

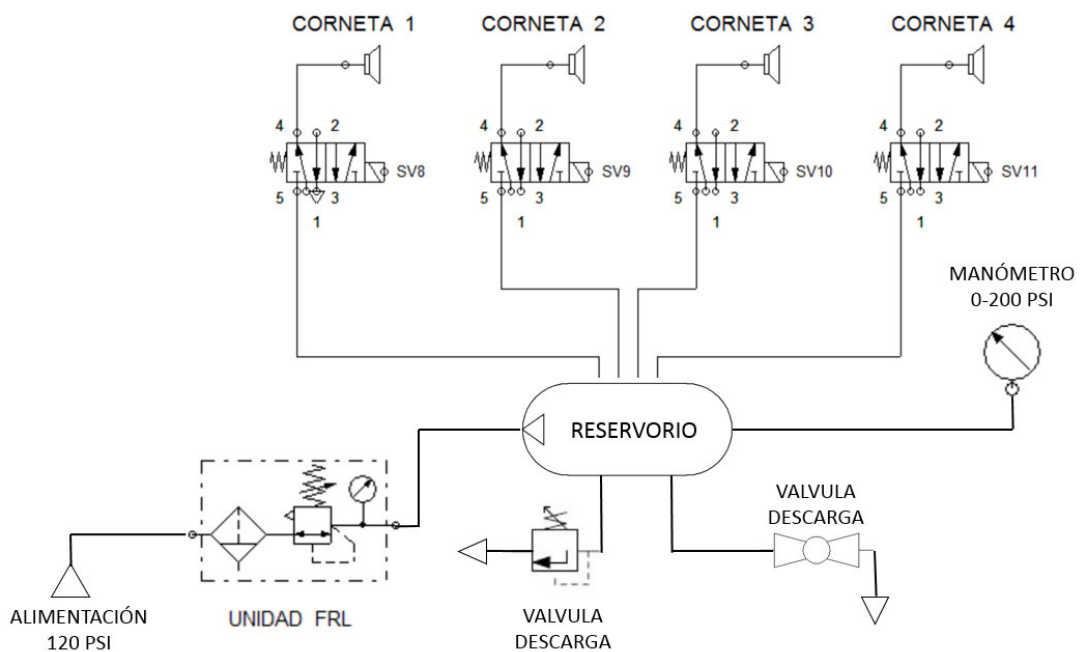


Figura 3.13. Circuito Neumático Gabinete #2

La regulación de la presión del preventor anular la realiza la válvula proporcional controlada por el PLC, regulando una presión de 0 a 55 PSI neumáticos que ingresan al regulador de diafragma y producen de 0 a 1500 PSI hidráulicos. Como se muestra en la figura 3.14, en el circuito de control de la presión del preventor anular, existe una válvula selectora que se encarga de determinar quién regula esta presión, si la válvula proporcional, o la válvula manorreductora controlada por piloto que es de funcionamiento puramente mecánico; esto en caso de una posible falla del sistema eléctrico.

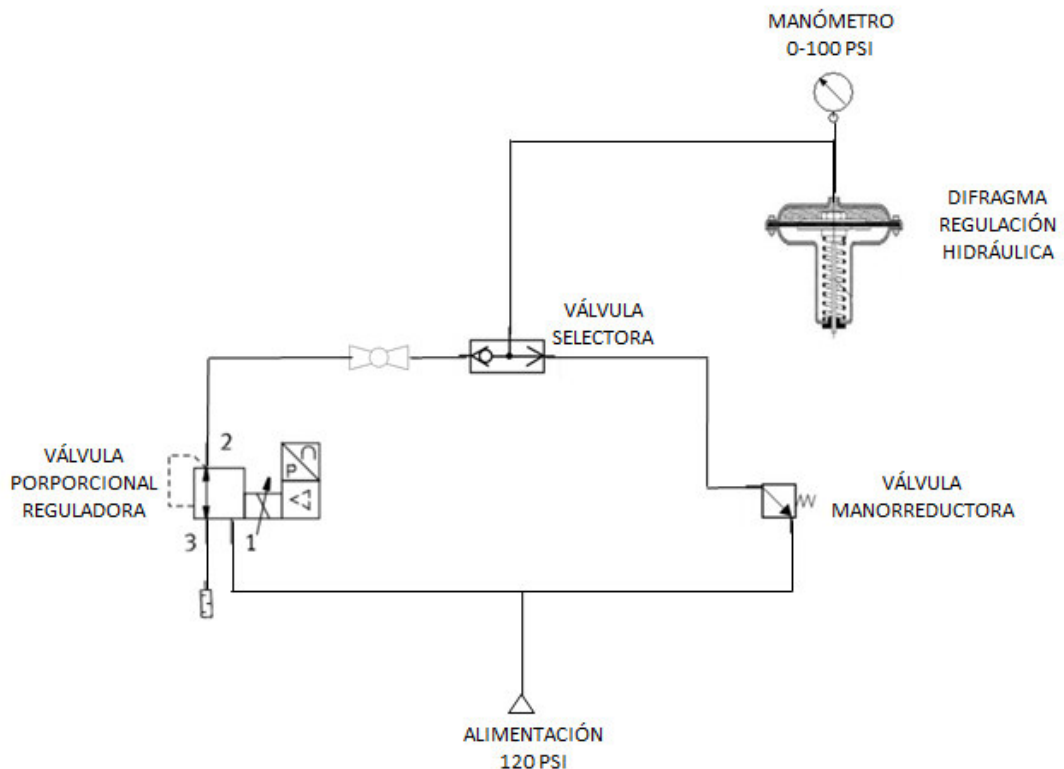


Figura 3.14. Circuito Neumático Válvula Proporcional

3.2.1.2 Análisis de la red de aire comprimido

El taladro CPV-23, dispone de un circuito abierto de aire comprimido, cuya alimentación está conformada por dos compresores de tornillo de etapa única con inyección de aceite, refrigeración por agua y accionamiento por motor eléctrico de la marca ATLAS COPCO, modelo: GA55+, los cuales brindan una presión de hasta 129 PSI a un caudal de 157 litros por segundo cada uno, así como un compresor auxiliar de la misma marca, modelo: XAS57, el cual brinda una presión máxima de 102 PSI a un caudal de 52 litros por segundo. (COPCO, 2011)



Figura 3.15. Compresor ATLAS COPCO GA+55



Figura 3.16. Compresor ATLAS COPCO XAS 57

El circuito neumático cerrado está formado por líneas primarias y líneas secundarias de alimentación de hierro negro. Las líneas primarias son de dos pulgadas de diámetro interno y las líneas secundarias de una pulgada. Este sistema dispone de cinco depósitos de aire comprimido; dos ubicados en la sala de compresores de 3000 litros de volumen cada uno; uno en la sala de motores Caterpillar de igual capacidad y dos debajo de la subestructura de 5000 litros cada uno.



Figura 3.17. Reservorio 5000lt Lado Perforador

La línea de alimentación secundaria del acumulador de presión sale desde uno de los reservorios que se encuentran debajo de la subestructura (lado del perforador) y tiene una longitud aproximada de 14 metros.

Para el correcto accionamiento de las válvulas de cuatro vías, es necesario garantizar que la presión de aire comprimido con la que se logra el movimiento de los cilindros de doble efecto no baje de 90 PSI. Para realizar

el estudio caída de presión se tomó en cuenta en primer lugar el consumo de aire de cada uno de los elementos de control del sistema.

Para realizar el cálculo del consumo de los cilindros de doble efecto se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q_N = \frac{(\pi * d^2)}{4} * c * n * P * N * 10^{-6}$$

Donde: Q_N : Consumo de Aire [NL/min]

D: Diámetro del cilindro [mm]

c: Carrera del cilindro [mm]

n: Número de ciclos completos por minuto

P: Presión absoluta: Presión Relativa + 1 Bar

N: Número de efectos del cilindro (N=1 C.S.E, N=2 C.D.E)

Los datos de los cilindros de doble efecto utilizados son los siguientes:

D= 101.6 [mm]

c= 120 [mm]

n= 25

P= 7 Bar (100 PSI) + 1Bar

N= 2

Entonces:

$$Q_N = \frac{(\pi * 101,6^2)}{4} * 120 * 25 * (7 + 1) * 2 * 10^{-6}$$

$$Q_N = 389,15 \left[\frac{NL}{min} \right]$$

Las unidades NL (Litros Normales) se encuentran a condiciones normales; 0°C de temperatura y 1atm de presión. Este valor se debe transformar a litros reales, es decir a la presión de trabajo real, para esto es necesario aplicar el siguiente cálculo:

$$Q = \frac{Q_N}{P}$$

$$Q = \frac{389,15}{7}$$

$$Q = 55,59 \left[\frac{lt}{min} \right] = 0,93 \left[\frac{lt}{s} \right]$$

En total existen seis cilindros de doble efecto en el sistema, por lo que el resultado obtenido anteriormente se lo debe multiplicar por este valor para obtener el consumo total de estos actuadores, tomando en cuenta que los cilindros nunca se activan al mismo tiempo, por lo que se agrega un factor de simultaneidad de 0,6.

$$Q_{Tc} = 0,93 * 6 * 0,6 = 3,35 \left[\frac{lt}{s} \right]$$

Además de los cilindros de control se debe tomar en cuenta el consumo de la válvula reguladora proporcional, este valor se lo tomó directamente de los datos técnicos proporcionados por el fabricante, el mismo que denota que el consumo es estimado al 80% de descarga de la válvula.

$$Q_{VP} = 0.87 \left[\frac{lt}{s} \right]$$

La bomba neumática presenta un consumo muy importante en el sistema, el mismo que se obtuvo de los datos técnicos de la misma.

$$Q_{BN} = 15 \text{ CFM} = 7,08 \left[\frac{lt}{s} \right]$$

El consumo total del sistema es la suma del consumo de todos los actuadores instalados, además de agregar un factor de expansión de planta del 20% por requerimiento de la empresa.

$$Q_{Total} = (3,35 + 0.87 + 7,08) * 1,2 = 13,56 \left[\frac{lt}{s} \right] = 813,6 \left[\frac{lt}{min} \right] = 28,73 \text{ CFM}$$

Para calcular la pérdida de carga total se debe dividir la red en los dos diferentes diámetros de tubería que se encuentran instalados: 1" y ¼". La línea de 1" posee tubería de hierro negro y la línea de ¼" tubería de aluminio la misma que va desde la salida del gabinete del PLC hasta los cilindros de doble efecto.

Línea de 1”:

La longitud de la tubería de 1 pulgada de diámetro, hasta el punto más distante del acumulador de presión es de 14 metros, ya que la red de la tubería es abierta.

En la tabla 3.3, se detallan los valores de la longitud equivalente de la tubería de hierro negro de una pulgada de diámetro, de los accesorios presentes en la red neumática.

Tabla 3.3 Longitud Equivalente Accesorios 1”

ACCESORIO	CANTIDAD	LONG. EQUIV. UNITARIO [M]	LONG. EQUIV. TOTAL [M]
Codos 90° 1”	3	1,5	4,5
Cruces S.L 1”	1	0,3	0,3
Cruces S.A 1”	1	1,5	1,5
Uniones 1”	4	0,5	2
Válvula Bola 1”	3	5	15
TOTAL			24

La longitud equivalente en tubería dada por los accesorios es de 24 metros (78,74 ft).

$$H_{L1} = 78,74 \text{ ft}$$

Para calcular la velocidad del sistema si realizó el siguiente calculo:

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{4 * 28,73}{\pi * \left(\frac{1}{12}\right)^2 * 60}$$

$$V_1 = 87,8 \left[\frac{ft}{s} \right]$$

Con este resultado se procedió a calcular el número de Reynolds de la siguiente manera:

$$Re = \frac{V * Di * \rho}{\mu}$$

Donde: V: Velocidad [ft/s]

Di: Diámetro Interno tubería [ft]

ρ : Densidad del Aire [lbm/ft³] = 0,07217

μ : Viscosidad dinámica [lbm/ft.s] = 1,2651 x 10⁻⁵

$$Re = \frac{87,9 \frac{ft}{s} * \left[\frac{1}{12} ft \right] * 0,07217 \frac{lbm}{ft^3}}{1,265 \times 10^{-5} \frac{lbm}{ft.s}}$$

$$Re = 4,18 \times 10^4$$

La rugosidad equivalente ϵ para tubería de hierro negro o colado es de 0,00085[ft], este valor se lo obtuvo de la siguiente figura:

	e (ft)	e (mm)
Acero remachado	~0.01	3
Concreto	~0.001-0.01	0.3-3
Madera	~0.001	0.3
Hierro colado	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Tubos estirados	0.000005	0.0015

Figura 3.18. Rugosidad Equivalente Varios Materiales

Para ingresar al diagrama de Moody debemos también realizar el siguiente cálculo:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00085ft}{\left[\frac{1}{12}ft\right]} = 0,0102$$

Con el valor de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, obtenemos el factor de fricción en el diagrama de Moody.

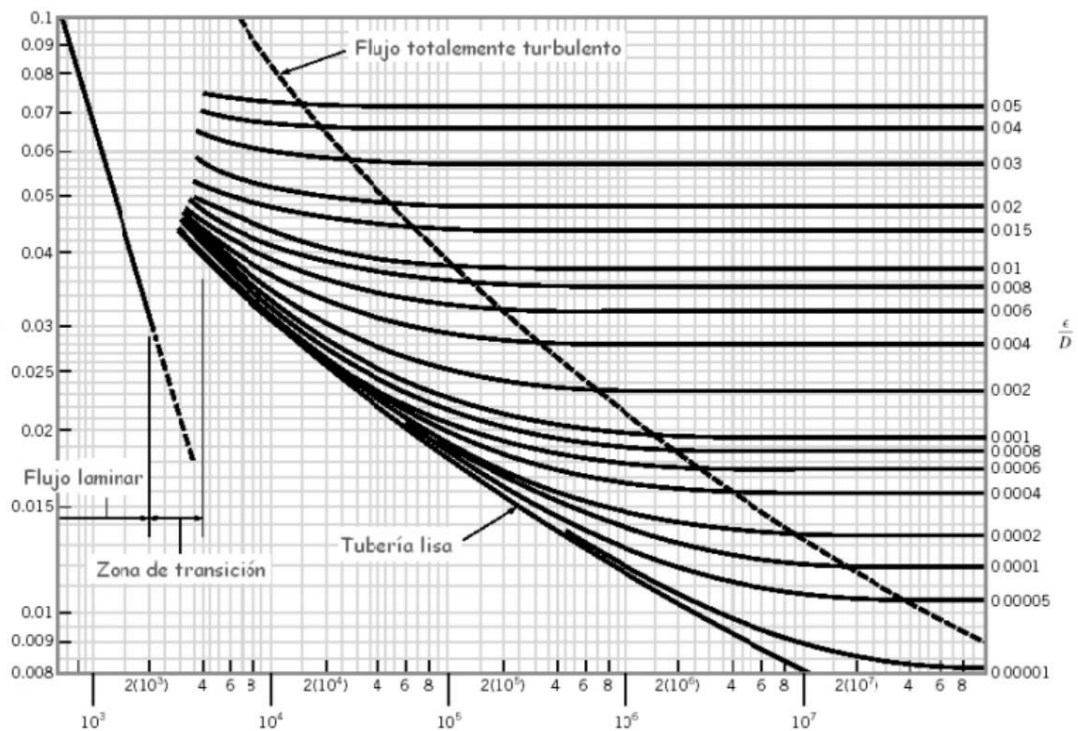


Figura 3.19. Diagrama de Moody para el factor de fricción.

$$f_1 \approx 0,042$$

Para realizar el cálculo de pérdidas de presión se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_{f1} = f * \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

Donde: H_f: Pérdida de carga [ft]
 f: Coeficiente de pérdida de carga
 L: Longitud de tubería
 D: Diámetro de la tubería.
 g: Gravedad
 V: Velocidad del fluido

Entonces:

$$H_{f1} = 0,042 * \frac{46ft * \left[87,8 \frac{ft}{s}\right]^2}{\left[\frac{1}{12}ft\right] * 2 * \left[32,2 \frac{ft}{s}\right]}$$

$$H_{f1} = 2775,18 ft$$

$$H_{T1} = 2775,18 ft + 78,74 ft$$

$$H_{T1} = 2853,92 ft$$

Con este valor se procede a calcular la pérdida de carga en la primera línea (1") con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = H_T * \rho * g$$

Donde: ΔP: Perdida de presión
 H_T: Longitud Equivalente Total
 ρ: Densidad del aire = 0,007217 [lbm/ft.s]
 g: Gravedad

Entonces:

$$\Delta P_1 = 2853,92 \text{ ft} * 0,07217 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} * 32,2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * \left[\frac{1 \text{ lbf}}{32,2 \text{ lbm} * \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}} \right]$$

$$\Delta P_1 = 205,97 \left[\frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \right] = 1,43 \text{ PSI}$$

Línea de 1/4”:

Debido a que nunca se accionan todos los cilindros de doble efecto al mismo tiempo, la longitud de la tubería de 1/4” de diámetro utilizada para el cálculo de pérdidas de carga es de 8 metros, distancia entre el gabinete del PLC y el cilindro más alejado, y se agregó un factor de coincidencia del 50%, por lo cual la longitud total es de 12 metros.

En la tabla 3.4, se detallan los valores de la longitud equivalente de la tubería de aluminio de 1/4” de diámetro, de los accesorios presentes en este tramo de la red neumática.

Tabla 3.4 Longitud Equivalente Accesorios 1/4”

ACCESORIO	CANTIDAD	LONG. EQUIV. UNITARIO [M]	LONG. EQUIV. TOTAL [M]
Codos 90° 1/4”	12	0,2	2,4
Cruces S.L 1/4”	12	1	12
Válvula Retén 1/4”	6	2	12
Válvula Diafrag. 1/4”	1	1	1
Válvula Bola 1/4”	1	2,5	2,5
Reductor	6	0,3	1,8
TOTAL			31,7

La longitud equivalente en tubería dada por los accesorios es de 31,7 metros (104 ft).

$$H_{L2} = 104 \text{ ft}$$

Para calcular la velocidad de la línea se utiliza el dato de consumo del cilindro de doble efecto:

$$Q = 0,93 \frac{\text{lt}}{\text{s}} = 1,97 \text{ CFM}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{4 * 1,97}{\pi * \left(\frac{0,25}{12}\right)^2 * 60}$$

$$V_2 = 96,3 \left[\frac{\text{ft}}{\text{s}}\right]$$

Con este resultado se procedió a calcular el número de Reynolds de la siguiente manera:

$$Re = \frac{V * Di * \rho}{\mu}$$

Donde: V: Velocidad [ft/s]

Di: Diámetro Interno tubería [ft]

ρ : Densidad del Aire [lbm/ft³] = 0,07217

μ : Viscosidad dinámica [lbm/ft.s] = 1,2651 x 10⁻⁵

$$Re = \frac{96,32 \frac{ft}{s} * \left[\frac{0,25}{12} ft \right] * 0,07217 \frac{lbm}{ft^3}}{1,265 \times 10^{-5} \frac{lbm}{ft \cdot s}}$$

$$Re = 1,14 \times 10^4$$

La rugosidad equivalente ε para tubería de aluminio es de 0,000005[ft], este valor se lo obtuvo de la figura 3.18.

Para ingresar al diagrama de Moody debemos también realizar el siguiente cálculo:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000005 ft}{\left[\frac{1}{12} ft \right]} = 6 \times 10^{-5}$$

Con el valor de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, obtenemos el factor de fricción en el diagrama de Moody de la figura 3.19.

$$f_1 \approx 0,03$$

Para realizar el cálculo de pérdidas de presión se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_f = f * \frac{L * V^2}{D * 2g}$$

$$H_{f2} = 0,03 * \frac{46 ft * \left[96,32 \frac{ft}{s} \right]^2}{\left[\frac{0,25}{12} ft \right] * 2 * \left[32,2 \frac{ft}{s} \right]}$$

$$H_f = 9542 ft$$

$$H_T = 9542,61 \text{ ft} + 104 \text{ ft}$$

$$H_T = 9646,6 \text{ ft}$$

Con este valor se procede a calcular la pérdida de carga en la segunda línea neumática (1/4") con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = H_T * \rho * g$$

Donde: ΔP : Pérdida de presión

H_T : Longitud Equivalente Total

ρ : Densidad del aire = 0,007217 [lbm/ft.s]

g : Gravedad

Entonces:

$$\Delta P_2 = 9646,6 \text{ ft} * 0,07217 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} * 32,2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} * \left[\frac{1 \text{ lbf}}{32,2 \text{ lbm} * \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}} \right]$$

$$\Delta P_2 = 696,2 \left[\frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \right] = 4,83 \text{ PSI}$$

Las pérdidas totales de carga en el circuito neumático abierto son la suma de la pérdida de cada línea:

$$\Delta P_T = 1,43 \text{ PSI} + 4,83 \text{ PSI} = 6,26 \text{ PSI}$$

La caída de presión admisible para que los cilindros logren accionar las válvulas hidráulicas de cuatro vías es de 10 PSI, por lo cual el nuevo sistema neumático implementado no afectará en el funcionamiento de los mismos ya que la pérdida total de carga es de 6,26 PSI.

3.2.1.3 Selección de Componentes Neumáticos

Una vez analizados los requerimientos del sistema y diseñado el circuito neumático se debe proceder a realizar la selección de los equipos neumáticos a instalar. Es sumamente importante que los equipos tengan una presión de trabajo de 120 PSI, ya que es la presión que los compresores presentes en el taladro suministran.

- **Electroválvulas:**

Las características de las electroválvulas seleccionadas para realizar el control de apertura y cierre de los rams y del preventor anular son las siguientes:

Marca: FESTO

Modelo: CPE18-M1H-5/3E-1/4

Función: 5x3 con centro a descarga.

Presión de trabajo: 2.5 a 10 BAR (36 a 145 PSI).

Conexión: G 1/4".

Temperatura Ambiente: -5 a 50°C.

Voltaje de Trabajo: 24VDC +10/-15%

Protección: IP65.



Figura 3.20. Electrovalvula marca FESTO, modelo CPE18-M1H-5/3E-1/4

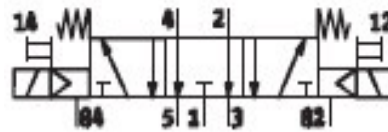


Figura 3.21: Simbología electroválvula 5/3.

Para la distribución del aire comprimido y la descarga común de todas las electroválvulas se seleccionó el siguiente manifold neumático:



Figura 3.22. Manifold Neumático FESTO CPE18-PRS-3/8-7

Para instalar las electroválvulas en el manifold se necesitó del siguiente set de fijación:



Figura 3.23. Set de Fijación FESTO CPE18-H5-SET

El taladro CPV-23 dispone de 4 cornetas de aire que son utilizadas para alertar al personal si existe algún tipo de emergencia, las cuales son: Arremetida, Derrame, Incendio y Primeros Auxilios. Estas cornetas en la actualidad son accionadas manualmente por una válvula de bola de $\frac{1}{2}$ " , la misma que se reemplazarán por cuatro electroválvulas de cinco vías y tres posiciones para accionar independientemente cada una de las cornetas de aviso, esto con la finalidad de homogenizar el tono de las cornetas y aumentar su sonido. El aire de alimentación de las electroválvulas se lo tomará del acumulador de aire comprimido que se diseñó anteriormente. Cabe recalcar que se utilizaron estas electroválvulas en lugar de electroválvulas de dos vías y dos posiciones, debido a que la empresa tenía disponibles en stock.

Las características de estas electroválvulas son las siguientes:

Marca:	AIRTAC
Modelo:	4V210-08
Función:	5x2 con retorno a resorte
Presión de trabajo:	0.15 a 0.85 MPA (22 a 123 PSI).
Conexión:	G ¼".
Temperatura Amb.:	-5 a 50°C.
Voltaje de Trabajo:	110VAC, 220VAC.
Protección:	IP65.



Figura 3.24: Electroválvula AIRTAC, modelo 4V210-08.

- **Válvula Proporcional:**

La válvula proporcional seleccionada tienes las siguientes características:

Marca:	FESTO.
Modelo:	MPPES-3-1/2-6-420

Función: Válvula 3x2 piloto proporcional por solenoide.

Presión de Alimentación: Max 120PSI.

Presión Regulada: 0 a 90PSI.

Temperatura Ambiente: 0 a 60°C.

Voltaje Alimentación: 24VDC.

Entrada de Setpoint: 0 a 10VDC / 4 a 20ma.

Protección: IP65.



Figura 3.25. Válvula proporcional FESTO, modelo MPPES-3-1/2-6-420.

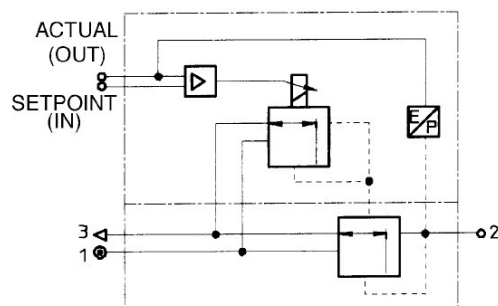


Figura 3.26. Diagrama neumático interno de válvula proporcional MPPES.

- **Mangueras:**

Las mangueras para la distribución de aire comprimido desde las electroválvulas hasta los pasamuros del gabinete que se seleccionaron tienen las siguientes características:

Marca: FESTO.

Modelo: PUN-8X1,25BL. (Poliuretano)

Presión de Trabajo: 0,95 a 10BAR (13.8 a 145PSI)

O.D: 8mm

Temperatura Ambiente: -35 a 60°C.



Figura 3.27. Manguera 8mm FESTO PUN-8X1,25BL.

- **Conectores:**

Además de esto se utilizaron racores neumáticos rectos con conexión de 1/4" (P/N: QS-1/4-8-I) para la conexión de las mangueras, silenciadores de bronce con conexión de 3/8" para la descarga del manifold (P/N:1013-AJ04-GM83A-SB-00-08) y pasamuros de gabinetes para manguera de 8mm (P/N:QSS-8), todos estos accesorios son marca FESTO.

3.2.1.4 Selección de Componentes Hidráulicos:

Para poder realizar la medición de las presiones de prueba de la unidad BOP, es necesario utilizar componentes hidráulicos que soporten las altas presiones a las cuales son realizadas las pruebas. La prueba en baja presión se la realiza en 300 PSI, y las pruebas de alta presión se la realiza a la presión de trabajo del cabezal del pozo, que por lo general es de 3000 PSI. Por lo cual los componentes a seleccionar deben soportar 3600 PSI añadiendo un factor de seguridad del 50% por requerimiento de la empresa. Para poder transmitir la presión de la unidad de prueba hacia el transductor de presión son necesarios los siguientes componentes:

- **Manguera:**

Marca: Parker

Modelo: SAE 100R2 Hidráulica

Conexión: ¼" NPT

Presión Max: 5000PSI



Figura 3.28. Manguera Parker SAE 100R2 Hidráulica.

- **Conectores Rápidos Macho:**

Marca: Parker

Modelo: Quick Series Coupling 1141-62 Male

Conexión: ¼" NPT

Presión Máxima: 10000PSI



Figura 3.29. Conector rápido Parker, Quick Series Coupling 1141-62 Male.

- **Conectores Rápidos Hembra:**

Marca: Parker

Modelo: Quick Series Coupling 1141-62 Female

Conexión: ¼" NPT

Presión Máxima: 10000PSI



Figura 3.30. Conector rápido Parker, Quick Series Coupling Female.

3.2.2 Análisis de Vibraciones:

En el análisis de vibraciones del sistema a implementar se deben tomar en cuenta varios parámetros para determinar experimentalmente el valor de la frecuencia natural del mismo. El conocimiento y control de estas frecuencias naturales se lo debe realizar con la finalidad de evitar la presencia de resonancias bajo la acción de excitaciones externas. (Azima, 2012)

Sabemos que cuando la frecuencia de excitación de un sistema coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, tiene lugar un fenómeno de resonancia. La característica más importante de la resonancia es que da lugar a grandes desplazamientos, lo cual significa una amenaza inminente para el funcionamiento y sujeción de los equipos eléctricos, electrónicos y mecánicos presentes en el gabinete, así como la presencia de ruido en los dispositivos de comunicación inalámbrica. En consecuencia, las condiciones de resonancia deben ser evitadas en el diseño y construcción de este sistema.

Para esto realizaremos el cálculo de la deflexión estática, que nos indicará el tipo de aislador de vibración que debe usar nuestro sistema. Nos valemos de la tabla de transmisibilidad recomendada para determinar la que se acopla a nuestro sistema.

Tabla 3.5 Transmisibilidad recomendada en %.

VELOCIDAD DE OPERACIÓN (RPM)	PISO DE SÓTANO (%)	PISO DE HORMIGÓN RÍGIDO (%)	PISO SUPERIOR DE EDIFICIOS DE HORMIGÓN LIGERO (%)	PISO DE MADERA (%)
300	35	15	13	10
500	28	13	9	7
800	28	10	6	4
1200	14	5	3	2.5
1800	12	3	1	1
3600	10	1	0.3	0.2
7200	2	0.3	0.085	0.068

Como la fuente de vibraciones de nuestro sistema es un motor eléctrico ubicado en el Acumulador de Presión, que gira a 1765 RPM, y nuestro piso físicamente se puede aproximar a un piso de madera, ya que se realiza un relleno al suelo para el armado de una localización de perforación; obtenemos una transmisibilidad de 1%.

La siguiente expresión de transmisibilidad en función de la frecuencia natural, nos permite determinar la deflexión estática a la que se somete el sistema y con ello determinar un aislador de vibraciones adecuado.

$$Tr\% = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{\omega * \frac{2 * \pi}{60}}{\sqrt{\frac{g}{\Delta_{st}} * 1000}} \right)^2 \right|} * 100$$

$$-0.01 = \frac{1}{\left| 1 - \left(\frac{1765 [rpm] * \frac{2 * \pi}{60}}{\sqrt{\frac{9.8 [m/s^2]}{\Delta_{st}} * 1000}} \right)^2 \right|}$$

$$\Delta_{st} = 0.652 [mm]$$

Con este valor de deflexión estática ingresamos a la tabla de aisladores de vibración recomendados, que se muestra a continuación.

Tabla 3.6. Aisladores de vibración a usarse de acuerdo a deflexión estática.

GRUPOS	TIPOS DE AISLADORES
A	Hasta 1.66 mm, se sugiere usar corcho, caucho, fieltro, almohadilla de plomo, asbesto o fibra de vidrio.
B	Hasta 6.35 mm, se sugiere usar capas de planchas de neopreno, planchas gruesas de fieltro o corcho.
C	Hasta 38 mm, se recomienda usar resortes de acero o capas múltiples de caucho o neopreno.
D	Hasta 355 mm, se deben usar resortes de acero en espiral o en hojas.

Como se observa en la tabla anterior, nuestra deflexión estática se sitúa en el grupo A de aisladores; por lo que se decide colocar láminas de caucho impermeable (geomembrana) de 1 mm de espesor. La geomembrana presenta las siguientes características:

- Composición: 97% de LDPE (Poliuretano de baja densidad)
- Módulo de elasticidad: 450 MPa. (ENGINEERING TOOL BOX)

Para un sistema de 1GDL (Grado de libertad), la frecuencia natural del sistema se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} = \sqrt{\frac{g}{\Delta_{st}}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/s}^2}{0.652 \text{ mm}} * 1000}$$

$$\omega_n = 122.59 \left[\frac{1}{s} \right]$$

De donde despejamos la Rigidez Axial, K.

$$K = \omega_n^2 * M$$

Donde M es la masa del sistema expuesto a vibraciones, es decir, la caja de conexiones del Acumulador de Presión. El detalle de la masa total de la caja se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3.7. Peso de la caja del acumulador de presión.

EQUIPO	PESO (Kg)
Cajera	29.3
PLC y módulos	1.225
Electroválvulas x 7	1.96
Bloque de electroválvulas	0.671
Fuente de Alimentación x 2	2.4
Ventilador	0.650
Sensores de presión x 5	0.550
Cables	1.2
Varios (Borneras, canaletas, conectores, etc.)	2
TOTAL	39.956

Teniendo M=40 Kg aproximadamente,

$$K = \left(122.59 \left[\frac{1}{s}\right]\right)^2 * 40 [Kg]$$

$$K = 301132.3 \left[\frac{Kg}{s^2}\right]$$

De esta manera podemos calcular el espesor del aislador de vibraciones si ponemos como condición el área transversal (A) de los mismos, en base a las dimensiones del soporte de la cajera, donde se ubicarán los aisladores. Usando la ecuación de la rigidez axial, tenemos:

$$K = \frac{E * A}{e}$$

Donde: E: es el módulo de elasticidad del aislador,

A: es el área transversal, y

e: es el espesor del aislador.

Para el área transversal de los aisladores tomamos las medidas del soporte de la cajera; como indica la figura 3.31, tenemos como resultado dos tipos de aisladores:

- Aisladores tipo 1: 45.8 mm x 50.8 mm
- Aisladores tipo 2: 44.8 mm x 44.8 mm

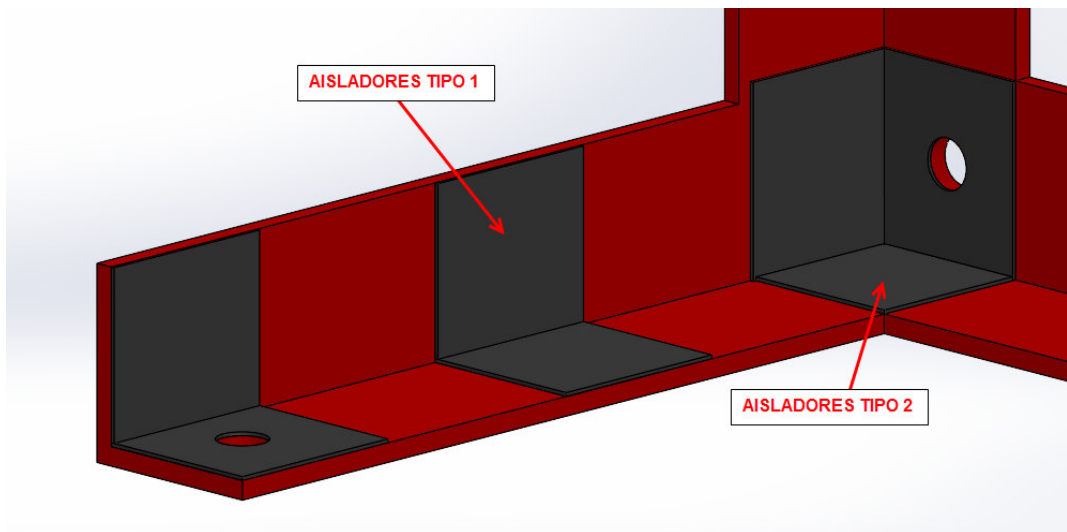


Figura 3.31. Tipos de aisladores ubicados en soporte de caja.

Con estos datos determinamos las áreas transversales para cada tipo de aislador.

$$A_1 = 45.8 \text{ [mm]} \times 50.8 \text{ [mm]} = 2326.64 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_2 = 44.8 \text{ [mm]} \times 44.8 \text{ [mm]} = 2007.04 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Finalmente calculamos el espesor de cada tipo de aislador.

$$e = \frac{E * A}{K}$$

$$e_1 = \frac{450 \text{ [MPa]} * 2326.64 \text{ [mm}^2\text{]}}{601132.3 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}^2} \right]} = 1.74 \text{ mm}$$

$$e_2 = \frac{450 \text{ [MPa]} * 2007.04 \text{ [mm}^2\text{]}}{601132.3 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}^2} \right]} = 1.50 \text{ mm}$$

Debido a que la geomembrana que utilizaremos tiene espesor 1mm, se colocaran 2 capas de geomembrana, formando 2mm de espesor, en la

disposición que se muestra en la figura 3.32; asegurando así aun más una menor transmisibilidad y por ende una menor vibración de los componentes eléctricos y electrónicos de la cajera.

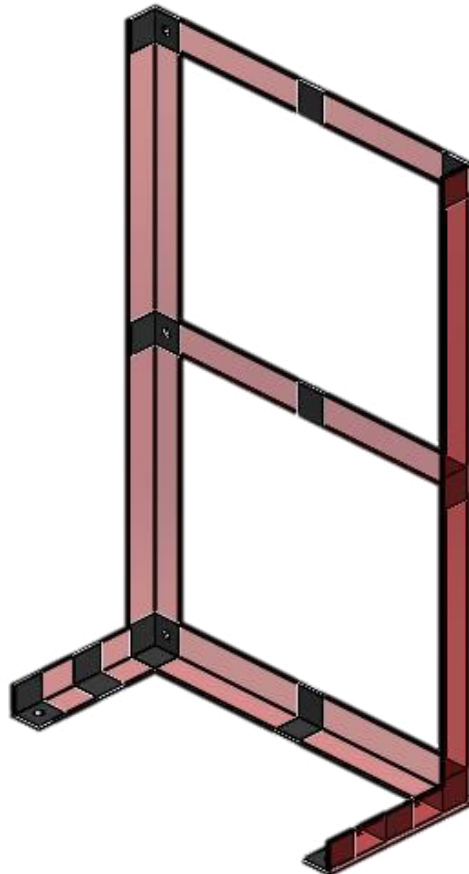


Figura 3.32. Disposición de aisladores en el soporte de la cajera.

3.2.3 Diseño de elementos mecánicos

3.2.3.1 Soporte de Sensores

Función:

La función de este elemento mecánico, como su nombre lo indica, es la de soportar los sensores inductivos que nos permitirán sensor el estado

de las válvulas de cuatro vías de cada RAM del acumulador de Presión; así como acoplar estos dispositivos al mismo sin necesidad de realizar modificaciones de importancia al equipo.

Requerimientos:

Los requerimientos que debe cumplir este soporte son los listados a continuación en orden de importancia:

- Utilización de materiales de bajo costo.
- Acople rápido y fácil a las válvulas de 4 vías.
- Soportar 3 sensores inductivos de 1,2 cm de diámetro y que estén alineados perfectamente para detectar la posición de la palanca.
- La calidad del acabado superficial no es una prioridad.

Especificaciones de diseño:

En resumen las especificaciones que el soporte de los sensores debe tener son las siguientes:

- Material: Hierro fundido
- Sujeción y Acople: El soporte se acoplará a las válvulas de 4 vías por medio de 2 pernos M12.

- Sensores: El soporte tendrá tres agujeros alineados de 1,2 cm de diámetro (Sin Ajuste) separados 6.07cm entre sí.
- No se tomará en cuenta el acabado en el maquinado CNC, de esta manera también se reduce costos en la hora-fresadora CNC.

Diseño CAD:

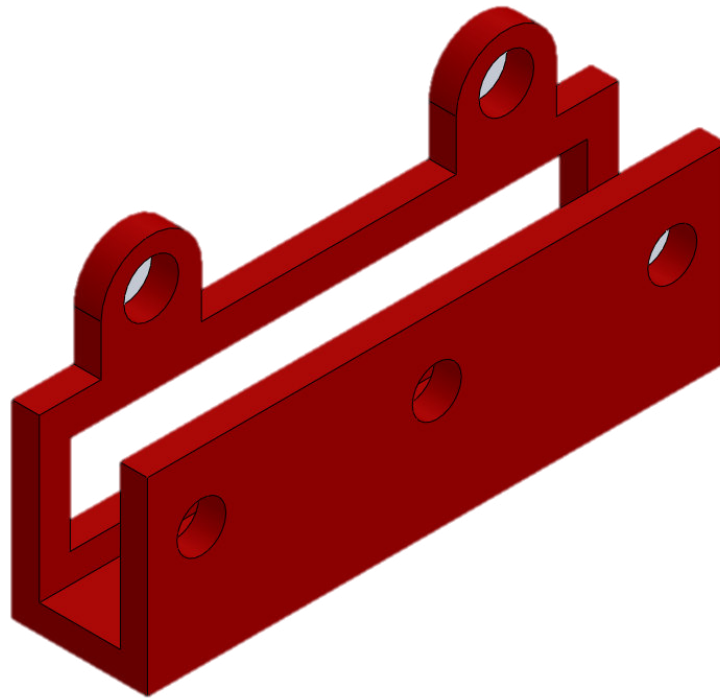


Figura 3.33. Diseño CAD del soporte de sensores.

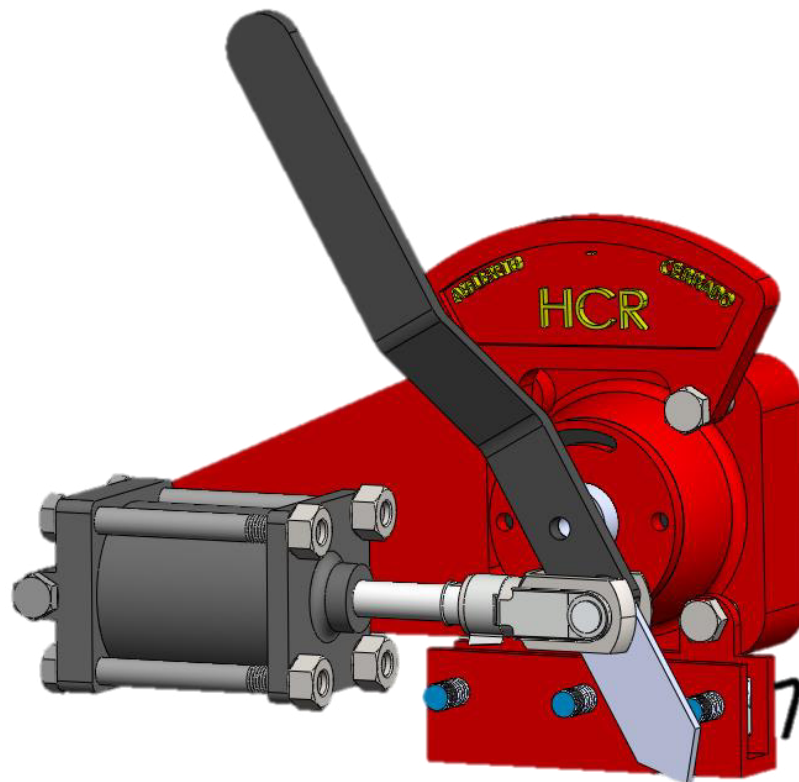


Figura 3.34. Diseño CAD, ensamble de soporte de sensores.

3.2.3.2 Soporte de cornetas

Función:

La función de este soporte sostener las cornetas y mantenerlas fijas ante los accionamientos neumáticos de cualquier alarma del taladro, además de elevar la posición de las cornetas para una mejor distribución del sonido.

Requerimientos:

Los requerimientos que debe cumplir este soporte son los listados a continuación:

- Utilización de materiales de bajo costo.
- Fijación de 4 cornetas.
- Soportar el peso de 4 cornetas de 1 Kg aproximadamente cada una.
- Facilitar la conexión y desconexión de las cornetas
- Con su ubicación y disposición de las cornetas, garantizar un sonido homogéneo y fuerte hacia todo el taladro.
- Ser abatible y desmontable para operaciones de mudanza.

Especificaciones de diseño:

En resumen las especificaciones de diseño que el soporte de las cornetas debe tener son las siguientes:

- Material: Hierro fundido
- Sujeción y Acople: Las cornetas se sujetaran en 4 puntos (esquinas), con pernos de 7/16".
- Disposición de las cornetas en forma de cruz (4 vientos), a una altura de al menos 60 cm desde su base.
- Conexión de aire comprimido de 1/2" por debajo de las cornetas.
- Soporte abatible y desmontable con pasadores de 1/2"

Diseño CAD:

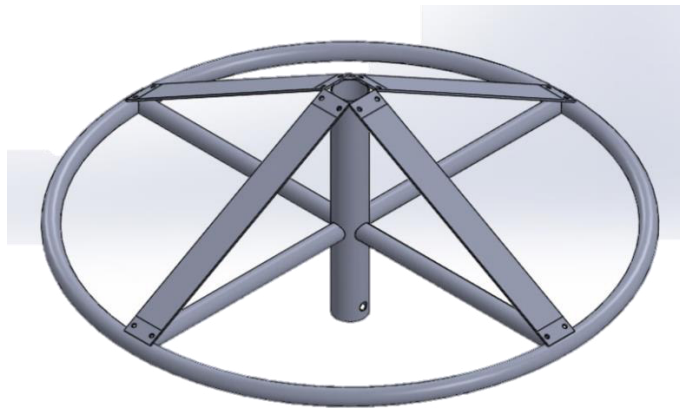


Figura.3.35. Diseño CAD Soporte de cornetas.

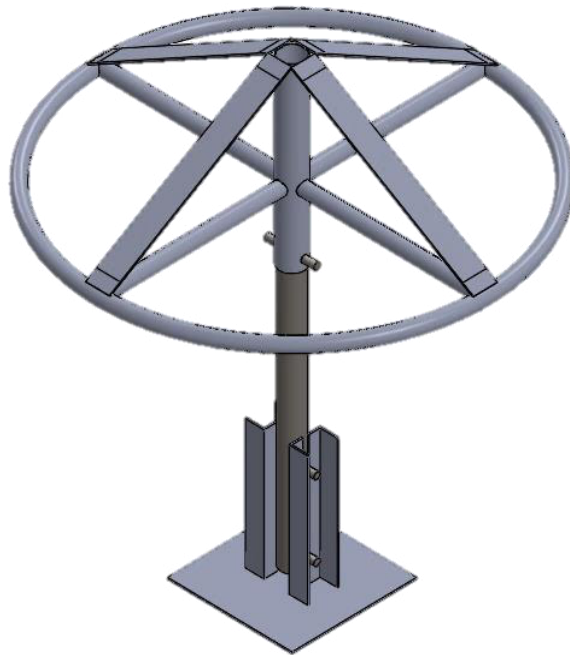


Figura 3.36. Ensamble de soporte de cornetas.

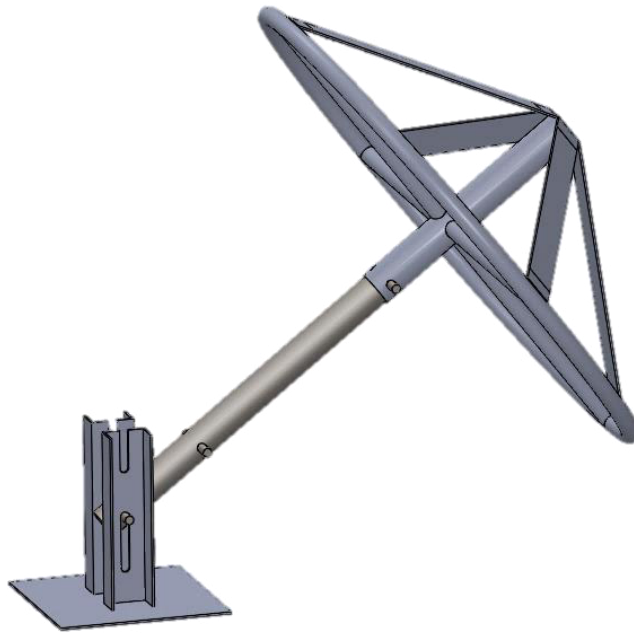


Figura 3.37: Movimiento de desmontaje de soporte de cornetas.

Estudio CAE:

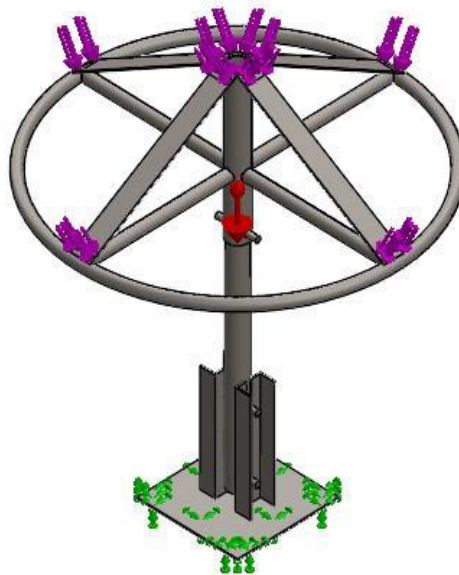


Figura 3.38. Estudio CAE de soporte de cornetas.

Tabla 3.8. Análisis de Sólidos, soporte de cornetas

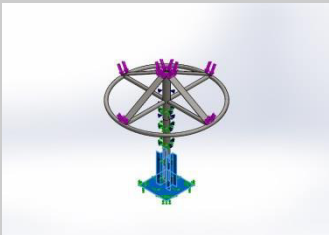
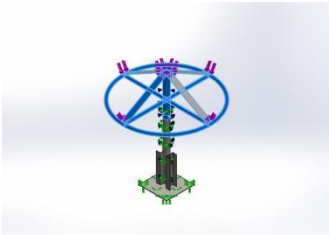
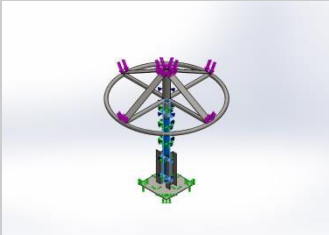
REFERENCIA	TRATADO COMO	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
BASE PISO		
	Sólido	Masa:3.20327 kg Volumen:0.00040806 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:31.3921 N
SOPORTE		
	Sólido	Masa:9.55289 kg Volumen:0.00121693 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:93.6183 N
TUBO EXTENSIÓN		
	Sólido	Masa:1.39067 kg Volumen:0.000177156 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:13.6286 N

Tabla 3.9. Propiedades del soporte de cornetas.

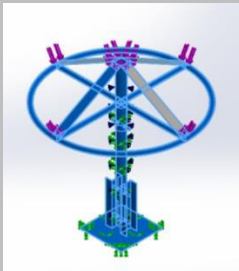
REFERENCIA DE MODELO	PROPIEDADES	COMPONENTE
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: $2.5e+008 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $4e+008 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $2e+011 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m^3</p> <p>Módulo cortante: $7.93e+010 \text{ N/m}^2$</p>	<p>BASE PISO</p> <p>SOPORTE</p> <p>TUBO EXTENSIÓN</p>

Tabla 3.10. Tipos de carga, soporte de cornetas.


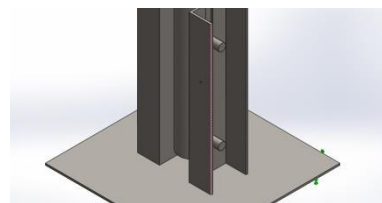
NOMBRE DE CARGA	CARGAR IMAGEN	DETALLES DE CARGA
Fuerza-1		<p>Entidades: 8 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 5 N</p>
Gravedad-1		<p>Valores: 9.81</p> <p>Unidades: SI</p>

Tabla 3.11. Tensiones, soporte de cornetas.

TIPO	MÍN.	MÁX.
VON: Tensión de von Mises	0.426495 N/m ² Nodo: 537	1.7017e+007 N/m ² Nodo: 36735

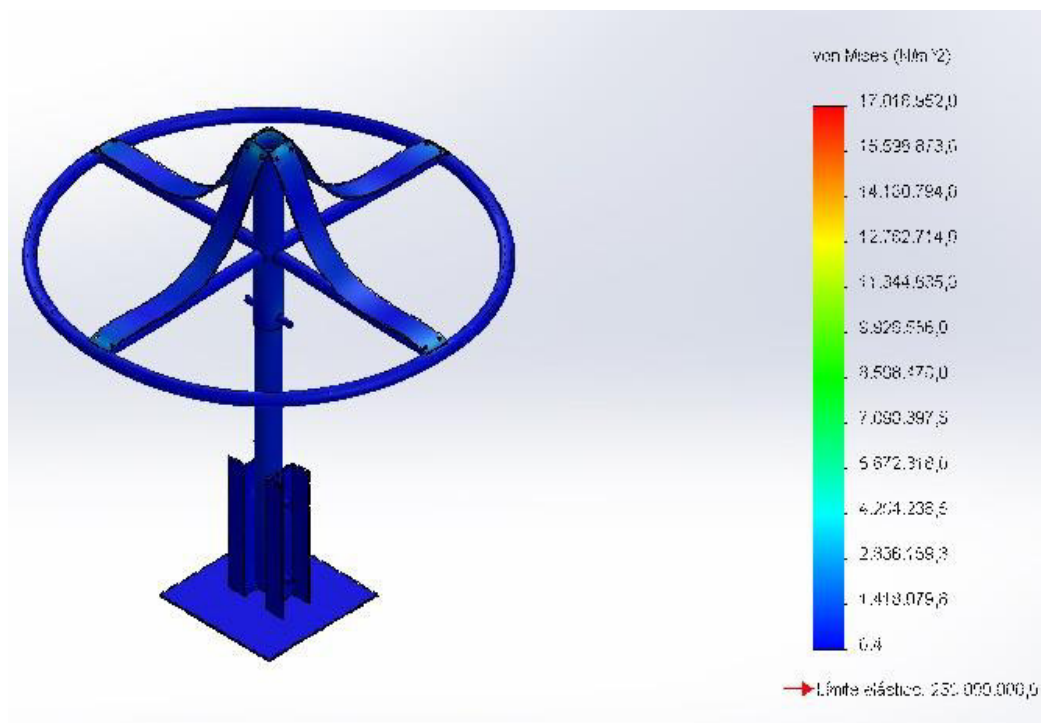


Figura 3.39. Estudio de tensiones, soporte de cornetas.

Tabla 3.12. Deformaciones, soporte de cornetas

TIPO	MÍN.	MÁX.
Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 623	0.0534305 mm Nodo: 28698

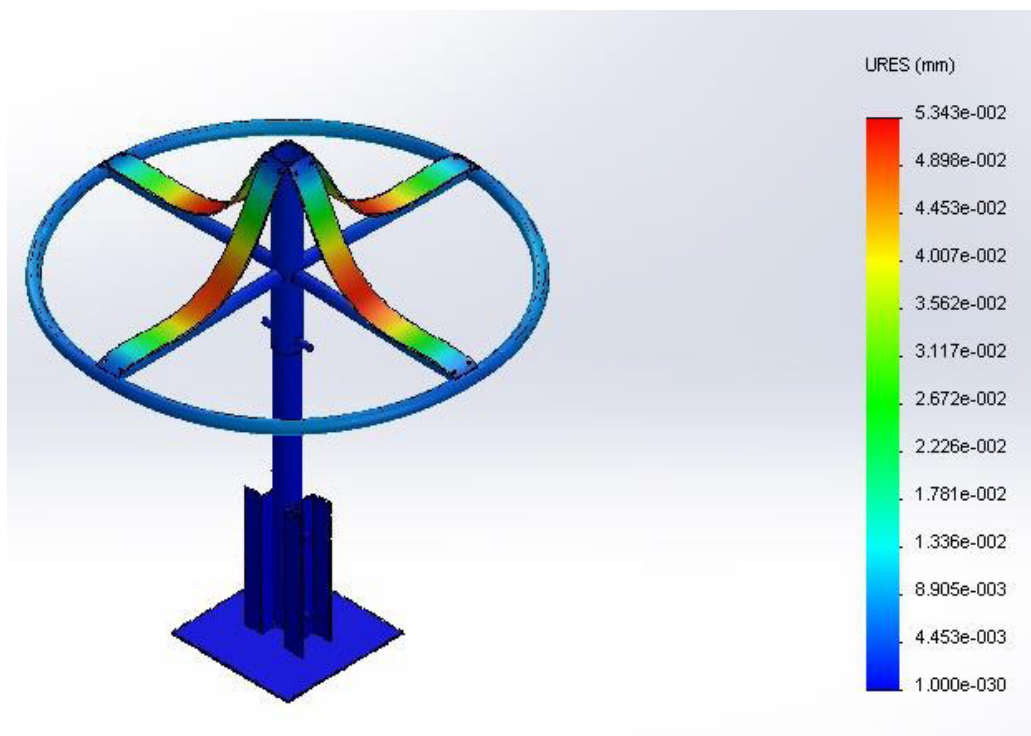


Figura 3.40. Estudio de deformaciones, soporte de cornetas.

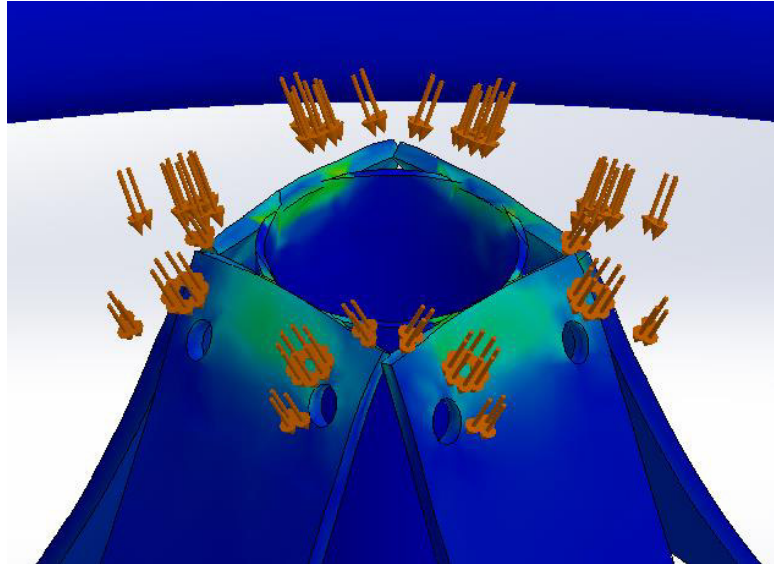


Figura 3.41. Puntos de máxima deformación soporte de cornetas.

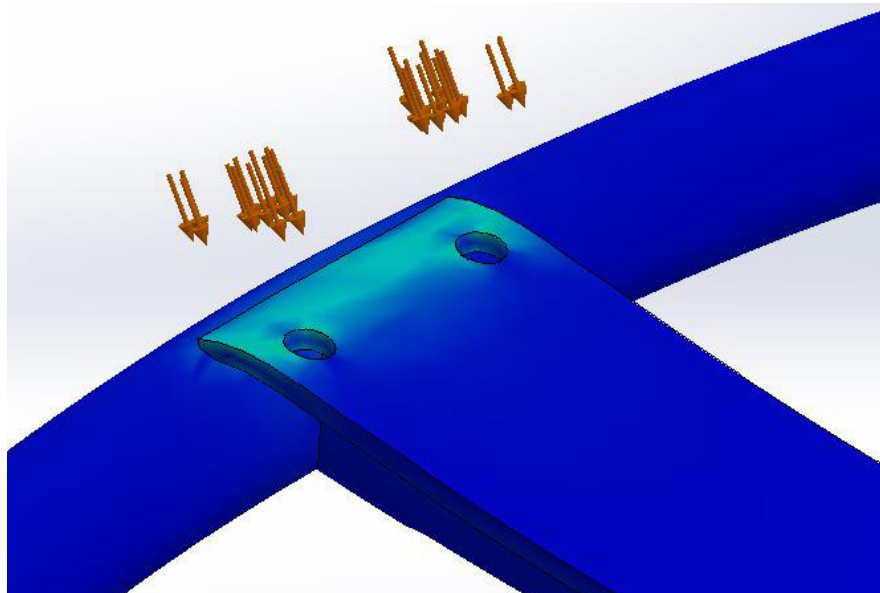


Figura 3.42. Puntos de máximo esfuerzo soporte de cornetas.

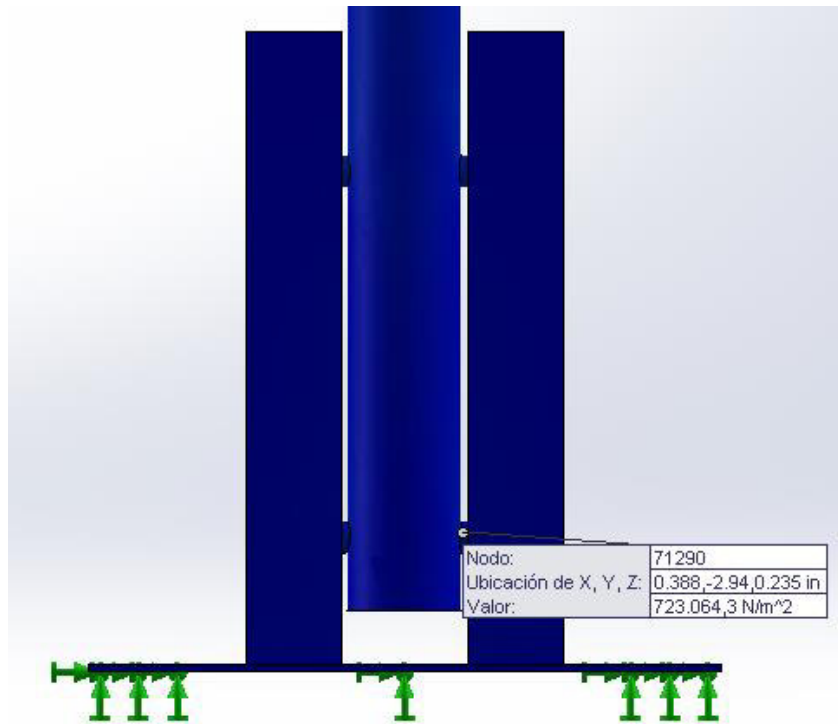


Figura 3.43. Tensión máxima en pasador de soporte de cornetas.

3.2.3.3 Soporte de cajera

Función:

La función de este soporte sostener la cajera del acumulador de presión y fijarla al mismo. Además funciona como marco del gabinete para evitar golpes o daños.

Requerimientos:

Los requerimientos que debe cumplir este soporte son los listados a continuación:

- Utilización de materiales de bajo costo.

- Fijación de una cajera de 100x60x30 cm.
- Soportar el peso de la cajera de aproximadamente 40 Kg.
- Tener puntos de sujeción en 8 puntos (2 superiores, 2 inferiores y 2 centrales, 2 en la base).
- Con su ubicación evitar al máximo la vibración transmitida.

Especificaciones de diseño:

En resumen las especificaciones de diseño que el soporte de la cajera del acumulador de presión debe tener son las siguientes:

- Material: Hierro fundido, plancha de 5 mm
- Sujeción y Acople: La cajera se sujeta con 6 pernos de 7/16".
- Disposición de la cajera: vertical.

Diseño CAD:

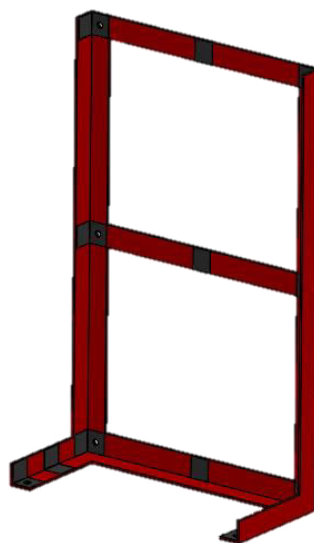


Figura 3.44. Diseño CAD, soporte de cajera.

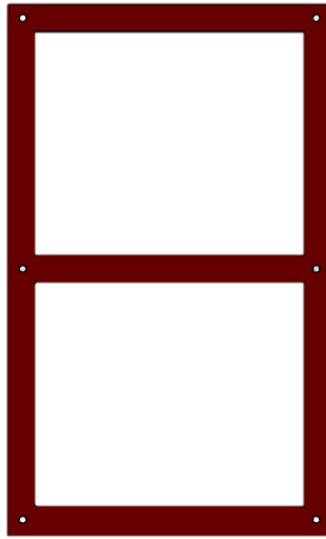


Figura 3.45. Diseño CAD soporte de cajera, vista posterior.

Estudio CAE:

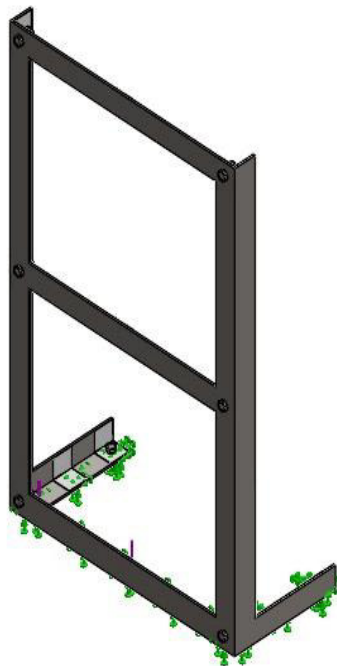


Figura 3.46. Estudio CAE, soporte de cajera.

Tabla 3.13. Análisis de Sólidos, soporte cajera

REFERENCIA	TRATADO COMO	PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS
SOPORTE CAJERA		
	Sólido	Masa:0.00209616 kg Volumen:2.1835e-006 m ³ Densidad:960 kg/m ³ Peso:0.0205424 N

Tabla 3.14. Propiedades del soporte de cajera

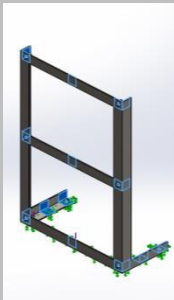
REFERENCIA DE MODELO	PROPIEDADES	COMPONENTE
	Nombre: Caucho natural Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2e+007 N/m ² Límite de tracción: 10000 N/m ² Módulo elástico: 0.45 Coeficiente de Poisson: 960 kg/m ³ Densidad: Módulo cortante:	SOPORTE CAJERA

Tabla 3.15. Tipos de carga, soporte de cajera.

NOMBRE DE CARGA	CARGAR IMAGEN	DETALLES DE CARGA
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 400 N

Tabla 3.16. Tensiones, soporte de cajera.

TIPO	MÍN.	MÁX.
VON: Tensión de von Mises	4.53567e-010 N/m ² Nodo: 5114	9407.47 N/m ² Nodo: 30133

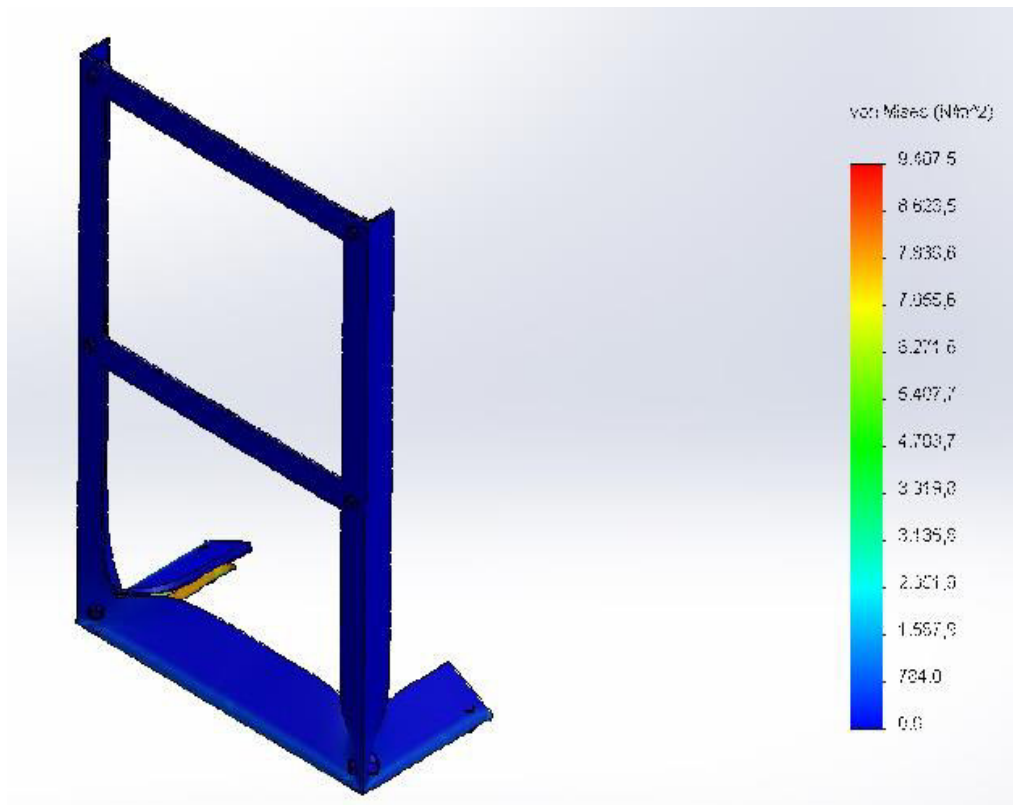


Figura 3.47: Estudio de tensiones, soporte de cajera.

Tabla 3.17. Deformaciones, soporte de cajera.

TIPO	MÍN.	MÁX.
Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 10529	1.17817e-006 mm Nodo: 12926

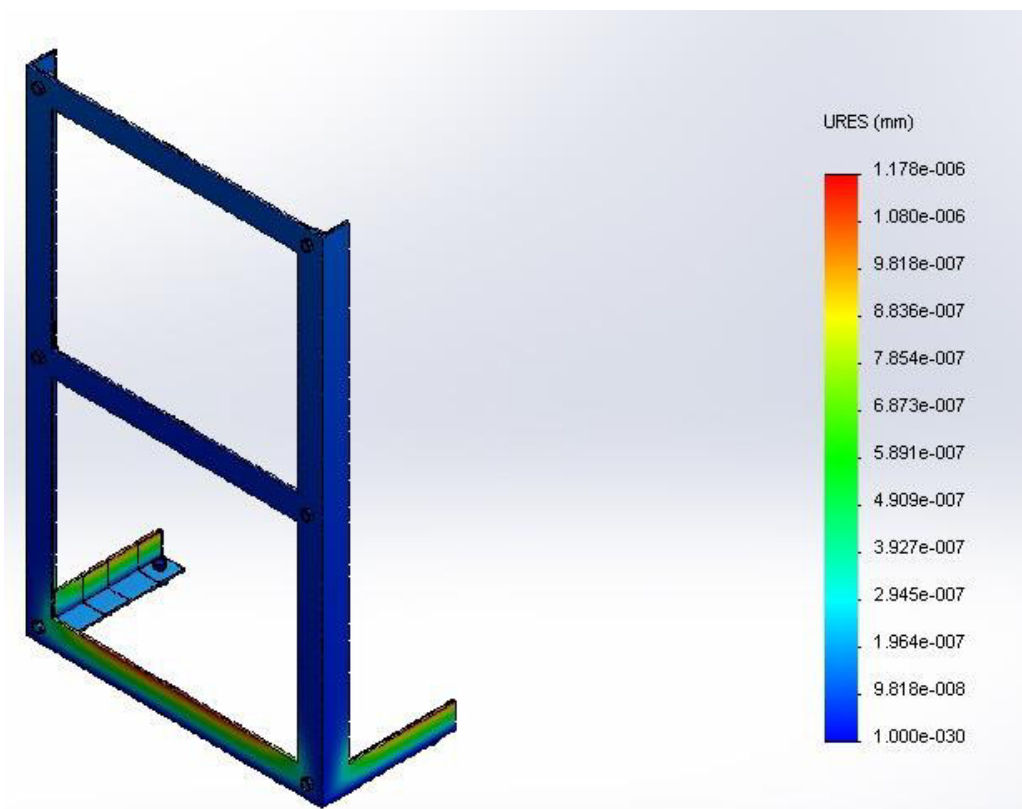


Figura 3.48. Estudio de deformaciones, soporte de cajera.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

Para el diseño del sistema eléctrico se tomó en cuenta los requerimientos energéticos de cada uno de los componentes eléctricos y electrónicos que conforman el mismo.

El sistema se divide en tres subsistemas que requieren de energía eléctrica, los cuales son:

- Subsistema #1: Gabinete del Acumulador de Presión.
- Subsistema #2: Gabinete de la Casa del Perro (Dog house).
- Subsistema #3: Estación de carga de Panel Remoto.

Una vez dividido el sistema, se debe analizar los dispositivos presentes en cada uno de los subsistemas antes mencionados, así como el tipo de energía de alimentación requerida.

3.3.1 Estudio de Carga del Subsistema #1:

En la tabla 3.18 se indican los componentes que serán instalados en el gabinete del acumulador de presión, con su respectiva fuente de alimentación.

Tabla 3.18. Dispositivos Eléctricos en Cajera del Acumulador de Presión

No	DISPOSITIVO	ALIMENTACIÓN
1	PLC S71200	24 VDC
2	Access Point Scalance W788	24 VDC
3	Electroválvulas 5X3	24 VDC
4	Válvula Proporcional	24 VDC
5	Sensores Inductivos	24 VDC
6	Sensores de Presión	24 VDC
7	Sensor de Nivel	24 VDC
8	Luz Piloto	24 VDC
9	Fuentes de Poder de 24VDC	120 VAC / 240 VAC
10	Ventilador	120 VAC
11	Tomacorriente	120 VAC

En este subsistema se dispone de dos dispositivos que requieren alimentación de 120 voltios de corriente alterna, los mismos que serán los encargados de proporcionar los 24 voltios en corriente continua que el resto de componentes requiere; además del ventilador y el tomacorriente que también se alimentan con 120VAC.

3.3.1.1 Dimensionamiento de Fuentes de Poder de

Corriente Continua:

Para realizar el dimensionamiento de las fuentes de poder en VDC del primer subsistema es necesario tomar en cuenta la corriente nominal que cada uno de sus componentes consume. Para esto se hará uso de la información de voltaje y corriente proporcionada por los manuales del fabricante de los equipos descritos en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Consumo Eléctrico Dispositivos del Acumulador de Presión.

No	EQUIPO	CANT.	VOLTAJE [V]	CORRIENTE [A]	TOTAL [A]
1	PLC S71200	1	24 VDC	1.5	1.5
2	Access Point Scalance	1	24VDC	0.65	0.65
3	Electroválvulas	6	24 VDC	0.13	0.78
4	Sensores Inductivos	17	24 VDC	0.1	1.7
5	Sensor de Presión 5000 PSI	3	24 VDC	0.12	0.36
6	Sensor de Presión 2000 PSI	2	24 VDC	0.025	0.05
7	Sensor de Presión 300 PSI	1	24 VDC	0.020	0.02
8	Sensor de Nivel	1	24 VDC	0.2	0.2
9	Válvula Proporcional	1	24 VDC	1.25	1.25
10	Luz Piloto Verde	1	24VDC	0.1	0.1
				TOTAL	6.61

Como se puede ver en la tabla 3.19, la corriente de consumo de los elementos a 24 VDC es de 6.61 [A]. Debido a que el sistema a diseñar es escalable, es decir que en un futuro se podrían agregar más dispositivos en él, se realizó un sobredimensionamiento del 50%, por lo cual, el consumo total es de 9.9 [A].

Se consideró utilizar fuentes independientes tanto para los elementos de control como para los actuadores y elementos de medición. En base a esto se seleccionaron dos fuentes de la marca SIEMENS, modelo: SITOP 6EP1-333-3BA00, y SITOP 6EP1-333-2AA01. Las cuales tienen una corriente de salida de 5[A] cada una y se alimentarán con 120 VAC.



Figura 3.49. Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00



Figura 3.50. Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01

3.3.1.2 Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas:

Para realizar el dimensionamiento de los fusibles de protección de los elementos se tomó en cuenta la corriente nominal de consumo total y se multiplicó por un factor de 1.3 para obtener un sobredimensionamiento del 30%.

Tabla 3.20. Consumo Eléctrico Fuentes 24VDC del Acumulador de Presión

DISPOSITIVO	CONSUMO NOMINAL DE CORRIENTE
Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	2.2 [A]
Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01	2.21 [A]
TOTAL	4.21 [A]
Sobredimensionamiento (1.3)	5.47 [A]

En base a estos cálculos podemos seleccionar el valor nominal de los fusibles de protección en 6 [A].

Queda por dimensionar el breaker de protección de todo el sistema. Para esto se realizó la suma de todas las corrientes nominales de los dispositivos que poseen una alimentación de 120VAC.

Tabla 3.21. Consumo Eléctrico Dispositivos 120 AC, Acumulador de Presión

DISPOSITIVO	CONSUMO NOMINAL DE CORRIENTE
Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	2.2 [A]
Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01	2.21 [A]
Ventilador LEIPOLE	0.2 [A]
Tomacorriente (Dos tomas)	3 [A]
TOTAL	7.61 [A]

Por lo tanto la corriente nominal del breaker de protección del sistema es:

$$I_{Breaker} = 1.3 \times I_N$$

$$I_{Breaker} = 1.3 \times 7.61 [A]$$

$$I_{Breaker} = 9.9 [A]$$

Por tanto el valor normalizado del breaker a utilizar debe ser de 10[A] a 120 VAC. Con estos datos se seleccionó el breaker marca GENERAL ELECTRIC modelo C10 DG62, el mismo que soporta una corriente de 10[A] hasta 415VAC monofásico.



Figura 3.51. Breaker General Electric C10.

3.3.2 Estudio de Carga del Subsistema #2

En la tabla 3.22 se indican los componentes que serán instalados en el gabinete de la Casa del Perro, con su respectiva fuente de alimentación.

Tabla 3.22. Dispositivos Eléctricos en Cajera de la Casa del Perro

No	DISPOSITIVO	ALIMENTACIÓN
1	Periferia Descentralizada ET200S	24 VDC
2	Access Point Scalance W788	24 VDC
3	Luces Piloto	24 VDC
4	Relé	24 VDC
5	Fuente de Poder de 24VDC	120 VAC / 240 VAC
6	Electroválvulas 5X3	120 VAC / 240 VAC

En este subsistema se dispone de dos dispositivos que trabajarán con una alimentación de 240 voltios de corriente alterna, ya que la acometida que llega al sitio de instalación solo posee este voltaje; estos son: las electroválvulas y la fuente de corriente continua. Esta última será la encargada de proporcionar los 24 VDC que el resto de componentes requiere.

3.3.2.1 Dimensionamiento de Fuentes de Poder de Corriente Continua:

Para realizar el dimensionamiento de las fuentes de poder en VDC del segundo subsistema es necesario tomar en cuenta la corriente nominal que cada uno de sus componentes consume. Para esto se hará uso de la información de voltaje y corriente proporcionada por los manuales del fabricante de los equipos descritos en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Consumo Eléctrico Dispositivos 24 VDC de la Casa del Perro.

N°	EQUIPO	CANT	VOLTAJE [V]	CORRIENTE [A]	TOTAL UNITARIO
1	Periferia Descentralizada	1	24 VDC	0.2	0.2
2	Módulo de potencia	1	24VDC	0.2	0.2
3	Módulo de Entradas 8DI	2	24VDC	0.05	0.1
4	Módulo de Salidas 8DI	3	24VDC	0.05	0.15
5	Access Point Scalance	1	24VDC	0.65	0.65
6	Relé	4	24 VDC	0.10	0.4
7	Luces Piloto	15	24 VDC	0.1	1.5
TOTAL					3.2 [A]

Como se puede ver en la tabla 3.23, la corriente de consumo de los elementos a 24 VDC es de 3.2 [A]. Debido a que el sistema a diseñar es escalable, es decir que en un futuro se podrían agregar más dispositivos en él, se realizó un sobredimensionamiento del 50%, por lo cual, el consumo total es de 4.8 [A].

En base a esto se seleccionó una fuente de 24VDC de la marca SIEMENS, modelo: SITOP 6EP1-333-2AA01, la cual tiene una corriente de salida de 5[A] y trabajará con 240VAC.



Figura 3.52. Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01

3.3.2.2 Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas:

Para realizar el dimensionamiento de los fusibles de protección de los elementos se independizaron los sistemas, para tener protección tanto en el accionamiento de las electroválvulas, como para la fuente de voltaje de 24VDC. Se tomó en cuenta la corriente nominal de consumo total de cada sistema y se multiplicó por un factor de 1.3 para obtener un sobredimensionamiento del 30%.

Tabla 3.24. Consumo Eléctrico Dispositivos 240VAC, Casa del Perro sistema #1

DISPOSITIVO	CANTIDAD	CONSUMO UNITARIO	CONSUMO TOTAL
Electroválvulas 5X3	4	0.10	0.6
Luz Piloto Verde	1	0.08	0.08
TOTAL			0.68 [A]
Sobredimensionamiento (1.3)			0.88 [A]

En base a estos cálculos se colocarán dos fusibles de protección de valor normalizado de 1 [A] en el primer sistema.

Tabla 3.25. Consumo Eléctrico Dispositivos 240VAC, Casa del Perro sistema #2.

DISPOSITIVO	CANTIDAD	CONSUMO NOMINAL DE CORRIENTE
Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01 (240VAC)	1	2.21 [A]
TOTAL		2.21 [A]
Sobredimensionamiento (1.3)		2.91 [A]

En base a estos cálculos se colocarán dos fusibles de protección de valor normalizado de 4[A] en el segundo sistema.

Para dimensionar el breaker de protección de todo el sistema se realizó la suma de todas las corrientes nominales de los dispositivos que poseen una alimentación de 240VAC.

Tabla 3.26. Consumo Eléctrico Dispositivos 240VAC de la Casa del Perro

DISPOSITIVO	CONSUMO NOMINAL DE CORRIENTE
Electroválvulas 5X3	0.6 [A]
Fuente SITOP 6EP1-333-2AA01	2.21 [A]
Luz Piloto	0.08 [A]
TOTAL	2.89 [A]

Por lo tanto la corriente nominal del breaker de protección del sistema es:

$$I_{Breaker} = 1.3 \times I_N$$

$$I_{Breaker} = 1.3 \times 2.89 [A]$$

$$I_{Breaker} = 3,76 [A]$$

Por tanto el valor normalizado del breaker a utilizar debe ser de 4[A] a 120 VAC. Con estos datos se seleccionó el breaker marca GENERAL ELECTRIC modelo C4 DG60, el mismo que soporta una corriente de 4[A] hasta 415 VAC monofásico.



Figura 3.53. Breaker General Electric C4.

3.3.3 Estudio de Carga del Subsistema #3

En la tabla 3.27 se indican los componentes que serán instalados en la estación de carga del panel remoto, con su respectiva fuente de alimentación.

Tabla 3.27. Dispositivos Eléctricos en Estación de Carga

No	DISPOSITIVO	ALIMENTACIÓN
1	Panel de Carga	24 VDC
2	Fuente de Poder de 24VDC	120 VAC / 240 VAC

En este subsistema solo se dispone de un dispositivo que requiere alimentación de 120 voltios de corriente alterna, el mismo será el encargado

de proporcionar los 24 voltios en corriente continua que el panel de carga requiere.

3.3.3.1 Dimensionamiento de Fuentes de Poder de Corriente Continua:

Para realizar el dimensionamiento de las fuentes de poder en VDC del último subsistema es necesario tomar en cuenta la corriente nominal que el panel de carga consume. Para esto se hará uso de la información de voltaje y corriente proporcionada por los manuales del fabricante descritos en la tabla 3.28.

Tabla 3.28. Consumo Eléctrico Dispositivos 24 VDC de Estación de Carga

No	EQUIPO	VOLTAJE [V]	CORRIENTE [A]	TOTAL UNITARIO
1	Estación de Carga Panel Móvil	24 VDC	1.8	1.8
			TOTAL	1.8[A]

Como se puede ver en la tabla 3.28, la corriente de consumo de la estación de carga del panel móvil es de 1.8 [A].

La empresa disponía en stock una fuente de la marca SIEMENS, modelo: SITOP 6EP1-333-3BA00, la cual tiene una corriente de salida de 5[A] y se alimenta con 120 VAC, por lo cual se decidió instalar esta fuente en este subsistema.



Figura 3.54. Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00

3.3.3.2 Dimensionamiento de Protecciones Eléctricas:

Para realizar el dimensionamiento de los fusibles de protección de los elementos se tomó en cuenta la corriente nominal de consumo total y se multiplicó por un factor de 1.3 para obtener un sobredimensionamiento del 30%.

Tabla 3.29. Consumo Eléctrico Dispositivos 120VAC Estación de Carga

DISPOSITIVO	CONSUMO NOMINAL DE CORRIENTE
Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	2.2 [A]
TOTAL	2.2 [A]
Sobredimensionamiento (1.3)	2.86 [A]

En base a estos cálculos podemos seleccionar el valor nominal de los fusibles de protección en 4 [A].

Debido a que en este subsistema solo existe un dispositivo, se consideró solo instalar un porta-fusibles para la protección del mismo, y prescindir del breaker de protección.

3.3.4 Selección de Gabinetes:

Para la selección de gabinetes se tomó en cuenta los elementos con sus respectivas dimensiones que se instalarán al interior de los mismos. Basados en los datos proporcionados por el fabricante, se seleccionaron los siguientes gabinetes modulares de doble fondo de la marca BEAUCOUP:

- Subsistema #1: Gabinete GSP-1006030/C de 100X60X30cm
- Subsistema #2: Gabinete GSP-1006030/C de 100X60X30cm
- Subsistema #3: Gabinete GSP-202015/C de 20x20x15cm

Estos gabinetes tienen un grado de protección IP-65, por lo que están protegidos totalmente al polvo y a chorros de agua. Los mismos son de fabricación ecuatoriana y cumplen las normas de fabricación: EN - 60529(IP), IEC -529 / INEN 2568. (BEAUCOUP, 2012)



Figura 3.55. Gabinetes BEAUCOUP.

3.3.5 Accesorios:

Dentro del ensamblaje eléctrico y electrónico de todos los subsistemas, son necesarios algunos accesorios esenciales para garantizar la correcta conexión y sobretodo el orden dentro de los gabinetes.

3.3.5.1 Cables:

Para la selección de cables se realizó la siguiente división:

- Cables de alimentación.
- Cables de control e instrumentación.
- Cables de comunicación.

Los cables de alimentación de los equipos presentes en los gabinetes, deben dimensionarse dependiendo de la caída de tensión admisible de cada uno de ellos, la misma que es detallada en los manuales del fabricante.

La sección del conductor necesaria para conectar un dispositivo a la fuente de alimentación depende de:

- El consumo de corriente eléctrica del dispositivo [A].
- La caída de tensión admisible según el fabricante [V].
- Longitud total del conductor.
- Material del conductor.

Para obtener la sección de los conductores de potencia de los equipos cuya alimentación es de 120/240VAC se realizaron los siguientes cálculos:

$$S = f * \frac{L}{R}$$

$$R = \frac{E}{I}$$

Donde:

E = Caída de tensión admisible [Volt]

I = Corriente [Amper]

R = Resistencia [Ohm]

L = Largo del conductor [metros]

S = Sección en [mm²]

f = Resistencia específica del material: cobre = 0.0173 [Ohm*mm²/m]

La longitud desde la fuente de alimentación hasta los dispositivos es de aproximadamente 40m, la caída de tensión admisible según el fabricante es de 7V y el consumo de corriente eléctrica del gabinete ubicado en el acumulador de presión es de 7.61 A, entonces:

$$R = \frac{7[V]}{7.61[A]} = 0.92 \text{ Ohms}$$

$$L = 40m * 2 = 80 [m]$$

$$S = 0.0173 * \frac{80[m]}{0.92[Ohms]} = 1.52 [mm^2]$$

Este valor obtenido se lo dividió para dos debido que son dos cables que llevan la alimentación, obteniendo un valor de 0.76mm^2 tanto para el cable de fase como para el de neutro.

En base a la figura 3.56, la cual especifica el calibre de los cables según el calibre A.W.G (American Wire Gauge), se puede seleccionar el calibre 18AWG, el mismo que tiene una sección transversal de 0.823mm^2 .

Debido que el sistema será sobredimensionado en un 30% debido a futuras ampliaciones del mismo se seleccionó un cable 3X14AWG con recubrimiento vulcanizado (Figura 3.57), en donde el tercer conductor se lo utilizó para el aterramiento de la alimentación.

A.W.G.	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	A.W.G.	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)
#1	7.348	42.41 mm ²	#21	9.723	0.410 mm ²
#2	6.544	33.63 mm ²	#22	0.644	0.326 mm ²
#3	5.827	26.67 mm ²	#23	0.573	0.258 mm ²
#4	5.189	21.15 mm ²	#24	0.511	0.205 mm ²
#5	4.621	16.77 mm ²	#25	0.455	0.162 mm ²
#6	4.115	13.30 mm ²	#26	0.405	0.129 mm ²
#7	3.665	10.55 mm ²	#27	0.361	0.102 mm ²
#8	3.264	8.366 mm ²	#28	0.321	0.081 mm ²
#9	2.906	6.634 mm ²	#29	0.286	0.064 mm ²
#10	2.588	5.261 mm ²	#30	0.255	0.051 mm ²
#11	2.305	4.172 mm ²	#31	0.227	0.040 mm ²
#12	2.053	3.309 mm ²	#32	0.202	0.032 mm ²
#13	1.828	2.624 mm ²	#33	0.180	0.025 mm ²
#14	1.628	2.081 mm ²	#34	0.160	0.020 mm ²
#15	1.450	1.650 mm ²	#35	0.143	0.016 mm ²
#16	1.291	1.309 mm ²	#36	0.127	0.013 mm ²
#17	1.150	1.038 mm ²	#37	0.113	0.010 mm ²
#18	1.024	0.823 mm ²	#38	0.101	0.008 mm ²
#19	0.912	0.653 mm ²	#39	0.090	0.006 mm ²
#20	0.812	0.518 mm ²	#40	0.080	0.005 mm ²

Figura 3.56. Tabla de conductores AWG

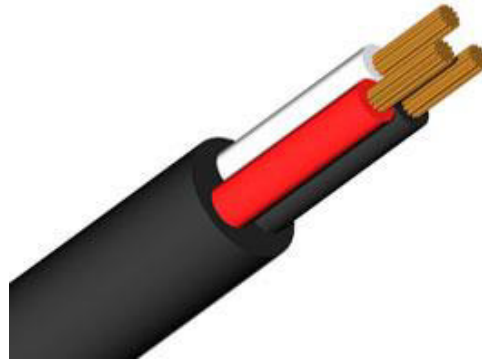


Figura 3.57. Cable 3x14AWG

Los cables de control e instrumentación se seleccionaron según recomendaciones del fabricante. Todas las conexiones de los módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas se las realizó con cable 1X20 AWG aguas arribas de las borneras de interconexión. La conexión desde las borneras hacia los sensores inductivos y hacia el sensor de nivel TDR, se la realizó con cable para intemperie marca IGUS modelo CF9.02.03.INI, 3X30 AWG, el cual es resistente al aceite y a rayos ultravioleta, además soporta temperaturas de entre -35°C a 100°C .



Figura 3.58. Cable 8x18AWG Apantallado.

La válvula reguladora proporcional dispone de 8 pines de conexión, para lo cual se utilizó un cable flexible apantallado para transmisión de señales y control de equipos industriales, protegido contra ruidos eléctricos marca SURCABLE modelo POS (VOV-K) 8X18 AWG, el cual también posee un conductor para puesta a tierra.

Para la conexión de los transductores de presión se utilizó cable para instrumentación apantallado marca SURCABLE modelo POS (VOV-K) 3X18AWG, el cual también posee un conductor de puesta a tierra.



Figura 3.59. SURCABLE (VOV-K) Apantallado.

3.3.5.2 Borneras de Conexión:

Se seleccionaron dos tipos de borneras que van a ser instaladas en los gabinetes:

- Bornera modular con fusible ST 5-HESILED 24 (5X20) 3036547 con led para 24VDC.



Figura 3.60. Bornera con Fusible Phoenix Contact.

- Bornera de carril de paso, conexión por tornillo AWG 26-10 UT-4 3044102.

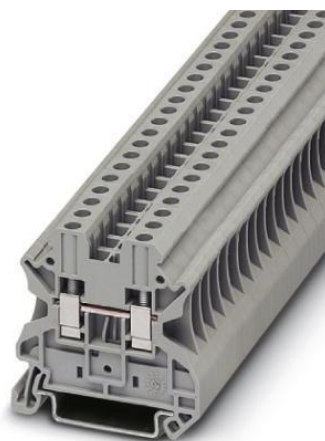


Figura 3.61. Bornera de Interconexión Phoenix Contact.

Así mismo se ocuparon los siguientes accesorios de borneras:

- Riel DIN 2000mm



Figura 3.62: Riel Din Phoenix Contact

- Tope final de montaje rápido para Riel DIN CLIP FIX 35 3022218.



Figura 3.63. Tope de Borneras Phoenix Contact.

- Puente Plug-In 20 posiciones



Figura 3.64. Puente de 20 Pines para Borneras Phoenix Contact.

- Marcador de regletas de bornes KLM-A 1004348.



Figura 3.65. Marcador de Regletas Phoenix Contact.

- Tira Zack para nomenclatura numérica 1051016.



Figura 3.66. Tira Zack para borneras Phoenix Contact.

3.3.5.3 Canaletas:

Para la organización y el orden del cableado dentro de los gabinetes se utilizó una canaleta marca PHOENIX CONTACT de 4X4cm.



Figura 3.67. Canaleta 4x4cm Phoenix Contact.

3.3.6 Distribución de Red Eléctrica:

La alimentación del primer subsistema, el mismo que está localizado en el acumulador de presión, se la tomó directamente de la caja de breakers de iluminación que se encuentra en el el MCC (Motor Control Center) del taladro. La fuente de alimentación es de 120VAC.

Para el segundo subsistema, el mismo que está localizado en la casa del perro, se tomó la alimentación desde la caja de breakers de iluminación de la cabría de perforación, con la diferencia que el voltaje de la fuente es de 240VAC, por lo cual las fuentes de 24VDC se las configuró para que admitan esta tensión de entrada.

El tercer subsistema, cuya localización será la oficina del supervisor de 24 horas del taladro, requiere una alimentación de 120VAC para suministrar la tensión a la fuente de 24VDC, por lo cual se la tomó directamente de un tomacorriente.

Los diagramas unifilares de las conexiones eléctricas de todos los subsistemas mencionados anteriormente se los realizaron con la ayuda del software AUTOCAD ELECTRICAL 2014, y lo mismos se encuentran en el Anexo 7 del proyecto.

3.3.7 Selección de Equipos de Instrumentación:

En base al análisis del sistema de sensado realizado en el apartado de generación de conceptos, se seleccionaron los siguientes equipos de instrumentación para obtener las medidas de: Presión, Proximidad y Nivel; con la finalidad de cumplir con los requerimientos del sistema a desarrollar. Cabe recalcar que se conservarán los indicadores de presión de, cierre de preventor anular, acumulador, manifold y aire comprimido que se encuentran instalados en el sistema. Los diagramas de conexiones de los sensores se muestran en el apartado Manual de Usuario del Anexo 9.

Presión:

- **Transductor de Presión de Cierre de Preventor Anular:**

Marca: NOSHOK.

Modelo: 621-2000-1-1-2-6.

Rango de Medida: 0PSI a 2000PSI.

Temperatura Amb.: 0°C a 80°C.

Precisión: $\pm 0.25\%$ (BFSL).

No linealidad: $\pm 0.25\%$ (BFSL).

Tiempo Respuesta: < 1ms.

No Repetitividad: $\leq 0.05\%$.

Histéresis: $\leq \pm 0.1\%$.

Protección: Nema 4X / IP 67 (Explotion Proof Class I Div 1).

Alimentación: 10 a 30VDC.

Señal Salida: 4 a 20Ma (2 cables), 1 a 5 VDC (3 cables).

Conexión Mecánica: 1/2" NPT.

Vibración: 20G.



Figura 3.68. Transductor de Presión NOSHOK 2000 PSI

- **Transductor de Presión del Acumulador, Manifold y Unidad de**

Prueba:

Marca: SICK.

Modelo: PBT-RP5K0SU1SSFALA0Z.

Rango de Medida: 0PSI a 5000PSI.

Temperatura Amb.: 0°C a 80°C.

Precisión: $\leq \pm 1\%$ (del Span).

No linealidad: $\pm 0.5\%$ (BFSL).

Tiempo Respuesta: $< 4\text{ms}$.

No Repetitividad: $\leq 0.1\%$ (del Span).

Histéresis: $\pm 0.16\%$.

Protección: IP 67 (Explotion Proof Class I Div 1).

Alimentación: 8 a 30VDC.

Señal Salida: 4 a 20mA.

Conexión Mecánica: $\frac{1}{4}$ " NPT

Vibración: 2G.



Figura 3.69. Transductor de Presión SICK 5000PSI

- **Transductor de Presión de Aire Comprimido:**

Marca: NOSHOK.

Modelo: 621-300-1-1-2-6.

Rango de Medida: 0PSI a 300PSI.

Temperatura Amb.: 0°C a 80°C.

Precisión: $\pm 0.25\%$ (BFSL).

No linealidad: $\pm 0.25\%$ (BFSL).

Tiempo Respuesta: < 1 ms.

No Repetitividad: $\leq 0.05\%$.

Histéresis: $\leq \pm 0.1\%$.

Protección: Nema 4X / IP 67 (Explosion Proof Class I Div 1).

Alimentación: 10 a 30VDC.

Señal Salida: 4 a 20Ma (2 cables), 1 a 5 VDC (3 cables).

Conexión Mecánica: $\frac{1}{2}$ " NPT.

Vibración: 20G.



Figura 3.70. Transductor de Presión NOSHOK 300 PSI.

Proximidad:

- **Sensores Inductivos:**

Marca: SICK.

Modelo: IME12-02BPSZCOS.

Cantidad: 17.

Rango Sensado: 2mm.

Temperatura Amb.: -20°C a 65°C

Alimentación: 10 a 30VDC.

Histéresis: 5 al 15%.

Repetitividad: ≤ 2%.

Protección: IP67

Vibración: 30G.

Salida Switch: NPN /PNP (NA)



Figura 3.71. Sensores Inductivos SICK IME12.

Nivel:

- **Sensor de nivel TDR(Ondas Guiadas):**

Marca: SICK.

Modelo: LFP2000-A4NMB.

Protección: IP67.

Long. Sonda: 20000mm

Temp. Proceso: -20°C a 100°C.

Precisión: ± 5mm.

Resolución: < 2mm.

Repetitividad: ≤ 2mm.

Tiempo Respuesta: < 400ms.

Conexión Mecánica: G ¾" A.

Alimentación: 12 a 30VDC.

Señal Salida: 4 a 20mA, Salida transistor PNP, 0 a 10V.

Histéresis: Min 2mm.

Constante Dieléctrica: ≥ 1.8 con tubo coaxial, ≥ 5 con mono sonda.



Figura 3.72. Sensor de Nivel TDR SICK

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos/equipos que operan en conjunto para lograr un objetivo de control. Este sistema es imprescindible para el desarrollo del proyecto, es por ello que su diseño y configuración deben ser exactos y tomando en cuenta todos los parámetros que afectan directa e indirectamente al sistema y a cada componente.

El sistema de control a diseñar debe lograr los siguientes objetivos:

1. Ser estable.
2. Ser robusto frente a perturbaciones.
3. Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.
4. Ser configurable y flexible.

El control de este sistema está basado en un PLC, con el cual se ejecutará un programa en base a las necesidades de funcionamiento y comportamiento del mismo. Todas las señales de sensores y actuadores serán controladas por este dispositivo y también recibirá órdenes de instrucciones desde sus estaciones remotas. Para el caso de la válvula proporcional, el controlador realizará un control en lazo cerrado para regular la presión del preventor anular utilizando la retroalimentación de un sensor de presión ubicado en esa línea.

3.4.1 Parámetros de Control

Los parámetros en los que se basa el sistema de control fueron seleccionados en base a la importancia de la ejecución de procesos operativos de perforación, es decir, se realizó el análisis y estudio de las operaciones en las que se involucra el sistema Acumulador de Presión y el BOP para determinar qué parámetros gobernarán el control.

Para empezar con el análisis tenemos como primera operación la manipulación de cada uno de los RAMS del BOP. En esta operación incluyen movimientos de control remoto de accionamientos de válvulas; por lo que los parámetros de control son las posiciones de cada una de las válvulas dentro del Acumulador de Presión. Se tienen 3 posiciones por cada válvula, las mismas que deberán ser monitoreadas en tiempo real para conocimiento del operador.

Por otro lado se toma como parámetro de control a las presiones que maneja el sistema acumulador. Son 4 presiones: presión del Acumulador, presión del Manifold, presión del Preventor Anular y presión de Aire comprimido, que deben ser monitoreadas en tiempo real para garantizar el buen funcionamiento durante el cierre o apertura de algún preventor. Además el parámetro del nivel de aceite en el reservorio del acumulador el mismo que ante un nivel bajo o alto de aceite hidráulico alerte la falla y permita corregir.

Por último, existe un parámetro de control que es la presión del preventor anular. Esta presión será regulada mediante la válvula proporcional, dependiendo la operación, el estado de la goma del preventor anular y caídas de presión en el sistema. Es decir se debe realizar un control automático para que la presión se mantenga en el setpoint ingresado.

3.4.2 Selección de Equipos

Como equipo principal en el sistema de control se usa un PLC. El PLC que se ajusta a nuestro proyecto encaja dentro de la Familia SIMATIC S7. Pese a la importancia del sistema, no se necesita un PLC para aplicaciones grandes, es decir, que lo que se busca es que nuestro PLC sea robusto y flexible, mas no un PLC de grandes capacidades en cuanto a memoria y características extras. Por ello se escogió el PLC S7-1200, el mismo que es el sucesor del S7-200. Esta nueva versión de Siemens trae consigo algunas mejoras en comparación del S7-200 que a continuación se describen.

- **Mayor extensibilidad del sistema**

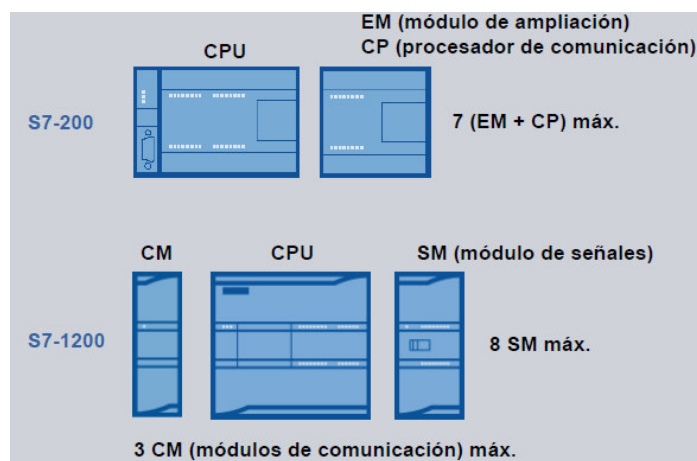


Figura 3.73. Extensibilidad PLC S7-1200.

- **E/S de la CPU y E/S de Signal Board (SB):**

La Signal Board amplía las E/S de la CPU S7-1200 sin aumentar el tamaño que ocupa la CPU.

	S7-200 CPU 224XP	S7-1200 CPU 1214C
DI Digital Input	14	14+ (2 on SB)
DO Digital Output	10	10+ (2 on SB)
AI Analog Input	2	2
AO Analog Output	1	1 on SB
PWM / PTO		
Pulse Width Modulation	2	2
Pulse Train Output		
HSC High Speed Counter	6	6
PID Closed loop controller	8	16




Figura 3.74. Ampliación con Signal Boards, PLC S7-1200.

- **Asignación de direcciones E/S:**

- S7-200: Las direcciones de E/S son fijadas automáticamente por el sistema operativo de la CPU según la posición del módulo.
- S7-1200: La asignación predeterminada de las E/S se puede modificar en las propiedades de la configuración del dispositivo.

- **Comunicación:**

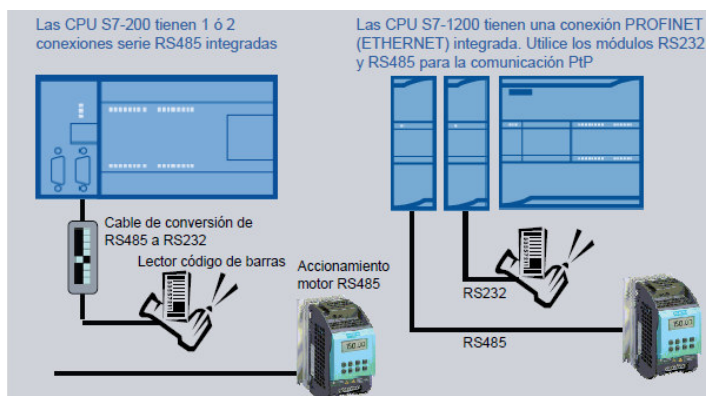


Figura 3.75. Ventajas de comunicación, PLC S7-1200

- **TIA Portal (Totally Integrated Automation):**

El TIA Portal ofrece las herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como PLCs y dispositivos HMI. Como componente del TIA Portal, el STEP 7 ofrece dos lenguajes de programación (KOP y FUP). El TIA Portal también ofrece herramientas para crear y configurar los dispositivos HMI del proyecto. Por otro lado, los PLC S7-200 utilizan STEP 7-Micro/WIN para programación de bloques; y el TD wizard, TD Keypad Designer y WinCC Flexible Micro para configurar los paneles HMI. (SIEMENS, TIA Portal Step 7 Basic V12, 2012)



Figura 3.76. Programación global, PLC S7-1200.

- **Tamaño de la memoria de trabajo de la CPU:**

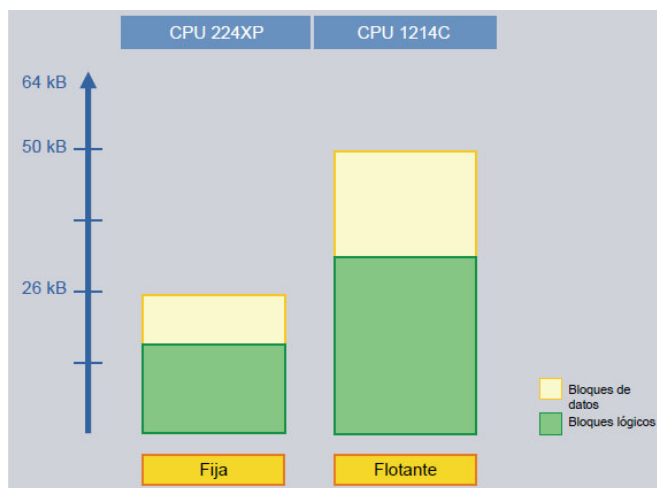


Figura 3.77. Tamaño de memoria, PLC S7-1200.

- **Objetos de program de STEP 7 en la memoria de la CPU:**

Los nombres de las variables y los comentarios del programa se almacenan en la memoria de la CPU S7-1200 y están disponibles online. En el caso de STEP 7-Micro/WIN y S7-200, es necesario que los archivos de proyecto originales con los nombres de las variables y comentarios coincidan con el programa online. (SIEMENS, TIA Portal Step 7 Basic V12, 2012)



Figura 3.78. Manejo de variables PLC S7-1200.

- **Memory Card – tamaño de memoria:**

Se puede crear una tarjeta “Programa” que funcione como memoria de la CPU. Por otro lado, también se puede crear una tarjeta “Transferencia” para que se pueda copiar el proyecto a varias CPUs.

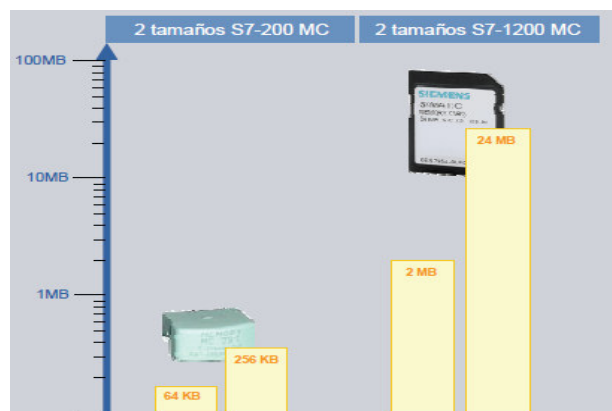


Figura 3.79: Memory card, PLC S7-1200.

3.4.2.1 PLC S7-1200

Este controlador modular de la familia SIMATIC S7 tiene disponibilidad para integrar los siguientes módulos y funciones:

- Controlador con interfaz PROFINET integrada para la comunicación entre la programadora, el HMI u otros controladores SIMATIC.
- Potentes funciones tecnológicas integradas, como contaje, medición, regulación y control de movimiento.
- Entradas/salidas analógicas y digitales integradas.
- Signal Boards para enchufe directo sobre el controlador.
- Signal Modules para ampliar los canales de E/S de los controladores.
- Communication Modules para ampliar las interfaces de comunicación.

Ventajas:

- Obtener el máximo efecto de automatización al mínimo coste.
- Montaje, programación y uso particularmente fáciles.
- De alta escala de integración, requiere poco espacio, potente.
- Adecuado para aplicaciones de automatización pequeñas y medias.
- Aplicable aislado, interconectado en red o descentralizado.

Características mecánicas:

- Carcasa de plástico robusta y compacta.

- Elementos de conexión y mando fácilmente accesibles, protegidos por tapas frontales.
- Bornes desmontables.

Características de equipamiento:

- Normas internacionales: El SIMATIC S7-1200 satisface las normas VDE, UL, CSA y FM (clase I, categoría 2; grupos de clase de peligro A, B, C y D, T4A) y ha sido certificado conforme la ISO 9001.

Interfaz PROFINET:

La interfaz PROFINET integrada permite la comunicación con:

- Programadora (PC).
- Dispositivos HMI.
- Otros controladores SIMATIC.

(SIEMENS S. , 2009)

3.4.2.1 Selección de la CPU y módulos:

La CPU escogida para el proyecto es la CPU 1214C DC/DC/DC. Entre las características más relevantes, y por las cuales se escogió esta CPU, están las siguientes:

Tabla 3.30. Características CPU 1214C.

CARACTERÍSTICA	CPU 1214C
Tensión de Alimentación	24 VDC
Entradas Digitales Integradas	14
Salidas Digitales Integradas	10
Entradas Análogas Integradas	2
Número de Entradas disponibles simultáneamente	14
Número de módulos de ampliación	8
Memoria para datos de usuario	50 Kbytes
Memoria para trabajo	50 Kbytes
Memoria de Carga	2 Mb
Memoria expansible (Siemens MC)	24 Mb
Corriente suministrada al bus DC	1600 mA
Tiempo de ejecución booleano	0,1 us

Se seleccionó este CPU debido a que su tensión de alimentación, entradas y salidas digitales son de 24 VDC, lo cual se ajusta a nuestro sistema donde únicamente conectaremos dispositivos de esta tensión.

Selección de Módulos de entradas y salidas para la CPU 1214C:

Las necesidades del proyecto, en cuanto a cantidad de sensores y actuadores se reflejan en la siguiente tabla, de donde se estimará el número de módulos de expansión, tanto de entradas como de salidas, que se necesitan conectar al CPU del PLC seleccionado.

Tabla 3.31. Necesidad de número de entradas y salidas.

TIPO DE SENSORES	TIPO DE VARIABLE	CANTIDAD
Sensores inductivos	Entradas Digitales	17
Sensores de Presión	Entradas Análogas	5
Sensores de Nivel	Entrada Análoga	1
TIPO DE ACTUADORES	TIPO DE VARIABLE	CANTIDAD
Electroválvulas (abrir)	Salidas Digitales	6
Electroválvulas (cerrar)	Salidas Digitales	6
Válvula reguladora proporcional	Salida Análoga	1

En la tabla 3.32 se realiza la comparación de entradas y salidas disponibles del CPU y del proyecto con el fin de conocer el número de entradas y salidas faltantes.

Tabla 3.32. Entradas y salidas disponibles integradas en la CPU

TIPO DE VARIABLES	TOTAL NECESARIAS	TOTAL DISPONIBLES EN CPU	TOTAL FALTANTES
Entradas Digitales	17	14	3
Entradas Análogas	6	2	4
Salidas Digitales	12	10	2
Salidas Análogas	1	0	1

En base a estas necesidades se optó por seleccionar los módulos de entradas y salidas que a continuación se listan.

Módulo de Entradas Digitales SM1221:



Figura 3.80. Módulo de entradas digitales SM1221.

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Entrada máxima de corriente por canal: 4mA

- Número de entradas: 16
- Tipo de entrada: Voltaje DC (24 V)
- Grado de protección IP20
- Temperatura de trabajo: -40 a 70°C

Módulo Entradas Análogas SM1231:



Figura 3.81. Módulo de entradas análogas SM1231

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Consumo de corriente: 45mA
- Número de entradas análogas: 4
- Tipo entrada: Voltaje (+-10V, 5V, 2.5V) / Corriente (0-20 mA)
- Resolución: 13 bits
- Grado de protección IP20
- Temperatura de trabajo: -40 a 70°C

Módulo Salidas Digitales SM1222:

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Tipo de salida: Relé
- Salida máxima de corriente: 2 A
- Número de salidas: 16
- Grado de protección IP20
- Temperatura de trabajo: -40 a 70°C



Figura 3.82. Módulo de salidas digitales SM1222.

Signal Board Salida Análoga SB1232



Figura 3.83. Signal Board SB1232.

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Corriente de entrada: 15mA
- Número de salidas: 16
- Resolución: 12 bits
- Grado de protección IP20
- Temperatura de trabajo: -40 a 70°C

En la siguiente tabla se representan las entradas y salidas libres que quedan en los módulos de expansión. Los módulos fueron sobredimensionados ya que se tiene pensado incluir algunas funciones más al sistema como, alarmas, luces indicadoras y electroválvulas de control de líneas de presión.

Tabla 3.33. Entradas y salidas libres disponibles en PLC.

MÓDULO	VARIABLES INCLUIDAS	VARIABLES SOBRANTES
Módulo de Entradas Digitales SM1221	16	13
Módulo Entradas Análogas SM1231	4	0
Módulo Salidas Digitales SM1222	8	10
Signal Board Salida Análoga SB1232	1	0

3.4.2.2 Selección de Periferia Descentralizada:

En la industria, ocurre con frecuencia que se desea llevar, desde o hacia una localización alejada al controlador, señales de entradas o salidas; y esto exigiría grandes extensiones de cables, con los problemas que traen los mismos, problemas de espacio, calidad de señal y costos elevados de

instalación. Para esto se han diseñado los módulos de periferia descentralizada, que brindan la posibilidad de enlazar las señales ubicadas lejos de un PLC hacia este por medio de redes de comunicación.

Para este sistema se necesita un módulo de periferia descentralizado, puesto que uno de los objetivos principales del proyecto es eliminar las mangueras de conexión hacia los paneles remotos del Acumulador de Presión; permitiendo de esta manera colocar un panel remoto eléctrico fijo en la Casa del Perro que reemplazará al existente.

El equipo seleccionado es un módulo ET200S (Figura 3.84) de la marca Siemens, con interfaz PROFINET, la cual permitirá la comunicación con el PLC.



Figura 3.84. Periferia descentralizada, ET200S.

El módulo de interfaz es el IM151-3 PN que es el encargado de conectar por medio de 2 puertos, la periferia con PROFINET y preparar los datos de los módulos electrónicos. Posee una cantidad máxima de

direcciones de 256 bytes de datos y pueden operarse un máximo de 63 módulos de expansión E/S. Este módulo es configurable con el software TIA Portal, incluyéndolo en el mismo proyecto en el que se programa el PLC y el HMI. (SIEMENS, Periferia descentralizada ET200S, Módulo interfaz IM151-3 PN, 2010)

Este módulo de interfaz necesita de un módulo de potencia (Power Module PM-E DC24) ubicado a continuación de este (Figura 3.85). Este módulo vigila la tensión de alimentación de todos los módulos electrónicos.



Figura 3.85. Módulo de Potencia PM-E DC24.

Finalmente se pueden conectar módulos de entradas y salidas conforme a nuestras necesidades. Al igual que para la CPU del PLC, se revisará el número de entradas y salidas, y su tipo para seleccionar los módulos electrónicos de periferia. En la siguiente tabla se muestra el tipo y número de dispositivos a conectarse.

Tabla 3.34. Necesidad de entradas y salidas para periferia.

TIPO DE DISPOSITIVO	TIPO DE VARIABLE	CANTIDAD
Luces Piloto	Salidas Digitales	15
Pulsadores	Entradas Análogas	14
Relé de Alarmas	Salida Digital	1

Conociendo el número de entradas y salidas digitales que se necesitan, procedemos a seleccionar los módulos electrónicos que se conectarán a nuestro dispositivo de periferia descentralizada.

Módulo electrónico digital de Entradas Digitales 8DI DC24V



Figura 3.86. Módulo electrónico digital Entradas y Salidas 8DI/DO DC 24V

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Adecuado para conexión de sensores de 2 hilos
- Número de entradas: 8
- Protección contra polaridad inversa

- Led indicador de estado por canal

Módulo electrónico digital de Salidas Digitales 8DO DC24V

Entre sus características más importantes están las siguientes:

- Alimentación 24 VDC
- Adecuado para electroválvulas, contactores, relés y luces de señalización
- Número de salidas: 8
- Intensidad de salida: 0.5 A por salida, Intensidad total 4 A
- Protección contra cortocircuitos
- Led indicador de estado por canal

En la siguiente tabla se representan las entradas y salidas libres que quedan en los módulos electrónicos de la periferia descentralizada. Los módulos fueron sobredimensionados ya que se tiene pensado incluir algunas funciones más al sistema como, alarmas, luces indicadoras y relés de conmutación.

Tabla 3.35. Entradas y salidas libres disponibles en la periferia.

MÓDULO	VARIABLES INCLUIDAS	VARIABLES SOBRANTES
2 x Módulo electrónico digital de Entradas Digitales	16	1
3 x Módulo electrónico digital de Salidas Digitales	24	8

3.4.3 Automatización

3.4.3.1 Análisis de variables del sistema

Antes de iniciar con la programación del PLC es importante hacer un análisis de las variables que van a formar parte del sistema, para de esta manera obtener una mejor identificación y organización de cada proceso. La declaración de variables es recomendable hacerla debido a que garantiza el entendimiento de un programa y la identificación rápida en caso de modificaciones de bloques.

▼ "SENSOR ANULAR ABIERTO"	%I0.0
"ABRIR VALV ANULAR"	%Q12.0
"BOTON ABRIR ANULAR"	%M0.0
"CP BOTON ABRIR ANULAR"	%M2.1

Figura 3.87. Declaración de variables

Además la inclusión de una descripción por cada línea del bloque de programación nos ayudará a recordar para qué sirve cada una de ellas. En esta descripción se incluye un resumen breve de la función programada y su resultado.

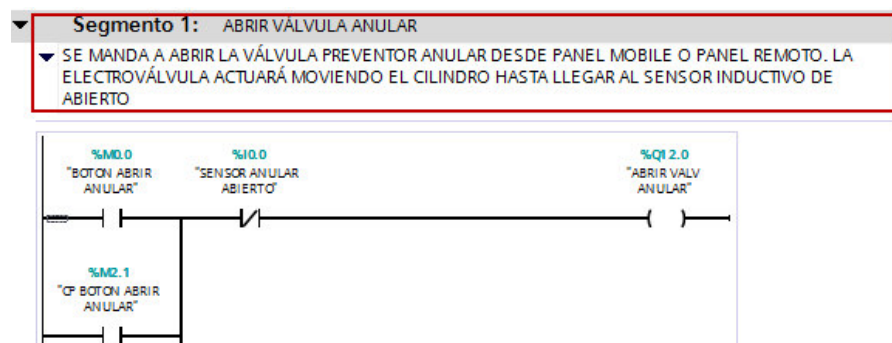


Figura 3.88. Descripción de bloques de programación PLC

Las variables que se van a ocupar en el diseño de este sistema se han agrupado según su función. Es así que tenemos las siguientes variables presentadas en las siguientes tablas.

Tabla 3.36. Variables de sensores inductivos.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
SENSORES INDUCTIVOS DE PRESENCIA	Estos sensores están ubicados 3 en cada válvula del Acumulador de Presión y actúan detectando en qué posición se encuentra cada válvula (Abierto, Cerrado o Neutro).	SENSOR ANULAR ABIERTO	%I0.0
		SENSOR ANULAR CERRADO	%I0.1
		SENSOR SUPERIOR ABIERTO	%I0.3
		SENSOR SUPERIOR CERRADO	%I0.4
		SENSOR INFERIOR ABIERTO	%I1.1
		SENSOR INFERIOR CERRADO	%I1.2
		SENSOR CIEGO ABIERTO	%I0.6
		SENSOR CIEGO CERRADO	%I0.7
		SENSOR HCR ABIERTO	%I2.0
		SENSOR HCR CERRADO	%I2.1
		SENSOR ANULAR NEUTRO	%I0.2
		SENSOR SUPERIOR NEUTRO	%I0.5
		SENSOR INFERIOR NEUTRO	%I1.3
		SENSOR CIEGO NEUTRO	%I1.0
		SENSOR HCR NEUTRO	%I2.2
		SENSOR BY PASS 1500 PSI	%I2.3
SENSOR BY PASS 3000 PSI	%I2.4		

Tabla 3.37. Variables de control de electroválvulas

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
ELECTRO-VÁLVULAS NEUMÁTICAS DE CONTROL	Estas variables se utilizarán para activar o desactivar las electroválvulas que permitan operar el Acumulador de Presión.	ABRIR VALV ANULAR	%Q2.0
		CERRAR VALV ANULAR	%Q2.1
		ABRIR VALV RAM SUPERIOR	%Q2.2
		CERRAR VALV RAM SUPERIOR	%Q2.3
		ABRIR VALV RAM INFERIOR	%Q2.6
		CERRAR VALV RAM INFERIOR	%Q2.7
		ABRIR VALV RAM CIEGO	%Q2.4
		CERRAR VALV RAM CIEGO	%Q2.5
		ABRIR VALV HCR	%Q3.0
		CERRAR VALV HCR	%Q3.1
		ABRIR VALV BY PASS	%Q3.2
		CERRAR VALV BY PASS	%Q3.3

Tabla 3.38. Variables de botones del panel móvil.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
BOTONES DEL PANEL MÓVIL HMI	Estas variables se utilizarán como memorias internas que almacenan bits de activación o desactivación desde el mando (Panel Móvil). Cada variable se asocia a un BOTÓN en la programación HMI que permite dar la orden de Abrir, Cerrar o Neutro a cada válvula del Acumulador.	BT ABRIR ANULAR	%M0.0
		BT CERRAR ANULAR	%M0.1
		BT NEUTRO ANULAR	%M0.2
		BT ABRIR SUPERIOR	%M0.3
		BT CERRAR SUPERIOR	%M0.4
		BT NEUTRO SUPERIOR	%M0.5
		BT ABRIR CIEGO	%M0.6
		BT CERRAR CIEGO	%M0.7
		BT NEUTRO CIEGO	%M1.0
		BT ABRIR INFERIOR	%M1.1
		BT CERRAR INFERIOR	%M1.2
		BT NEUTRO INFERIOR	%M1.3
		BT ABRIR HCR	%M1.4
		BT CERRAR HCR	%M1.5
		BT NEUTRO HCR	%M1.6
BT 1500 BY PASS	%M1.7		
BT 3000 BY PASS	%M2.0		

Tabla 3.39. Variables de botones de la consola remota eléctrica.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
BOTONES DE LA CONSOLA REMOTA UBICADA EN LA CASA DEL PERRO	Estas variables se usan como direcciones internas, para la consola de periferia ET200S, que almacenan bits de activación o desactivación. Cada variable se asocia a un PULSADOR (Físico) en la consola remota de la casa del perro, que permite dar la orden de Abrir, Cerrar o Neutro a cada válvula del Acumulador. Estas variables se transmiten por la red PROFINET hacia el PLC.	CP BOTON ABRIR ANULAR	%I3.0
		CP BOTON CERRAR ANULAR	%I3.1
		CP BOTON ABRIR SUPERIOR	%I3.2
		CP BOTON CERRAR SUPERIOR	%I3.3
		CP BOTON ABRIR INFERIOR	%I3.4
		CP BOTON CERRAR INFERIOR	%I3.5
		CP BOTON ABRIR CIEGO	%I3.6
		CP BOTON CERRAR CIEGO	%I3.7
		CP BOTON ABRIR HCR	%I4.0
		CP BOTON CERRAR HCR	%I4.1
		CP BOTON DE PERMISO	%I4.2
		CP ALARMA INCENDIO	%I4.3
		CP ALARMA ARREMETIDA	%I4.4
		CP ALARMA DERRAME	%I4.5
CP ALARMA PRIMEROS AUXILIOS	%I4.6		

Tabla 3.40. Variables de luces piloto de la consola remota eléctrica.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
LUCES PILOTO DE LA CONSOLA REMOTA UBICADA EN LA CASA DEL PERRO	Estas variables se usan como direcciones internas, para la consola de periferia ET200S, que almacenan bits de activación o desactivación. Cada variable se asocia a una LUZ PILOTO (Físico) en la consola remota de la casa del perro, que permite visualizar el estado Abrir, Cerrar o Neutro de cada válvula del Acumulador. Estas variables se transmiten por la red PROFINET hacia el PLC.	CP FOCO ANULAR ABIERTO	%Q4.0
		CP FOCO ANULAR CERRADO	%Q4.1
		CP FOCO ANULAR NEUTRO	%Q4.2
		CP FOCO SUPERIOR ABIERTO	%Q4.3
		CP FOCO SUPERIOR CERRADO	%Q4.4
		CP FOCO SUPERIOR NEUTRO	%Q4.5
		CP FOCO INFERIOR ABIERTO	%Q4.6
		CP FOCO INFERIOR CERRADO	%Q4.7
		CP FOCO INFERIOR NEUTRO	%Q5.0
		CP FOCO CIEGO ABIERTO	%Q5.1
		CP FOCO CIEGO CERRADO	%Q5.2
		CP FOCO CIEGO NEUTRO	%Q5.3
		CP FOCO HCR ABIERTO	%Q5.4
		CP FOCO HCR CERRADO	%Q5.5
CP FOCO HCR NEUTRO	%Q5.6		

Tabla 3.41. Variables de señales analógicas.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
VARIABLES ANÁLOGAS DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN	Estas variables se utilizan para leer desde cada sensor de presión el valor en tiempo real; y escribir el valor de presión en la válvula reguladora.	PRESION ACUMULADOR	%IW9
		PRESION MANIFOLD	%IW11
		PRESION ANULAR	%IW13
		PRESION AIRE COMPRIMIDO	%IW5
		NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO	%IW7
		PRESION UNIDAD DE PRUEBA	%IW15
		VALVULA REGULADORA	%QW7

Tabla 3.42. Variables de memoria de normalizado y escalado de señales.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
NORMALIZADO Y ESCALADO DE PRESIONES	Estas variables se usan para transformar las lecturas de los sensores (4 a 20mA) en valores digitales para el HMI.	MN SENSOR PRESION ANULAR	%MD40
		MS PRESION ANULAR	%MD44
		MN SENSOR PRESION MANIFOLD	%MD48
		MS PRESION MANIFOLD	%MD52
		MN SENSOR PRESION ACUMULADOR	%MD56
		MS PRESION ACUMULADOR	%MD64
		MS PRESION UNIDAD DE PRUEBA	%MD27
		MS NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO	%MD35
		MN PRESION AIRE COMPRIMIDO	%MD76
		MN PRESION UNIDAD DE PRUEBA	%MD80
		MN NIVEL ACEITE HIDRAULICO	%MD84
MS PRESION AIRE COMPRIMIDO	%MD88		

Tabla 3.43. Variables de control de la válvula proporcional.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES	DIRECCIÓN
SET DE PRESIÓN ANULAR	Estas variables de memoria se utilizan para leer y escribir el valor en el regulador de presión.	SET POINT PRESION ANULAR	%MD72
		BOTON SET PRESION ANULAR	%M9.0
		M SET POINT NORM	%MD10
		MN SET POINT PRESION ANULAR	%MD15

Tabla 3.44. Variables para avisos del HMI.

GRUPO	DESCRIPCIÓN	VARIABLES
VARIABLES INTERNAS PARA AVISOS DE HMI	Estas variables son internas de la programación del HMI y se usan para almacenar los avisos dentro del HMI con el fin de mantener un historial de activaciones.	AVISO ANULAR CERRADO
		AVISO ANULAR ABIERTO
		AVISO ANULAR NEUTRO
		AVISO SUPERIOR ABIERTO
		AVISO SUPERIOR CERRADO
		AVISO SUPERIOR NEUTRO
		AVISO CIEGO ABIERTO
		AVISO CIEGO CERRADO
		AVISO CIEGO NEUTRO
		AVISO INFERIOR ABIERTO
		AVISO INFERIOR CERRADO
		AVISO INFERIOR NEUTRO
		AVISO HCR ABIERTO
		AVISO HCR CERRADO
		AVISO HCR NEUTRO
AVISO BY PASS 1500		
AVISO BY PASS 3000		

Cabe recalcar que las variables que se declaren para el PLC son compartidas con la programación del HMI y en modo de *Direccionamiento simbólico* de bloques de datos con acceso estándar, esto quiere decir que, al direccionar simbólicamente un bloque de datos con acceso estándar se asigna de modo fijo la dirección de un elemento del bloque de datos y el sistema selecciona automáticamente el tipo de datos válido para la variable HMI. Si se modifica la dirección de un elemento en el bloque de datos, el cambio se aplica automáticamente en la variable HMI. Para ello no es necesario compilar el bloque de datos conectado o bien el proyecto de WinCC. (SIEMENS, WinCC V12, Léame WinCC Manual de Sistema, 2011)

El caso contrario es el *Direccionamiento absoluto* de bloques, donde si dado el caso, se ha conectado una variable HMI con una variable PLC y la

dirección de la variable PLC cambia, hay que volver a compilar el programa de control para que se actualice la nueva dirección en WinCC.

3.4.3.2 Programación PLC

Creación del proyecto:

Para la fase de programación del PLC se utilizará el software Step7 Basic v12 del TIA Portal. Se inicia creando un nuevo proyecto, el mismo que gracias a la interfaz nueva de este software es muy intuitivo, e incluye una guía paso a paso para la creación del proyecto. Se pueden visualizar los pasos a seguir en la figura 3.89:

1. Configurar un dispositivo
2. Escribir programa PLC
3. Configurar una imagen HMI.

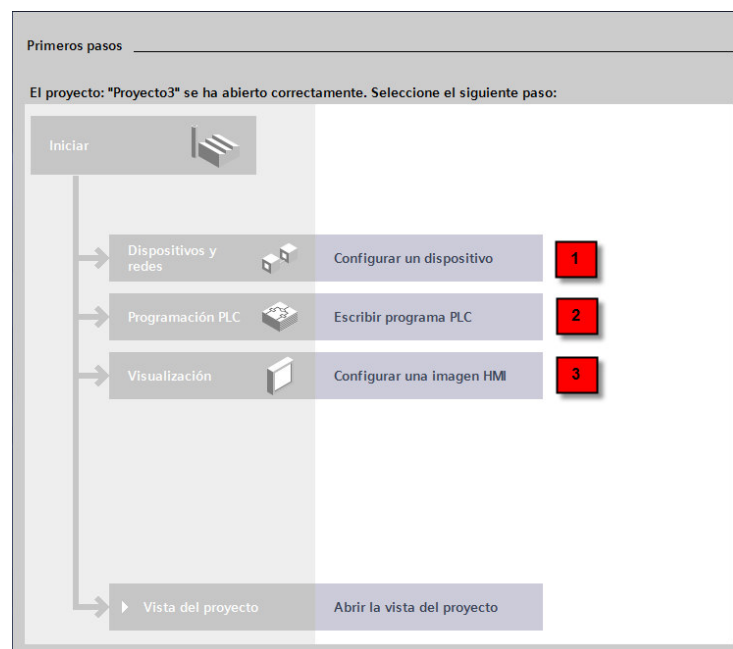


Figura 3.89. Pasos para la creación de un proyecto.

1. Configurar un dispositivo

El primer paso es configurar los dispositivos a utilizar en el proyecto. Este software cuenta con una lista integrada en su base de datos de PLCs, HMI y Sistemas PC, de donde se puede seleccionar como se muestra en la figura 3.90. Para este caso se escoge el PLC de la familia SIMATIC S7-1200 y CPU 1214C DC/DC/DC. Una vez realizada esta selección el software TIA Portal incluye todas sus características para la programación, es decir se configura automáticamente el número de E/S, los slots para módulos de expansión incluidos, puertos de comunicación y una imagen.

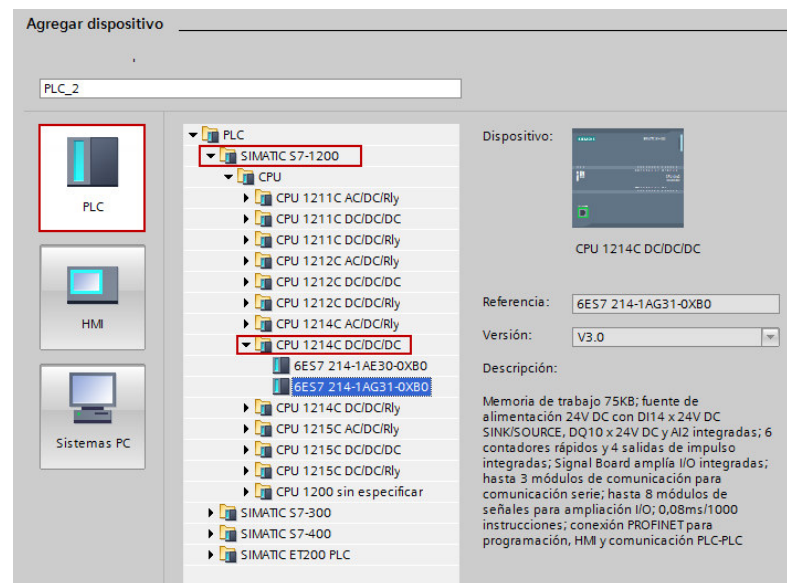


Figura 3.90. Selección de PLC TIA Portal.

De la misma manera seleccionamos el dispositivo HMI en el que se va a trabajar la programación visual. Para este caso se seleccionó el Panel de la familia SIMATIC Mobile Panel, de la serie 270, modelo Mobile Panel 277

8" IWLAN V2. Este modelo de panel incluye la tecnología IWLAN, 18 teclas de función y 1 puerto USB y una resolución de 640 X 480 píxeles.

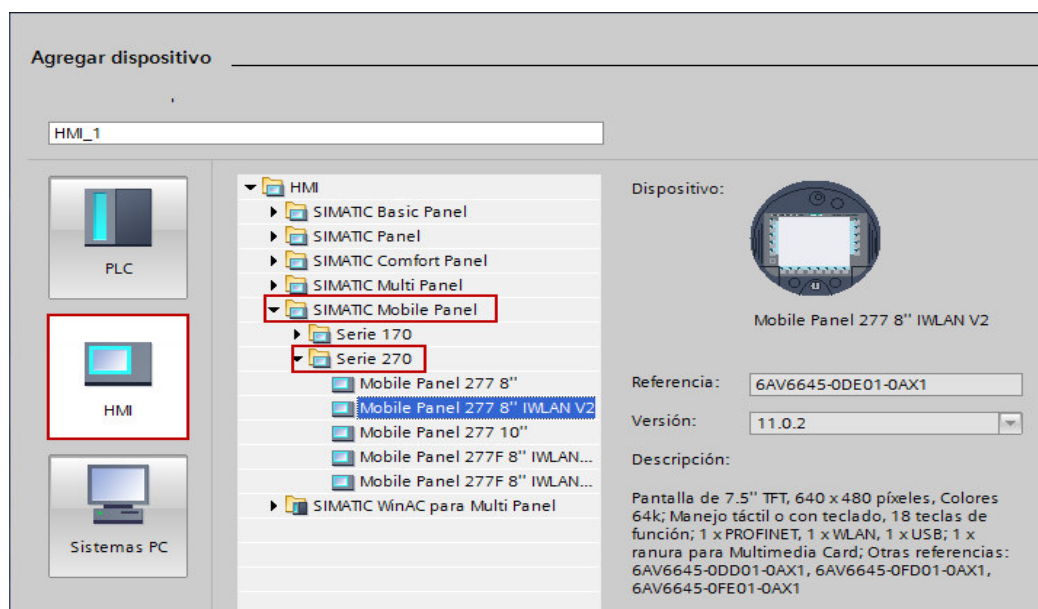


Figura 3.91. Selección dispositivo HMI.

2. Escribir programa PLC

En el segundo paso se realizará la programación de los bloques KOP que contendrán la automatización de los procesos, la lectura y traducción de señales análogas y el sistema de control para regulación automática. Para esto es importante haber hecho el análisis de variables a utilizar, detallado anteriormente, y declararlas en el programa como se muestra en la Figura 3.92.

Los diagramas de flujo para las secuencias de activación, en las que se basa la programación de apertura y cierre de válvulas, se indican en el Anexo 5.

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visible..	Accesi..
1	SENSOR ANULAR ABIERTO	Tabla de variabl...	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SENSOR ANULAR CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	SENSOR SUPERIOR ABIERTO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SENSOR SUPERIOR CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	SENSOR INFERIOR ABIERTO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SENSOR INFERIOR CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	SENSOR CIEGO ABIERTO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	SENSOR CIEGO CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	SENSOR HCR ABIERTO	Tabla de variables e..	Bool	%I8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	SENSOR HCR CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	ABRIR VALV ANULAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	CERRAR VALV ANULAR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	ABRIR VALV RAM SUPERIOR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	CERRAR VALV RAM SUPERIOR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	ABRIR VALV RAM INFERIOR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	CERRAR VALV RAM INFERIOR	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	ABRIR VALV RAM CIEGO	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	CERRAR VALV RAM CIEGO	Tabla de variables e..	Bool	%Q12.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	SENSOR ANULAR NEUTRO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	SENSOR SUPERIOR NEUTRO	Tabla de variables e..	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	SENSOR INFERIOR NEUTRO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	SENSOR CIEGO NEUTRO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	SENSOR HCR NEUTRO	Tabla de variables e..	Bool	%I8.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	ACEITE BAJO	Tabla de variables e..	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	SENSOR BY PASS ABIERTO	Tabla de variables e..	Bool	%I8.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	SENSOR BY PASS CERRADO	Tabla de variables e..	Bool	%I8.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.92. Tabla de variables.

A continuación se detallan los bloques de programación con su respectiva descripción:

- Bloques de programación de accionamiento de válvulas de apertura, cierre y neutro de los RAMs de la Unidad BOP:

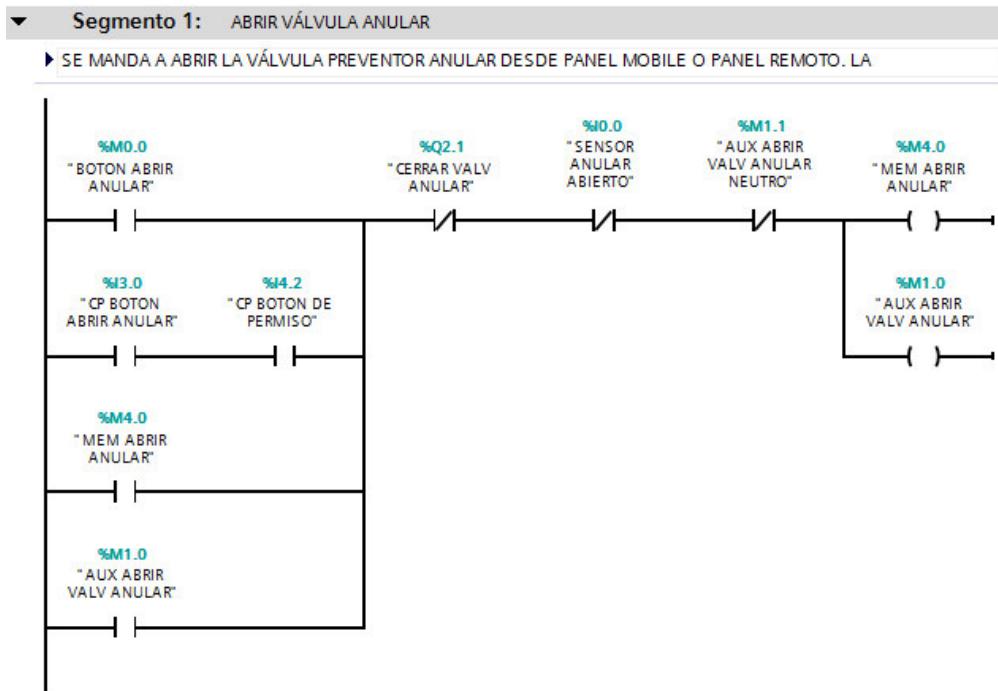


Figura 3.93. Programación de bloques apertura de válvulas.

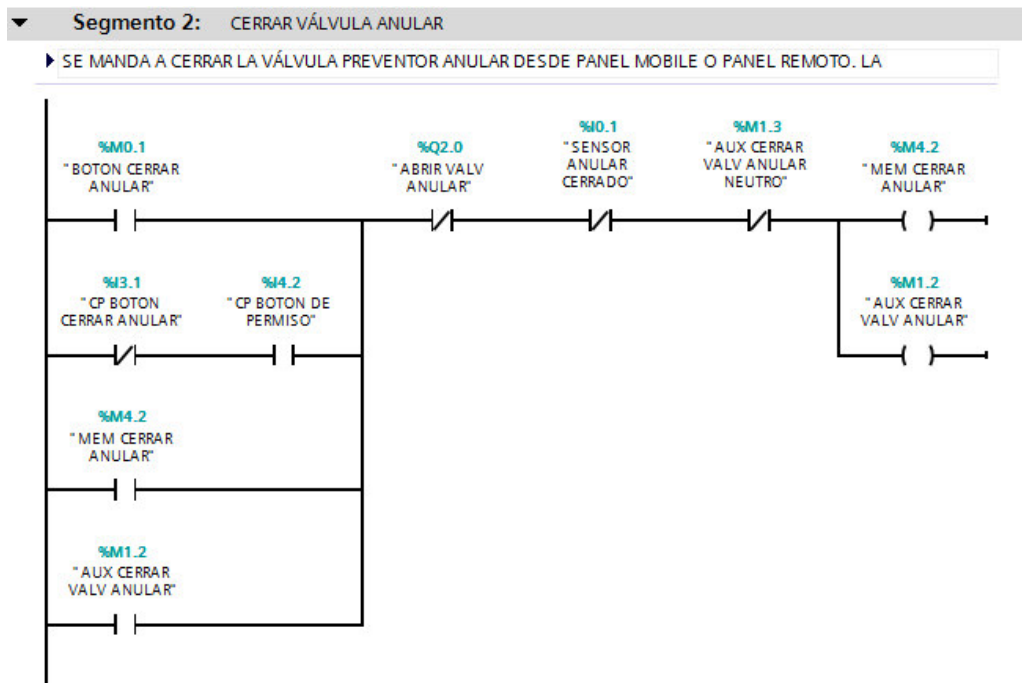


Figura 3.94. Programación de bloques cierre de válvulas.

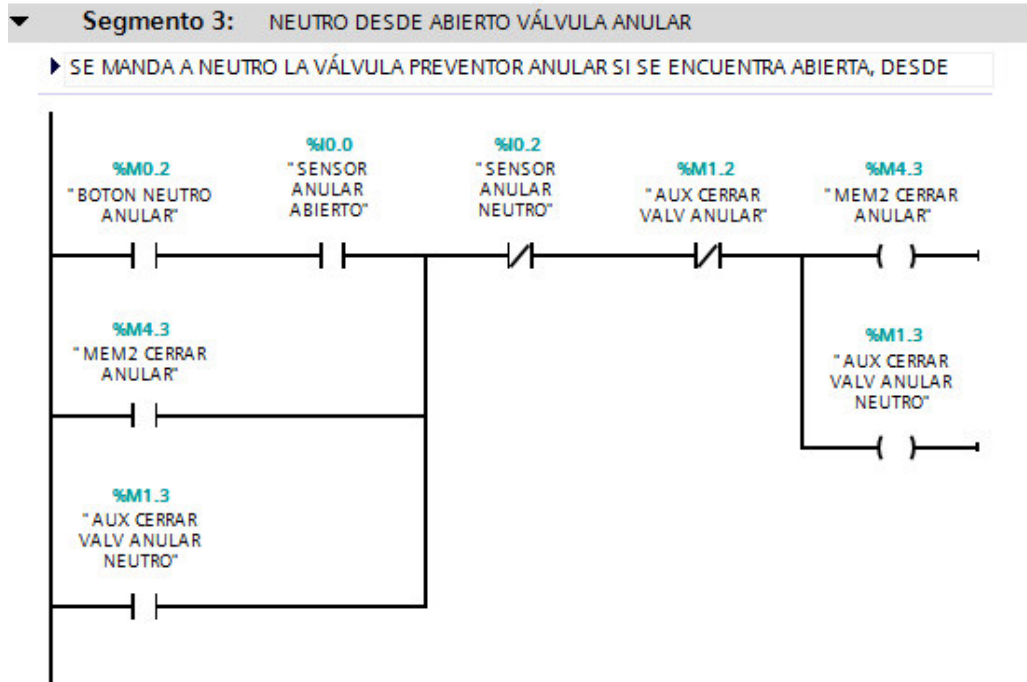


Figura 3.95. Programación de bloques envío a neutro desde abierto.

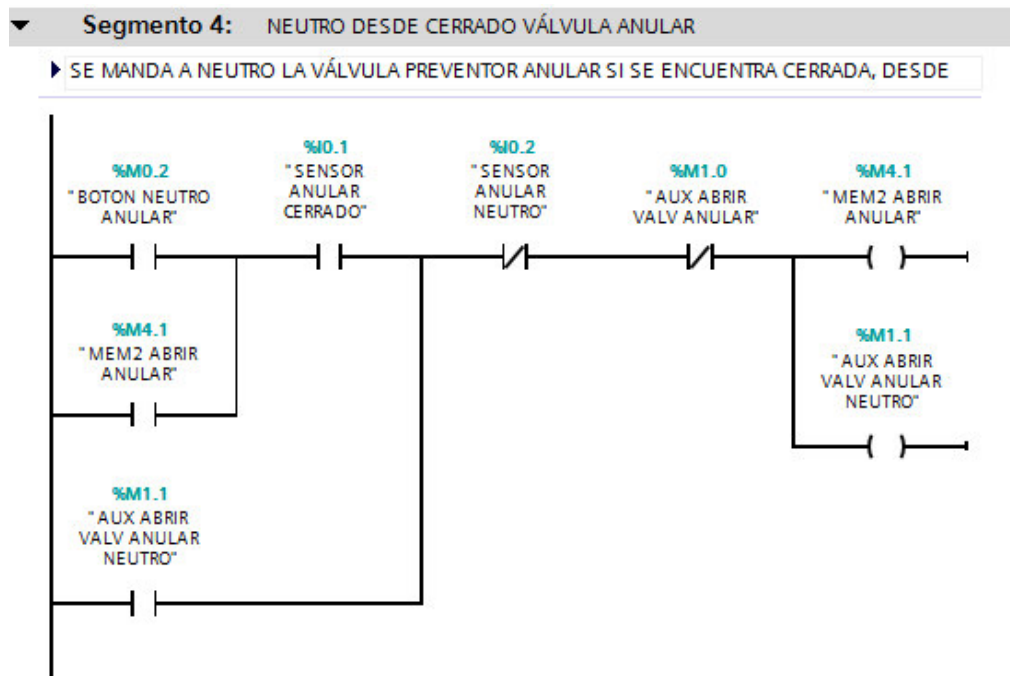


Figura 3.96. Programación de bloques envío a neutro desde cerrado

- Bloques que definen el cambio de presión de trabajo del Acumulador de Presión, entre 1500 y 3000 PSI:

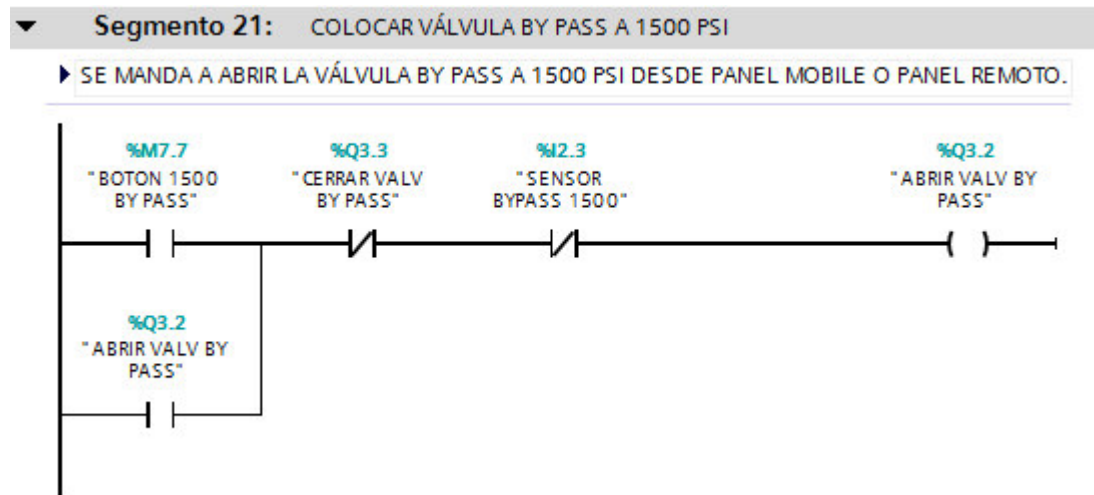


Figura 3.97. Programación de bloques válvula by pass a 1500 psi.

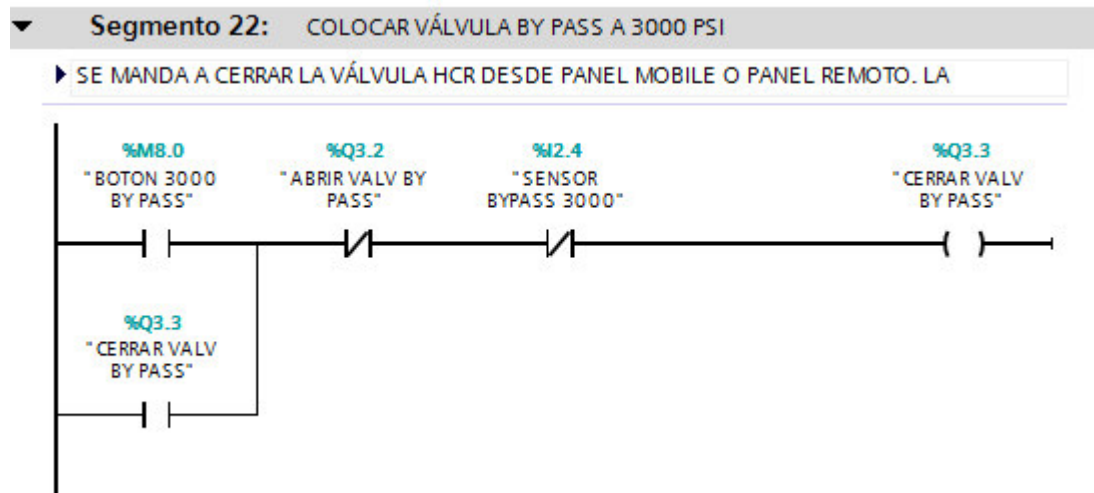


Figura 3.98. Programación de bloques válvula by pass a 3000 psi.

- Bloques de lectura, normalización y escalado de señales analógicas de los sensores de presión:

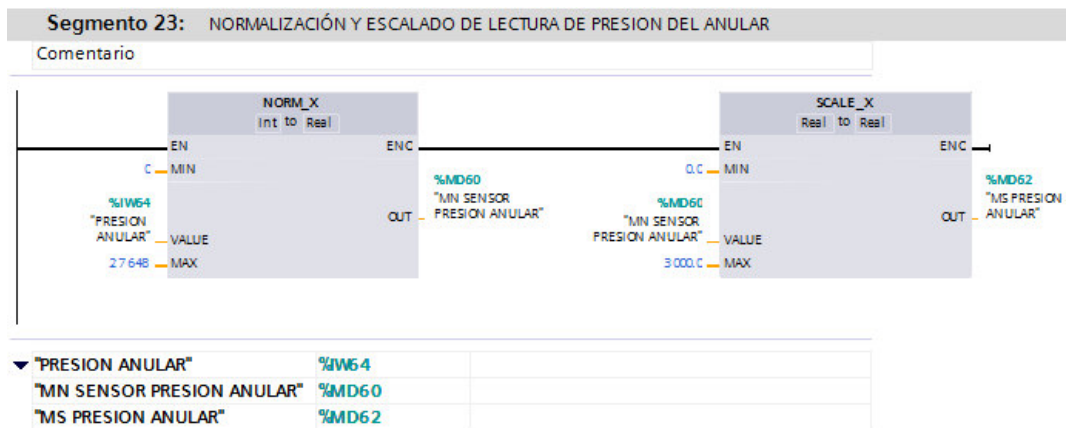


Figura 3.99. Normalizado y escalado de señales analógicas.

El valor 27648 ha sido seleccionado por SIEMENS, como el rango máximo normal para cualquier señal analógica transferida hacia la CPU desde cualquier módulo de señales analógicas. Este valor numérico es independiente de la resolución de cualquier módulo analógico utilizado, como vía de estandarización para el escalado de lecturas analógicas en el procesador. Esto significa que 0 a 27648 representa el rango completo; por encima de 27648 o por debajo de 0, una señal estaría fuera de rango. En la Figura # se ilustra los valores numéricos para mediciones de 4 a 20 mA, que son las que utilizaremos en este proyecto. (SIEMENS, TIA Portal Step 7 Basic V12, 2012)

System		Current Measuring Range		
Dec.	Hex.	0 to 20 mA	4 to 20 mA	
32767	7FFF	23.70 mA	22.96 mA	Overflow
32512	7F00			
32511	7EFF	23.52 mA	22.81 mA	Overrange
27649	6C01			
27648	6C00	20 mA	20 mA	Rated range
20736	5100	15 mA	16 mA	
1	1	723.4 nA	4 mA + 578.7 nA	
0	0	0 mA	4 mA	
-1	FFFF			Underrange
-4864	ED00	-3.52 mA	1.185 mA	
-4865	ECFF			Underflow
-32768	8000			

Figura 3.100. Representación del rango análogo en mediciones de corriente 0 a 20mA y 4 a 20 mA

- Bloque de diagnóstico y alerta de fallas en los módulos:

En este bloque se programan memorias que toman la lectura de los leds de diagnóstico de cada módulo (CPU, modulos de E/S, módulos análogos, periferia descentralizada), para determinar posibles fallas del sistema. Estas memorias son enviadas al HMI para una pantalla de diagnóstico de dispositivos y además para generar alarmas para el historial.

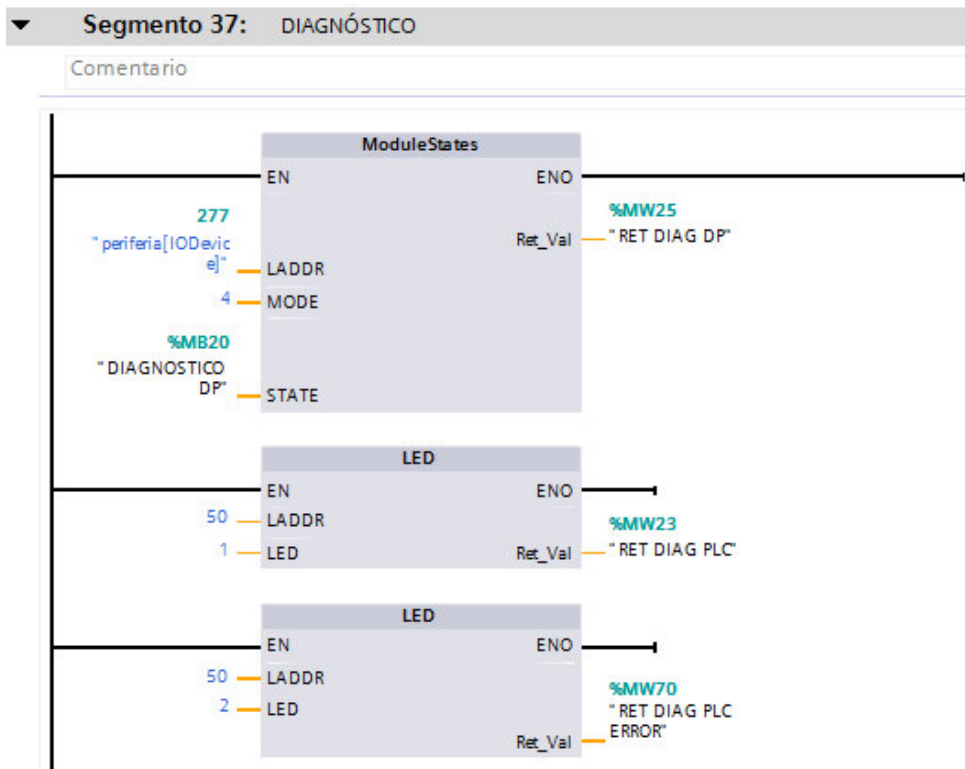


Figura 3.101. Programación de bloques, diagnóstico de dispositivos.

- Alarmas:

Estos bloques determinan las 4 diferentes secuencias del sistema de alarmas generales del taladro, para asignarlas a cada pulsador que permita su accionamiento. Básicamente están compuestos por juegos de temporizadores que alternan las señales de salida y que producen cada secuencia de alarma.

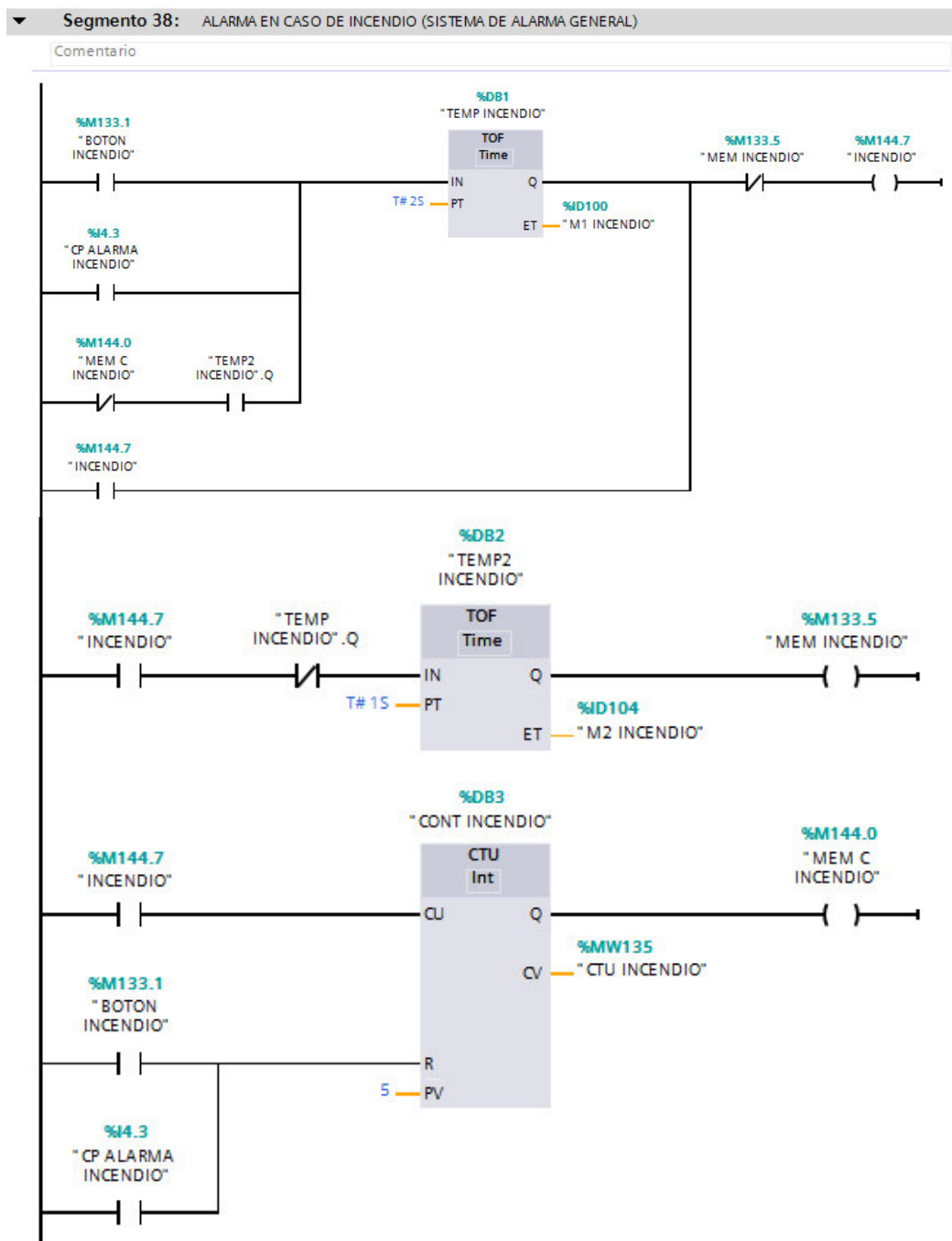


Figura 3.102. Programación de bloques, alarma general (incendio).

- Programación del control PID para la válvula reguladora

El TIA Portal v12 posee bloques tecnológicos, entre los cuales incluye bloques de controladores PID. Utilizaremos el bloque PID Compact que es

una herramienta para control de plantas cuya función de transferencia es desconocida o es difícil obtenerla.

Antes de iniciar con la programación del bloque PID Compact, es necesario determinar qué tipo de controlador se va a implementar. Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen 3 acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativo (D). Estos controladores son los denominados: P, I, PI, PD y PID. (Mazzone, 2002)

Acción Proporcional (P):

Es el tipo de control en el que la salida del controlador es proporcional a la magnitud de error. Estos controladores pueden controlar cualquier planta estable pero poseen desempeño limitado y error en régimen permanente. (Mazzone, 2002)

Acción Integral (I):

Es el tipo de control en el que la salida del controlador es proporcional a la magnitud de error y al tiempo en que ésta se mantiene, lo que implica que es un modo lento de controlar. En este controlador el error en régimen permanente es nulo. (Mazzone, 2002)

Acción Derivativa (D):

El control derivativo reacciona a la tendencia de la magnitud de error, y por tanto únicamente aplica cuando hay cambios en el valor absoluto del error. (Mazzone, 2002)

En base a los requerimientos del sistema, es necesario realizar un control con un error en estado estacionario nulo y un tiempo de respuesta que permita evitar cambios bruscos de presiones en el sistema, lo que influiría directamente en el desgaste de la válvula de regulación hidráulica del preventor anular.

Una vez realizado este análisis, se seleccionó un controlador PI (Proporcional-Integral), obviando la acción derivativa, ya que tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control. El tiempo de respuesta del actuador es de aproximadamente 12 segundos, por lo cual se debe dar un tiempo de retardo al controlador para enviar la señal de salida hacia la válvula proporcional reguladora.

Con estos antecedentes, se procede a programar el bloque de PID Compact, el mismo que integra una auto-sintonización y optimización y puede emplearse en modo automático y manual. Para esto definimos las variables que intervendrán en el control en base al diagrama de bloques del sistema que se muestra a continuación.

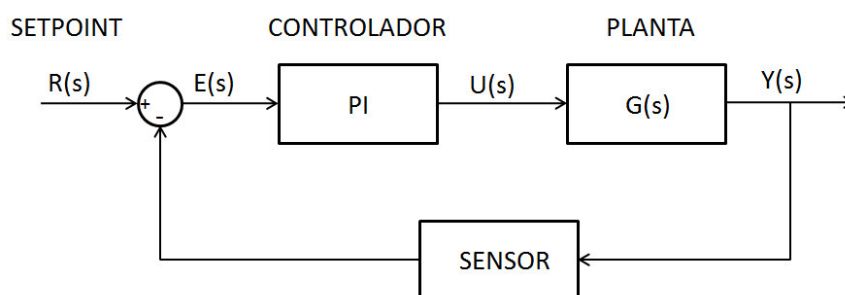


Figura 3.103. Diagrama de bloques del sistema controlado.

Las variables para el bloque de programación son:

Setpoint: SET POINT PRESIÓN ANULAR

Input_PER: PRESIÓN ANULAR

Output_PER: VÁLVULA REGULADORA

De esta manera ingresamos al bloque de programación para determinar la configuración del controlador y ejecutar la auto-sintonización del mismo, que se encarga de establecer la respuesta de la planta ante un escalón y así poder configurar su controlador.

Luego de la auto-sintonización se puede realizar una optimización del controlador y ajustar las constantes del PI; todo esto en modo on-line para verificar su comportamiento en una gráfica en tiempo real (Ver Anexo 6). En la figura 3.104 se muestra el bloque de programación, además de la optimización y configuración del controlador en modo on-line.

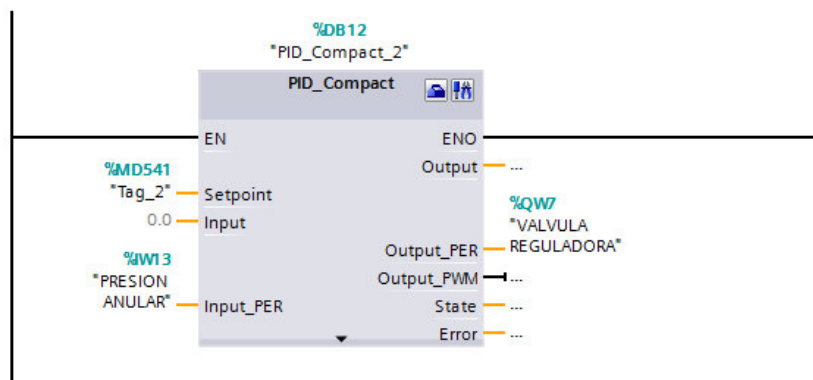


Figura 3.104a. Configuración bloque PID Compact.

Tipo de regulación _____

Presión

Inversión sentido de regulación

Activar último modo de operación tras rearranque de la CPU.

Parámetros de entrada/salida _____

Setpoint:

Input:

Output:

Límite superior del valor real:

Límite inferior del valor real:

Escala del valor real _____

Input_PER:

Valor real superior escalado:

Valor real inferior escalado:

Abajo: Arriba:

Parámetros PID _____

Activar entrada manual

Ganancia proporcional:

Tiempo de integración:

Tiempo derivativo:

Coefficiente retardo derivativo:

Ponderación de la acción P:

Ponderación de la acción D:

Tiempo muestreo algoritmo PID:

Regla para la optimización

Estructura del regulador:

Figura 3.104b. Configuración PID Compact.

3.4.4 Diseño de Interfaz Humano-Máquina

3.4.4.1 Panel móvil

El dispositivo utilizado para integrar el diseño HMI del proyecto es un SIMATIC Mobile Panel 277 IWLAN (Figura 3.105), de la marca Siemens. Este panel permite la operación móvil desde cualquier punto del sistema gracias a su comunicación vía WLAN (Wireless Local Area Network) con el PLC. Este panel es alimentado por una batería recargable desde su propio panel de carga.

Gracias a su operación con batería y su diseño ergonómico, permite realizar trabajos seguros por períodos extensos de tiempo sin ningún inconveniente. Además este panel ofrece tiempos de respuesta cortos, gran capacidad de memoria y alto rendimiento. Entre las características más destacables del panel móvil tenemos las siguientes:

- Operación inalámbrica vía PROFINET.
- Operación con batería.
- Pantalla táctil de 7.5" con 64k colores.
- 18 teclas de función. Conexión USB para periféricos.
- Procesador ARM de 520 MHz.
- Memoria central de 128 Mb.
- Interfaz Ethernet RJ45.
- Sistema operativo Windows CE.
- Grado de protección IP65.



Figura 3.105. Panel móvil, SIMATIC IWLAN 277

Componentes y accesorios:

A continuación se detallan las partes que conforman el Mobile Panel 277 IWLAN de Siemens y sus funciones.



(1) LEDs indicadores.
 (2) Pantalla táctil.
 (3) Botón de encendido/apagado.
 (4) Cobertores para etiquetas.
 (5) Llave de operación (Opcional, no incluida).

(6) Botones iluminados (Opcional, no incluidos).
 (7) Teclado.
 (8) Rueda de mando (Opcional, no incluido).

Figura 3.106. Partes del panel móvil IWLAN 277

Vista lateral:

(1) Mango de sujeción

Figura 3.107. Vista lateral del panel móvil IWLAN 277.

Vista posterior:

(1) Mango de sujeción.
 (2) Tapa de compartimento de conexiones.
 (3) Conector para fuente de alimentación.

(4) Tapa de compartimento de batería.
 (5) Contactos de carga para estación de carga.
 (6) Conector USB.

Figura 3.108. Vista posterior del panel móvil IWLAN 277.

Estación de Carga:



- | | |
|--|---|
| (1) Candado de bloqueo. | (4) Contactos de carga para el dispositivo HMI. |
| (2) Gancho para colgar el dispositivo HMI. | (5) LEDs indicadores. |
| (3) Compartimento de carga de baterías. | (6) Conexión de fuente de alimentación. |

Figura 3.109. Partes del panel de carga para panel IWLAN 277.

3.4.4.2 Software de programación

El software de programación soportado por los paneles SIMATIC Mobile Panel 277 IWLAN; y con el que se desarrolló el proyecto, es el SIMATIC Wincc Advance v12, el mismo que se instala dentro del paquete TIA Portal para englobar en un solo entorno todas las programaciones y configuraciones para proyectos de control, visualización y accionamiento.

Entre algunas de las ventajas de utilizar este software tenemos las siguientes:

- Interfaz de configuración innovadora y basada en los últimos avances en tecnología de software.
- Completas librerías para objetos definibles.
- Herramientas inteligentes para configuración gráfica y tratamiento de datos masivos.

El entorno de trabajo es muy intuitivo y amigable al usuario, por lo que facilita las tareas de programación. La pantalla de trabajo para el WinCC se puede observar en la Figura 3.110 y consta básicamente de los siguientes componentes:

- 1.- Árbol de proyecto
- 2.- Área de trabajo
- 3.- Cuadro de información y propiedades
- 4.- Cuadro de objetos

3.4.4.3 Método de diseño

El diseño de la interfaz humano-máquina está basado en la metodología GEDIS (guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión), la cual ha sido enfocada a ambientes industriales. Esta

metodología consta de un procedimiento de diseño especializado en sistemas de control supervisor industrial basado en niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y contenidos. (Pere Ponsa)

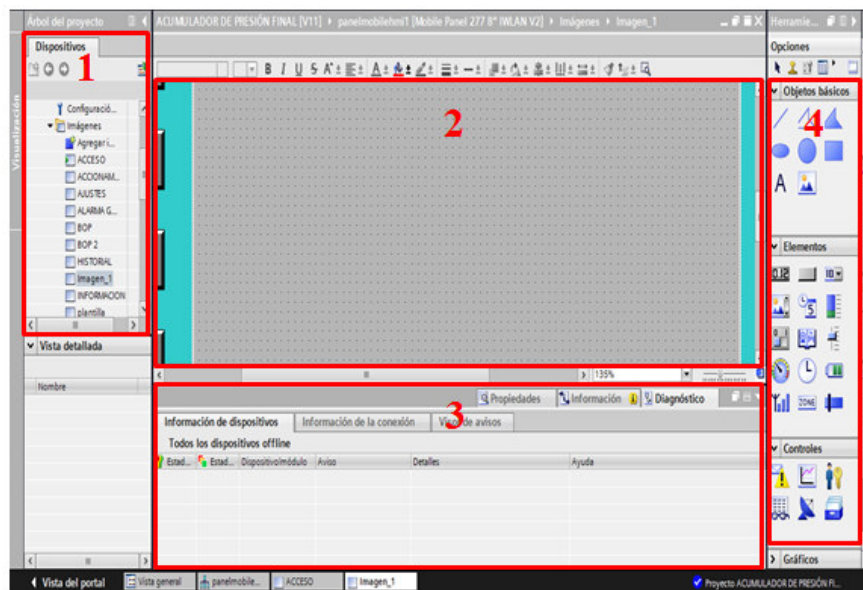


Figura 3.110. Pantalla de trabajo WinCC, TIA Portal v12.

La guía se estructura en 2 partes. La primera detalla un conjunto de indicadores seleccionados de las pautas de diseño de interfaces multimedia que utilizan los ingenieros informáticos y los expertos en interacción persona ordenador. La segunda parte muestra la obtención de medidas cuantitativas de evaluación de los indicadores para la obtención de un valor numérico final que permita al diseñador/usuario valorar las posibles mejoras de la interfaz de supervisión, a la vez que permite la comparación con otras interfaces.

3.4.4.4 Construcción del Diseño

Este método de diseño consta de 10 indicadores que pretenden abarcar todos los aspectos del diseño de la interfaz. La Figura 3.111 muestra la definición de cada indicador junto a qué aspectos previos (entradas) son necesarios para la obtención del indicador y qué se espera obtener (salidas) del indicador. En la tabla se mezclan aspectos de ergonomía con aspectos de control de procesos industriales. (Ferrandiz, 2005)

Indicador	Definición	Entradas	Salidas
Arquitectura	Organización jerárquica de las pantallas	De la planta física a la monitorización gráfica	Mapa de relaciones entre pantallas y sus funciones
Distribución de pantallas	Plantillas de los diferentes tipos de pantalla	Diseño de los procesos físicos y subprocesos	Clasificación de tipos de pantallas y tipos de plantillas
Navegación	Modos de navegación entre pantallas	Controles de navegación entre subprocesos	Navegación equilibrada en anchura y profundidad
Uso del color	Asociación de funcionalidades en el ámbito del control de procesos	Requisitos sobre dispositivos de información visual	Uso del color adecuado en el contexto
Uso de fuentes e información textual	Abanico de fuentes y asociación de funcionalidades	Fuentes y tamaños legibles por el operario	Estándares de fuentes, acrónimos y abreviaturas
Estatus de los equipos y eventos de proceso	Símbolos e iconos gráficos para representar el estado de la planta y los cambios de estado	Estándares nacionales y/o internacionales en control supervisor	Uso de símbolos e iconos reconocibles por el operario experto
Información y valores de proceso	Presentación de los datos analógicos/digitales en los gráficos	Procesamiento de la información	Lista clasificada de las variables del proceso
Gráficos de tendencias y tablas	Presentación y agrupación de valores en gráficos de tendencias (históricos) y tablas	Procesamiento de la información	Lista de agrupaciones de datos en gráficos y tablas en los sinópticos de proceso
Comandos y entradas de datos	Modo de entrada de datos a la interfaz	Estándares de diseño de comandos y entrada de datos	Accesibilidad a la manipulación de parámetros y consignas
Alarmas	Características principales del subsistema de alarmas	Estimación del riesgo	Listado de alarmas, clasificación por prioridades

Figura 3.111. Lista de indicadores de la guía GEDIS

Arquitectura

Para iniciar con el proceso de desarrollo se debe establecer un mapa donde se definirán de manera general las diferentes pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de automatización y control. Este mapa deberá establecer las relaciones lógicas entre las pantallas de manera que pueda también servir posteriormente al diseño de la navegación del sistema. Además del mapa, se debe generar un listado que muestre las pantallas y su función específica. Los tipos de pantallas que deberán ser incluidas en este primer paso de la metodología son las siguientes:

- Pantalla de inicio, es la primera pantalla del sistema donde generalmente se coloca el logotipo de la empresa y el nombre del sistema a controlar. Se puede colocar el acceso mediante usuario y contraseña si el caso lo amerita. (Ferrandiz, 2005)



Figura 3.112. Pantalla de inicio.

- Pantallas de Proceso, las cuales muestran el estado de los equipos y del proceso industrial que cumplen cada uno de los equipos.

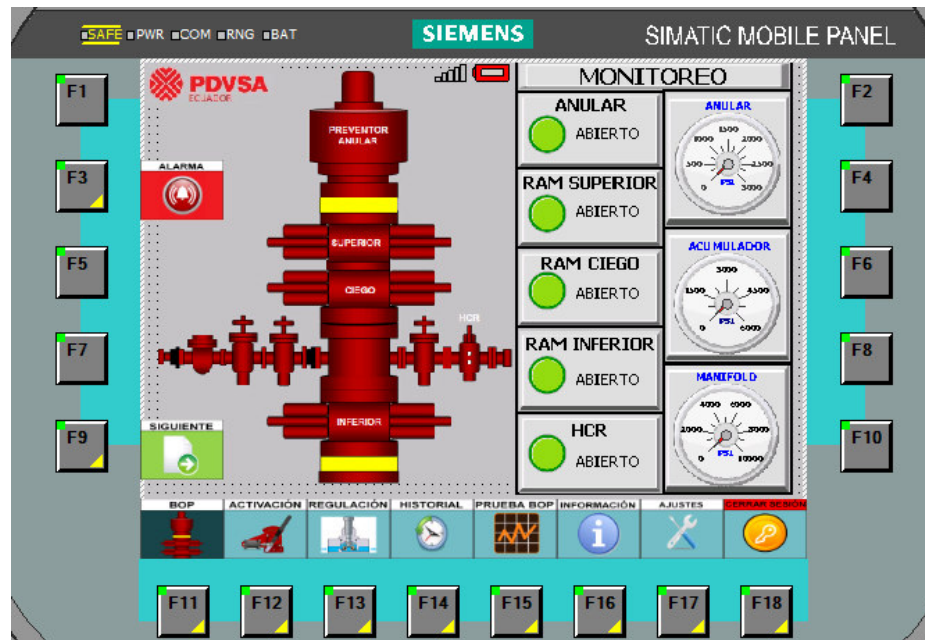


Figura 3.113. Pantalla principal de procesos.

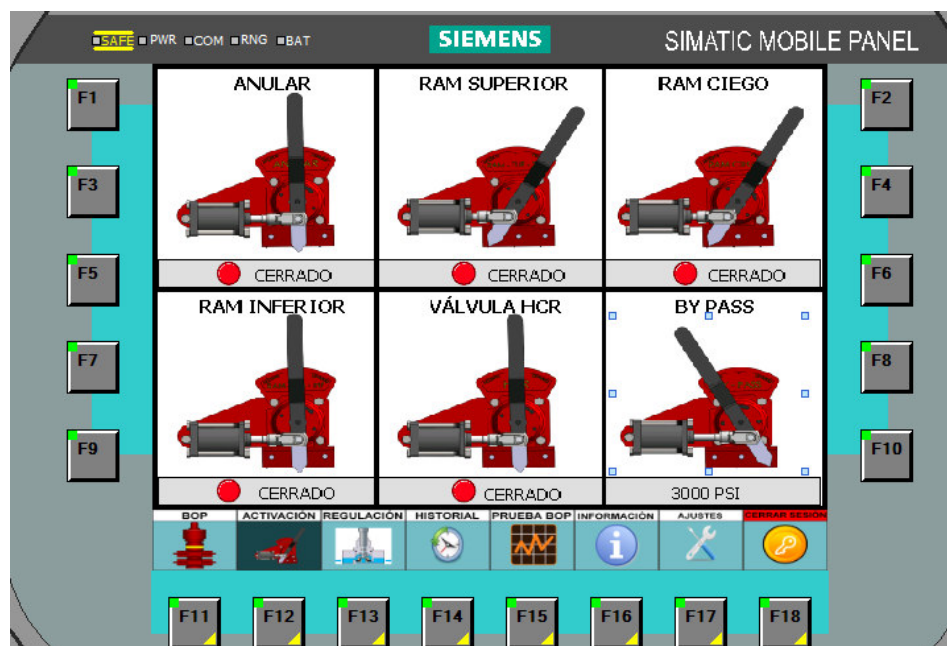


Figura 3.114. Pantalla secundaria de procesos.

- Pantallas de Comandos, estas pantallas permiten al operador realizar acciones generales tales como el arranque/paro de equipos y selecciones diversas.

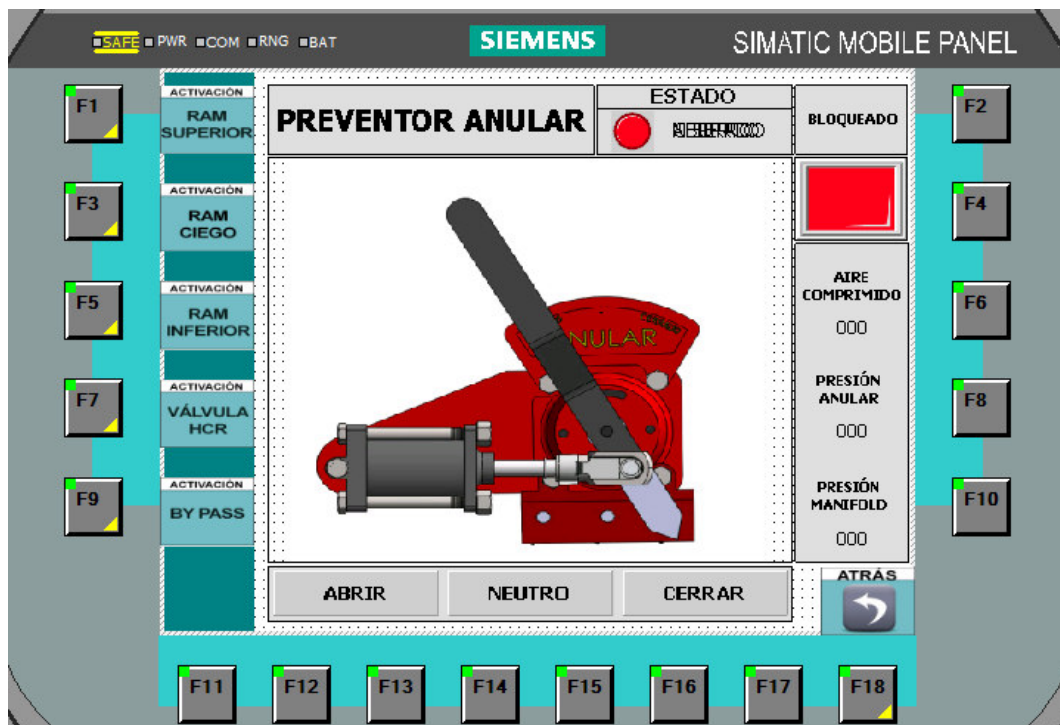


Figura 3.115. Pantalla de comando de válvulas.

- Pantallas de Configuración, las cuales permiten al operador establecer los parámetros de configuración del sistema, como la introducción del valor de presión del preventor anular.



Figura 3.116. Pantalla de configuración de ajustes.

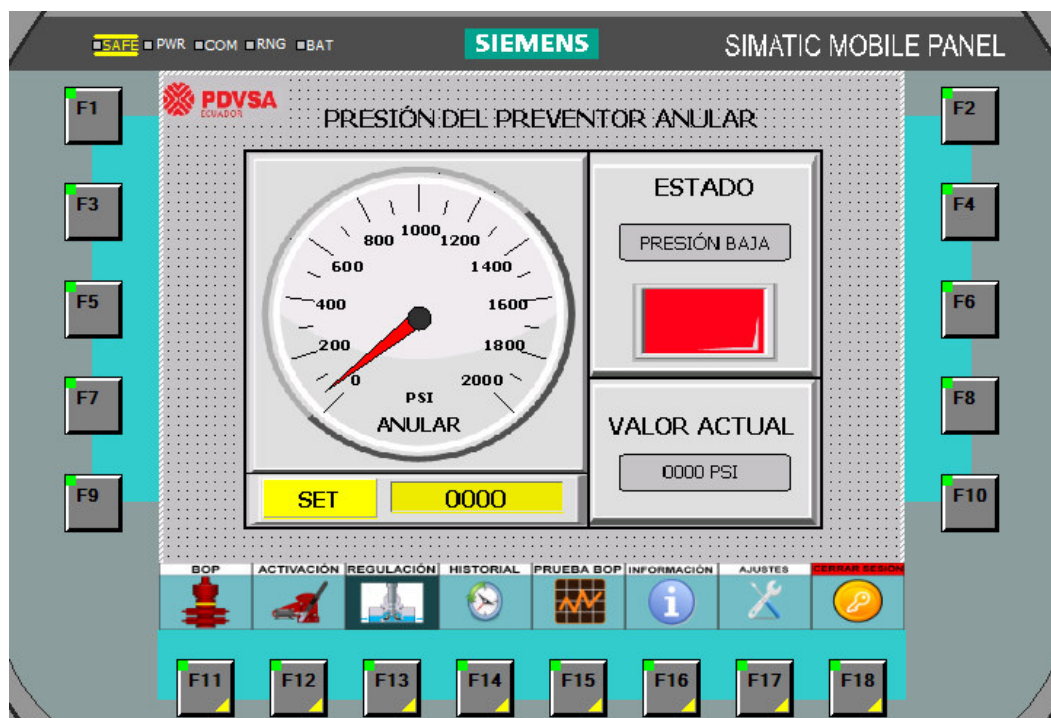


Figura 3.117. Pantalla de configuración de presión del preventor anular.

- Pantallas de tendencias, donde se muestran los valores de las variables más importantes del proceso en el tiempo

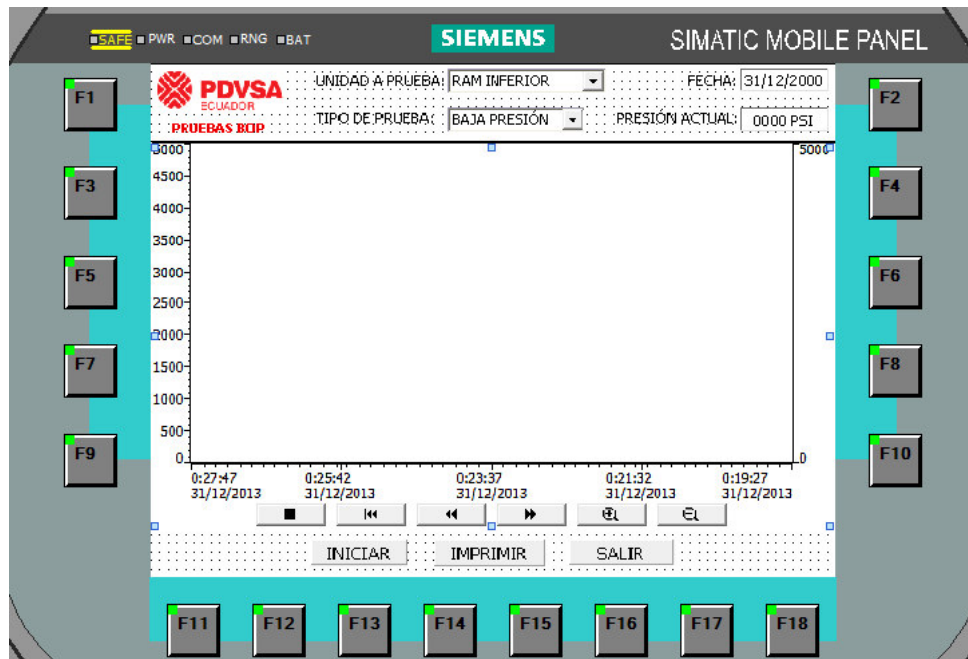


Figura 3.118. Pantalla de tendencias, unidad de prueba.

- Pantallas de alarmas e historial

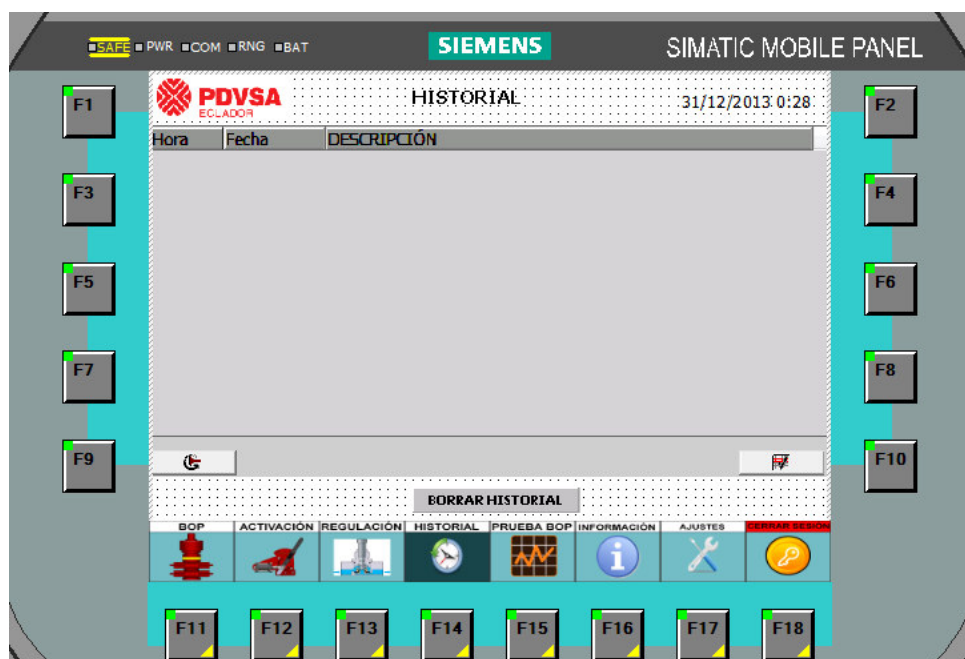


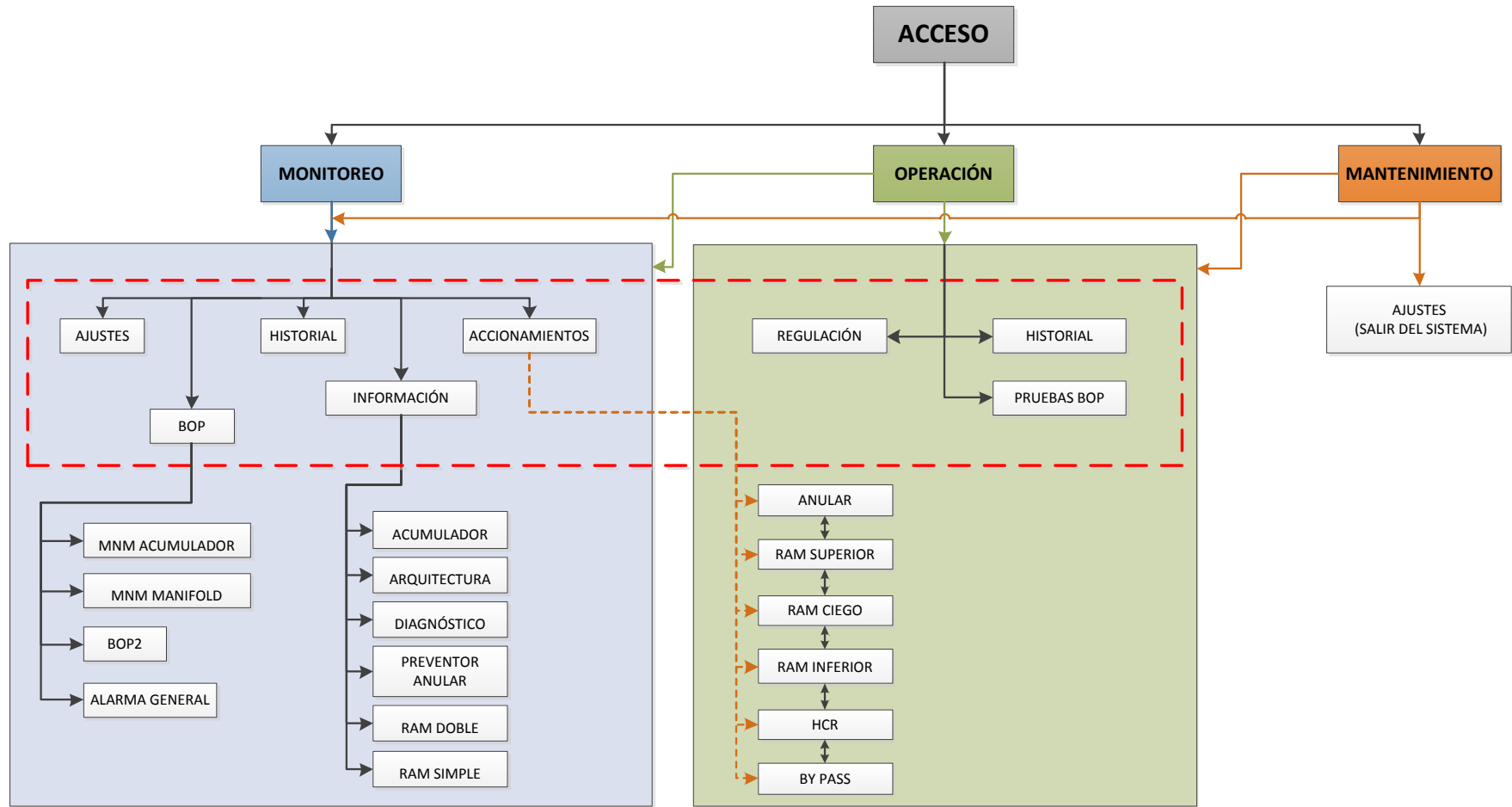
Figura 3.119. Pantalla de alarmas e historial.

Resumiendo, en este punto de la metodología se deben obtener dos productos: primero, el mapa gráfico de la arquitectura que muestra las pantallas que componen el sistema (Figura 3.120) y sus relaciones lógicas; y segundo, el listado de las mismas pantallas con las funciones que desarrollarán cada una de ellas.

Listado de pantallas:

1. **ACCESO:** Es la pantalla de inicio, en donde se muestra la portada del proyecto y el acceso con 2 tipos de usuario: Monitoreo y Operación. El usuario Monitoreo sólo tendrá acceso a la visualización de toda la información y parámetros; mientras que el usuario Operación tendrá los permisos, además de visualización, para realizar accionamientos, cambiar parámetros, borrar historiales y realizar pruebas a la unidad BOP.

2. **ACCIONAMIENTOS:** Esta pantalla representa de forma gráfica el estado de las 6 válvulas de la BOP (Abierto, Cerrado o Neutro) en tiempo real. Además cada válvula es un botón en la interfaz gráfica para poder acceder a su accionamiento y detalles.
 - a. **ANULAR:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula del Preventor Anular. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones Abrir, Cerrar y Neutro.



Navegación redundante

Figura 3.120. Mapa gráfico de la arquitectura de pantallas.

- b. **BY PASS:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula de By Pass. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones 1500 PSI y 3000 PSI.

 - c. **HCR:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula del HCR. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones Abrir, Cerrar y Neutro.

 - d. **RAM CIEGO:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula del Ram Ciego. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones Abrir, Cerrar y Neutro.

 - e. **RAM INFERIOR:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula del Ram Inferior. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones Abrir, Cerrar y Neutro.

 - f. **RAM SUPERIOR:** Muestra una animación gráfica del estado de la válvula del Ram Superior. Desde esta pantalla se pueden realizar accionamientos con los botones Abrir, Cerrar y Neutro.
3. **AJUSTES:** Esta pantalla contiene información acerca del estado de la batería del panel móvil, la intensidad de señal inalámbrica; y opciones de configuración del panel, tales como calibración de la

pantalla, versión del software, panel de control y salida al sistema operativo.

4. **ALARMA GENERAL:** En esta pantalla se encuentra la activación del sistema general de alarma del taladro. Se pueden activar con un solo toque las alarmas de Incendio, Arremetida, Derrame/Fuga o Primeros Auxilios. Además se puede accionar una alarma para Subida/Bajada de la Torre para la mudanza.

5. **BOP:** Aquí se muestra una imagen ilustrativa de la unidad BOP con sus respectivas válvulas. Además, un panel de monitoreo donde se indica mediante luces animadas el estado actual de cada una de las válvulas de la BOP y las presiones del Preventor Anular, Manifold y Acumulador de Presión. En esta pantalla también se encuentra el paso a la pantalla BOP2 y ALARMA GENERAL.
 - a. **MNM MANIFOLD:** Esta pantalla muestra la animación, en tiempo real, de la presión del Manifold del Acumulador de Presión mediante un manómetro análogo. Además contiene de una alarma por baja o alta presión.

 - b. **MNM ACUMULADOR:** Esta pantalla muestra la animación, en tiempo real, de la presión del Acumulador de Presión mediante

un manómetro análogo. Además contiene de una alarma por baja o alta presión.

6. **BOP2:** Aquí se muestran los indicadores análogos de nivel de fluido hidráulico en el reservorio del Acumulador de Presión y la presión de la red de aire comprimido, indispensable para el accionamiento de las electroválvulas de mando. Además existe un indicador de encendido de la bomba eléctrica de carga del Acumulador.

7. **HISTORIAL:** Esta pantalla almacena un historial de todas las activaciones de las válvulas de la unidad BOP y las alarmas de presión alta o baja de cada manómetro. Se almacenan en orden de tiempo en que se produjeron y cuenta con un botón de borrado del historial con prioridades de usuario.

8. **INFORMACIÓN:** En esta pantalla se muestran botones de acceso a información detallada y técnica acerca del equipo Acumulador de Presión, BOP y Sistema de Control. A continuación se detallan cada una de las pantallas:
 - a. **ACUMULADOR:** Muestra información técnica acerca del Acumulador de Presión, presiones de trabajo y programas de mantenimiento.

- b. ARQUITECTURA:** Muestra el diagrama del sistema de control implementado, la red inalámbrica y el nombre de cada equipo.

- c. DIAGNÓSTICO:** Contiene indicadores dinámicos (luces) que proporcionan información acerca del estado del controlador lógico programable (PLC) y sus Dispositivos periféricos. En esta pantalla se puede determinar una falla de comunicación o, si alguno de los dispositivos no funciona de manera correcta o esta desconectado.

- d. PREVENTOR ANULAR:** Muestra información técnica acerca del Preventor Anular, presiones de trabajo según la tubería en operación e imágenes ilustrativas de sus partes más importantes.

- e. RAM DOBLE:** Muestra información técnica acerca del Ram Doble, presiones de trabajo e imágenes ilustrativas de sus partes más importantes.

- f. RAM SIMPLE:** Muestra información técnica acerca del Ram Simple, presiones de trabajo e imágenes ilustrativas de sus partes más importantes.

9. PRUEBAS BOP: En esta pantalla se pueden realizar las pruebas a la unidad BOP, que se realizan en la segunda sección de cada pozo a perforar, para certificar el correcto funcionamiento de todo el equipo. Aquí, se puede seleccionar el tipo de unidad a probar y su respectiva presión. Además la lectura en tiempo real es trazada en un plano que luego puede ser almacenado e impreso.

10. REGULACIÓN: Esta pantalla muestra la animación, en tiempo real, de la presión del Manifold del Preventor Anular mediante un manómetro análogo. Además contiene de una alarma por baja o alta presión y la posibilidad de ingresar, por teclado táctil, la presión que se desea colocar en el Preventor. Es decir en esta pantalla se realizará el control y lectura de la válvula reguladora de presión que controla el Preventor anular.

Distribución de las Pantallas

En el segundo paso de la metodología se deben desarrollar las plantillas que regirán el desarrollo de la interfaz. En primer lugar se deberá establecer cuantas clases de pantallas serán desarrolladas (mientras menor el número es mejor), para posteriormente generar una plantilla general para cada una de ellas. En estas plantillas se deberán establecer los siguientes conceptos:

- Ubicación del título de la pantalla y logotipo de la empresa.
- Si será utilizado, ubicación del menú del sistema
- Ubicación del mímico del área o sub-área
- En caso de existir elementos como tendencias, tablas, definir su ubicación

Con la finalidad de llevar a cabo la especificación de la distribución de las pantallas se sugiere las siguientes directrices:

- Considerar que según el Diagrama de Gutenberg, el movimiento del ojo va de arriba a abajo y de izquierda a derecha. Considerar entonces que la información más importante debe ir arriba y a la izquierda.
- El centro de la pantalla es también un lugar de alta visibilidad
- La información miscelánea debe ir abajo a la izquierda
- Sobre todo las funciones e información críticas deben tener un lugar fijo en la pantalla
- La mejor posición para los gráficos es a la izquierda del campo visual
- La simetría del gráfico debe ser también considerada, de manera que la carga de elementos en los sinópticos esté balanceada en toda la pantalla.
- Para el mismo nivel de información efectiva, se debe dar preferencia a las distribuciones simples sobre las complejas.

(Ferrandiz, 2005)

Los productos que se deben obtener en esta etapa son: la tipología o clasificación de las pantallas y las plantillas para cada una de estas clases.

Clasificación de las pantallas:

- Pantallas de Operación: Son las pantallas que muestran procesos o parámetros de las operaciones del Acumulador de Presión y se puede ejecutar mandos o acciones. Las pantallas pertenecientes a este grupo se identificarán con un color gris en el fondo como se muestra en la figura 3.121.
- Pantallas de Información: Son las pantallas donde no se pueden ejecutar acciones, sino solo muestran información o ajustes de la pantalla. Las plantillas pertenecientes a este grupo se identificarán con un fondo blanco, como se muestra en la figura 3.122. Se usa esta plantilla para la prueba de la unidad BOP debido a que ésta debe ser impresa y el color blanco favorece la visualización de la curva dibujada.

Plantillas

En este proyecto se usan 2 plantillas que se muestran a continuación:



Figura 3.121. Plantilla de pantalla 1.



Figura 3.122. Plantilla de pantalla 2.

Navegación

Con ayuda de la arquitectura definida anteriormente se debe ahora determinar cómo navegará el operador dentro del sistema. El objetivo es que el esquema de navegación sea intuitivo y fácil de usar, para este fin se puede utilizar alguno de los siguientes métodos sugeridos (o bien alguna combinación de ellos):

- Menús y submenús
- Barra de Botones
- Barras de Iconos gráficos
- Link con hipertexto
- Link con gráficos de proceso
- Teclas de Función
- Cajas Combo o Listas Desplegables ('Combo boxes')

(Ferrandiz, 2005)

Si se van a usar íconos es recomendable que estos sean simples, fáciles de reconocer y que no sobrecarguen el tamaño en bytes del gráfico para que no se pague una penalidad en tiempo de respuesta.

Las siguientes directrices se deben tomar en cuenta cuando se establece la forma de navegación:

- La navegación no debe ser un obstáculo a las acciones del operador en situaciones de emergencia.
- El área de contacto para pulsar debe ser lo suficientemente grande para que se fácil de usar. Si se usa una pantalla táctil se deben hacer las consideraciones antropométricas de los dedos índices de los operadores.
- Es recomendable proporcionar al operador la posibilidad de desplazarse a la pantalla anterior o la siguiente dentro del mapa de navegación así como la de regresar al inicio del sistema y la de cierre de pantalla en los casos en que sea aplicable.
- Si se utilizan íconos, se recomienda proporcionar una ayuda textual para el usuario. Este aspecto puede mejorarse notablemente si se especifica un estándar de íconos del sistema.
- Se recomienda utilizar zonas predefinidas de la pantalla para ubicar los menús, barras de botones, de íconos, botones de atrás, adelante, inicio, cierre, etc.
- El orden en que se muestran las opciones de los menús debe basarse en conceptos como la importancia de la función o la frecuencia de su uso.
- El texto que describe las funciones debe ser corto y conciso.

El producto que se debe obtener de este paso de la metodología es la definición formal de él o las formas de navegación (barra de botones, de

íconos, menús, etc.), los botones especiales que se utilizarán (atrás, adelante, inicio, alarmas, etc.), las zonas de la pantalla en las que serán ubicadas estas funciones, el tamaño de las barras, los botones, los menús, combos, etc. así como la definición general de los íconos en caso de que esta opción sea utilizada. (Ferrandiz, 2005)

Forma de navegación: Para la navegación se utilizará una barra de íconos gráficos situada en la parte inferior de todas las pantallas principales. Estos íconos gráficos podrán ser activados en cualquier momento y por medio de las teclas de función (F11 – F18) que forman parte del panel móvil y son externas a la pantalla, como se muestra en la figura 3.123.

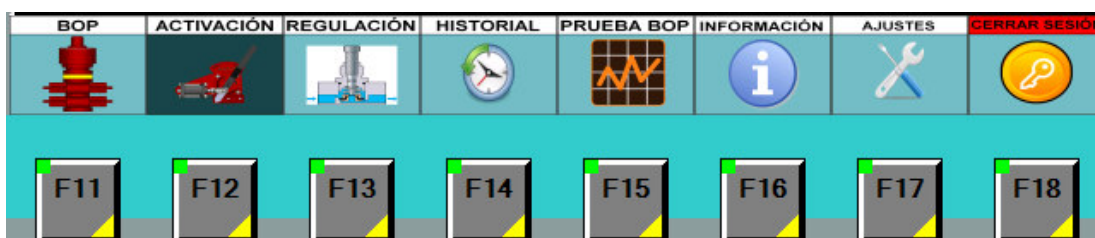


Figura 3.123. Barra de navegación con íconos gráficos.

Además se utilizará un botón especial de navegación (ATRÁS) para regresar a una pantalla principal desde una pantalla secundaria. La ubicación de este botón dentro de las pantallas es generalmente la parte inferior izquierda con la tecla de función F9 para las pantallas secundarias de información; y la parte inferior derecha con la tecla F18 para las pantallas secundarias de accionamientos de válvulas (ver figura#).

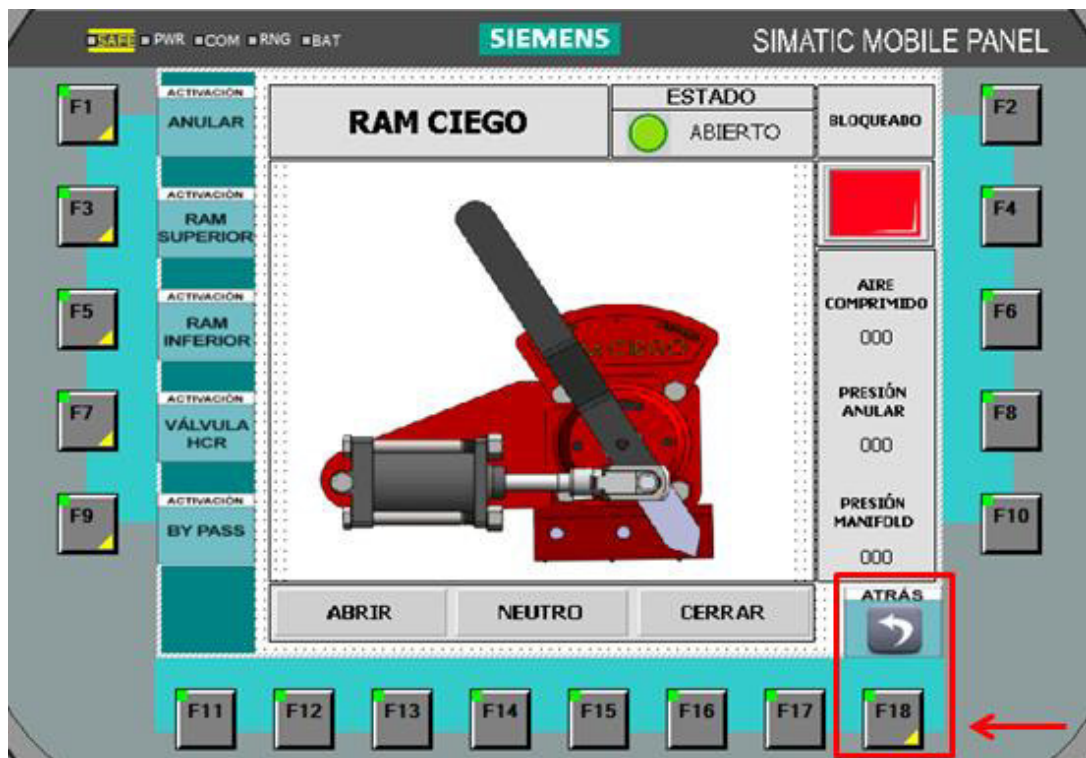


Figura 3.124. Botón de navegación “ATRÁS”, ubicación 1.

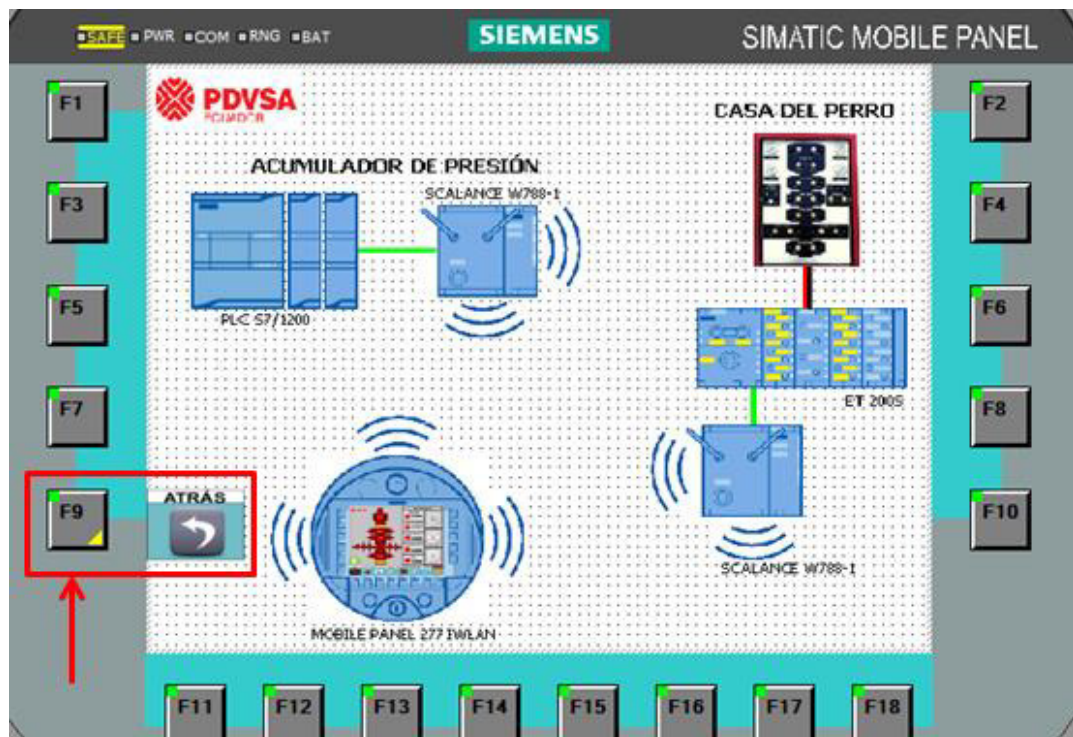


Figura 3.125. Botón de navegación “ATRÁS”, ubicación 2.

Uso del Color:

El color es uno de los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces persona-máquina, su uso adecuado (conservador, convencional y consistente) es determinante para la generación de una excelente interfaz.

En esta fase se deben definir los siguientes estándares referidos al color:

- Color para representar el estatus de los equipos de la planta (marcha, paro, falla, manual, etc.).
- Color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas, productos terminados, etc.)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.).
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.).
- Color de valores de proceso (Temperaturas, presiones, niveles, etc.).
- Limitar el número de colores a cuatro para principiantes y no utilizar más de siete colores para los expertos en una pantalla y asegurarse que estos sean perfectamente diferenciables entre ellos.
- Cuando se combinen colores se debe maximizar el contraste entre ellos.
- No utilizar combinaciones con contrastes incompatibles como Rojo-Azul, Rojo-Verde, Azul-Amarillo, Amarillo-Blanco, Verde-Azul.

Debido a problemas fisiológicos que pudieran tener los operadores respecto a la distinción de colores, reforzar estos con otros

elementos: texto, tamaño, forma o posición, cuando sea necesario (evitar entonces las combinaciones de texto y color del tipo texto rojo sobre fondo verde, texto azul sobre fondo amarillo).

El color debe usarse para indicar cualidades y no cantidades

- Para que el color sea visible, se debe usar en objetos de buen tamaño

Particularmente respecto a la selección de los colores del fondo de la pantalla se recomiendan las siguientes directrices:

- Usar colores neutros para el fondo de la pantalla (gris, beige, arena).
- Los colores de fondo deben ser contrastantes con los demás elementos.
- El uso de diferentes colores de fondo puede ser utilizado para diferenciar o agrupar procesos o áreas de la planta.
- Evitar el uso de colores primarios o fuertes en zonas grandes de la pantalla.

(Ferrandiz, 2005)

El producto que se debe obtener de esta fase de la metodología es la especificación del estándar de colores de los elementos previamente mencionados (estatus de equipos, fondo de pantalla, materiales y fluidos, alarmas, texto y valores numéricos). Es útil para los fines de documentar y distribuir la especificación del uso del color generar una tabla con la información relativa a este punto (Ver tabla 3.45)

Tabla 3.45. Uso de colores en el diseño del HMI.

FONDOS DE PANTALLA			
Ítem	Color	Descripción	Código RGB
Áreas de Monitoreo		Gris	192/192/192
Áreas de Operación		Blanco	255/255/255
ESTADO DE VÁLVULAS			
Ítem	Color	Descripción	Código RGB
Válvula abierta		Verde	82/199/16
Válvula cerrada		Rojo	222/0/0
Válvula en neutro		Blanco	255/255/255
ÍCONOS, TABLAS Y PANELES			
Ítem	Color	Descripción	Código RGB
Fondo de paneles		Gris plata	223/223/223
Fondo de botones		Gris ratón	204/204/204
Botón "SET"		Amarillo	255/255/0
PANTALLAS DE VÁLVULAS			
Ítem	Color	Descripción	Código RGB
Fondo menú		Turquesa	0/128/128
Fondo botones habilitados		Verde	82/199/16
Fondo botones bloqueados		Rojo	222/0/0
VARIOS			
Ítem	Color	Descripción	Código RGB
Texto General		Negro	0/0/0
Fondo de barra de íconos		Celeste	114/191/197
Diagnóstico (OK)		Verde	82/199/16
Diagnóstico (FALLA)		Rojo	222/0/0

Información Textual

La información del proceso es presentada al usuario por medio de varios elementos de los cuales el más comúnmente usado es el texto. Es importante regular el uso de este elemento para informar eficazmente al operador respecto al estado del proceso, por lo que se debe establecer un estándar que rija su utilización. Las características del texto que se deben definir para este fin son las siguientes: el uso de fuentes, el tamaño del texto, la alineación, el espaciamiento, los acrónimos y las abreviaturas.

Específicamente, las directrices que se deben considerar para la definición de las fuentes son las siguientes:

- No se deben utilizar más de tres fuentes en la interfaz
- No usar más de tres tamaños de la misma fuente
- El tamaño de la fuente debe ser tal que se pueda leer a distancia por el operador. Una fuente menor a 8 es difícil de leer
- No utilizar énfasis en el texto (subrayado, itálico, sombreado) salvo en casos especiales
- El color del texto debe contrastar con el fondo de la pantalla y debe respetar el código de colores previamente definido
- Cuando se usa color en el texto se debe usar en toda la palabra y no solo en ciertos caracteres
- Alinear el texto en la pantalla
- Espaciar el texto tanto horizontal como verticalmente y así evitar aglutinamientos
- Sobre todo cuando se muestra información crítica, esta debe ser espaciada con suficiencia

(Ferrandiz, 2005)

El producto que se debe obtener de este paso de la metodología son los estándares de fuentes, tamaño del texto, los acrónimos y las abreviaturas, así como las directrices que se aplicarán en cuanto a la alineación y el espaciamiento (Ver tabla 3.46)

Tabla 3.46. Estándares de fuentes para el HMI.

ÍTEM	FUENTE	TAMAÑO	ESTILO
Títulos de pantalla	Tahoma	21	Negrita
Botones, Subtítulos	Tahoma	16	Negrita
Indicadores válvulas	Tahoma	15	Normal

Estatus de los Equipos y Eventos de Proceso:

En esta fase se debe definir el estándar gráfico de símbolos e íconos que representen el estatus de los diversos equipos de la planta tales como ventiladores, bombas, bandas, válvulas, filtros, etc, así como los cambios de estado digitales (On/Off) de eventos que se requieren representar en las pantallas de proceso. Para este fin es importante recurrir a los estándares locales, nacionales o internacionales de manera que la simbología sea homogénea y fácil de reconocer y diferenciar por el operador.

Al definir estos símbolos e íconos que representen a los equipos y eventos del proceso se recomienda observar las siguientes directrices:

- Deben ser simples, cerrados y de un tamaño suficientemente visible
- Se deben evitar detalles y realismo innecesarios
- Utilizar figuras geométricas simples para definir los símbolos e íconos
- Preferentemente deben ser enmarcados y delimitados con borde oscuro
- Los símbolos e íconos no deben ser confusos

- Si es el caso, se puede reforzar la señalización del estado del equipo o evento con un texto que también lo indique.

(Ferrandiz, 2005)

En esta etapa de la metodología debemos obtener el catálogo de símbolos e íconos que representan cada uno de los dispositivos que se encuentran en la planta y de los eventos discretos (On/Off) asociados al proceso y que se muestra a continuación (Figura 3.126).

Información y Valores de Proceso:

El despliegue de los datos analógicos de proceso es una de las maneras más importantes con las que se informa al operador sobre el estado de la planta, ya sean valores directos del campo o bien procesados por el sistema. La representación en las pantallas de estas variables se lleva a cabo principalmente en dos modalidades: en los gráficos o mímicos de proceso, o bien en tablas y gráficos de tendencias. (Ferrandiz, 2005)

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Válvula en estado Neutro
	Válvula en estado Cerrado
	Válvula en estado Abierto
	Luz indicadora de Cerrado
	Luz indicadora de Abierto
	Luz indicadora de Neutro
	Indicador de Accionamientos bloqueados
	Indicador de Accionamientos habilitados

Figura 3.126. Símbolos e íconos utilizados en el HMI.

El principal problema en el que podemos caer cuando insertamos valores en los mímicos de proceso es el de sobrecargar al operador con una gran cantidad de datos y pero aún desperdigarlos sin sentido.

A continuación se sugieren algunas directrices referentes al despliegue de los valores de la planta:

Respetar y aplicar los estándares previamente definidos respecto al color y la información textual.

- Evitar el uso de decimales poco significativos.
- Si es apropiado y da mejor comprensión al operador, usar barras dinámicas horizontales o verticales para mostrar los valores analógicos, además del valor numérico relativo.
- En caso de utilizar estas barras dinámicas además de etiquetarlas claramente, hay que asegurarse de mostrar su escala.

Es importante que el operador pueda determinar en todo momento las unidades de ingeniería de los datos numéricos pero no necesariamente se deben mostrar siempre.

- Para resaltar valores se puede aplicar un cambio de color de su fondo o bien enmarcarlo con un borde negro.

De esta fase de la metodología debemos obtener la lista clasificada de valores analógicos de la planta. También en este punto debemos

empezar a definir los prototipos de pantallas para representación de los datos analógicos (Figura 3127).

Lista de valores analógicos:

- Manómetro de presión del Preventor anular
- Manómetro de presión del Manifold
- Manómetro de presión del Acumulador de Presión
- Manómetro de presión de aire comprimido
- Nivel de aceite hidráulico en el reservorio
- Regulación de la válvula proporcional

Prototipo de pantalla para representación de datos analógicos

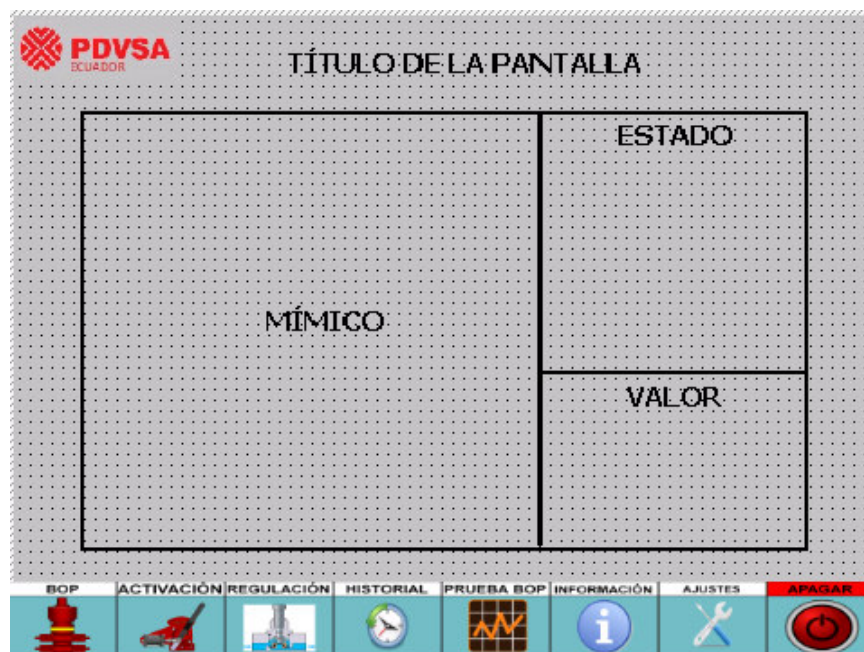


Figura 3.127. Prototipo de pantalla de datos análogos.

Gráficos de Tendencias y Tablas.

Los gráficos de tendencias y las tablas son los principales medios para crear esquemas informativos para el usuario. Para crear los grupos de valores que compondrán los diversos gráficos de tendencias es recomendable partir de los definidos en la etapa anterior y de ahí depurarlos, ya sea uniendo varios grupos, o bien creando nuevos. Para este proyecto sólo se usará un gráfico de tendencias que servirá para realizar las pruebas a la Unidad BOP. **(Ferrandiz, 2005)**

A continuación se sugieren algunas directrices referentes al uso de gráficos de tendencias y tablas.

- No poner más de 9 variables en una sola grafica
- Diferenciar los datos con diferentes colores y tipos de línea
- Asegurarse que los rangos del grafico sean adecuados para la operación
- Mostrar el mínimo y máximo para cada variable
- Incrementar las escalas de abajo hacia arriba o de izquierda a derecha
- Permitir al operador visualizar los valores numéricos de los datos en el tiempo
- Etiquetar los ejes y puntos graficados
- Permitir al operador cambiar el tamaño de la ventana en el tiempo y la fecha de inicio

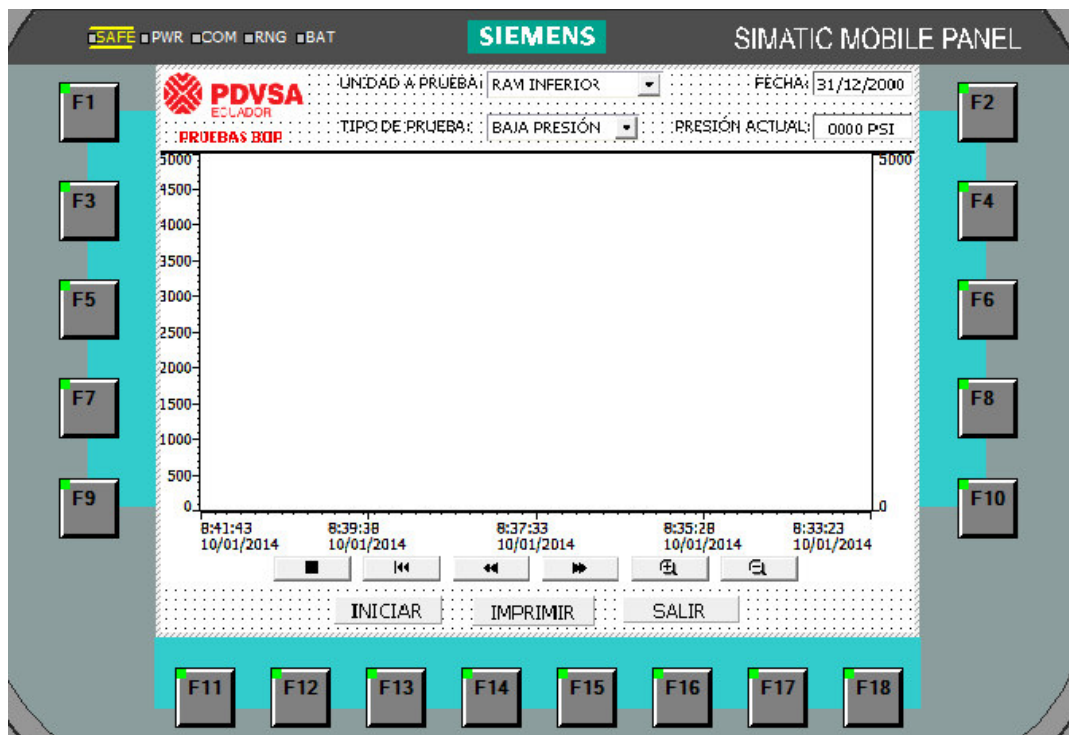


Figura 3.128. Pantalla de pruebas de presión de la unidad BOP.

Comandos e Ingreso de Datos.

En esta fase de la metodología de la interfaz, se establece la intervención del operador al suministra datos al sistema de manera que este se comporte de acuerdo a sus objetivos. Normalmente, las operaciones que efectúa el usuario son: ejecutar comandos, seleccionar opciones e ingresar datos de consigna y parámetros del proceso, aparte del reconocimiento de alarmas que será analizado en el punto siguiente. (Ferrandiz, 2005)

Las características principales que deben tener los comandos son su visibilidad y su facilidad de operación. Para cumplir con estos dos requisitos es imprescindible que su área de acción en pantalla sea de tamaño

considerable, perfectamente etiquetada y por ello reconocible fácilmente por el usuario. Cuando el área de acción (que es la zona donde el usuario debe pulsar) es pequeña se tiene el riesgo que el operador encuentre dificultades o inclusive termine pulsando áreas fuera del comando en cuestión. Otra característica importante es la No-modalidad de los comandos, lo cual significa que estos deben tener el mismo significado sin importar el estado actual del sistema.

Finalmente, una característica clave de los comandos e ingreso de datos por parte del operador es la retroalimentación, lo cual implica, que el usuario debe recibir una respuesta del sistema (positiva o negativa) inmediatamente después que ha efectuado una acción.

Algunas directrices para especificar los comandos del operador se mencionan a continuación:

- Los comandos deben ser claramente visibles para el operador
- Los comandos deben estar claramente etiquetados
- El área de acción sobre el comando debe ser suficientemente grande como para que sea fácilmente operado
- Los diferentes tipos de comandos deben representarse siempre con los mismos tipos de botones para que el operador los identifique rápidamente

- El operador debe ser retroalimentado inmediatamente del resultado de su acción
- Los comandos cualitativamente similares deben dar retroalimentación similar
- Los comandos que activan una acción crítica o de riesgo deben estar claramente etiquetadas y no deben estar cerca de comandos de uso frecuente

Para el ingreso de datos, se sugiere seguir las directrices que se mencionan a continuación:

- Al igual que los comandos, el ingreso de datos debe ser visible, identificable claramente y de tamaño adecuado.
- El operador debe confirmar con el botón de entrada o con un botón de pantalla antes de aceptar el ingreso de cada dato. A su vez se debe confirmar al operador que el dato ha sido aceptado por la interfaz.

Otra modalidad de comunicación con el operador es a través de cajas de diálogos las cuales solicitan datos o respuestas al usuario. Las directrices asociadas a las cajas de diálogo son las siguientes:

- Los diálogos se deben mostrar al operador como consecuencia de una acción de él
- Los diálogos deben ser concisos y claros.

- Los diálogos se deben situar en una parte de la pantalla donde no interfieran con los datos de proceso, esto es, preferentemente en la zona inferior. (Ferrandiz, 2005)
- Solamente cuando el dialogo es de carácter critico se debe mostrar al centro
- Los diálogos de confirmación de las acciones del operador se deben mostrar solamente cuando se trate de operaciones críticas y/o irreversibles.

El producto que se debe obtener de esta fase de la metodología son los estándares de los botones de comando, el estándar de ingreso de datos y las plantillas de los diálogos. (Ferrandiz, 2005)

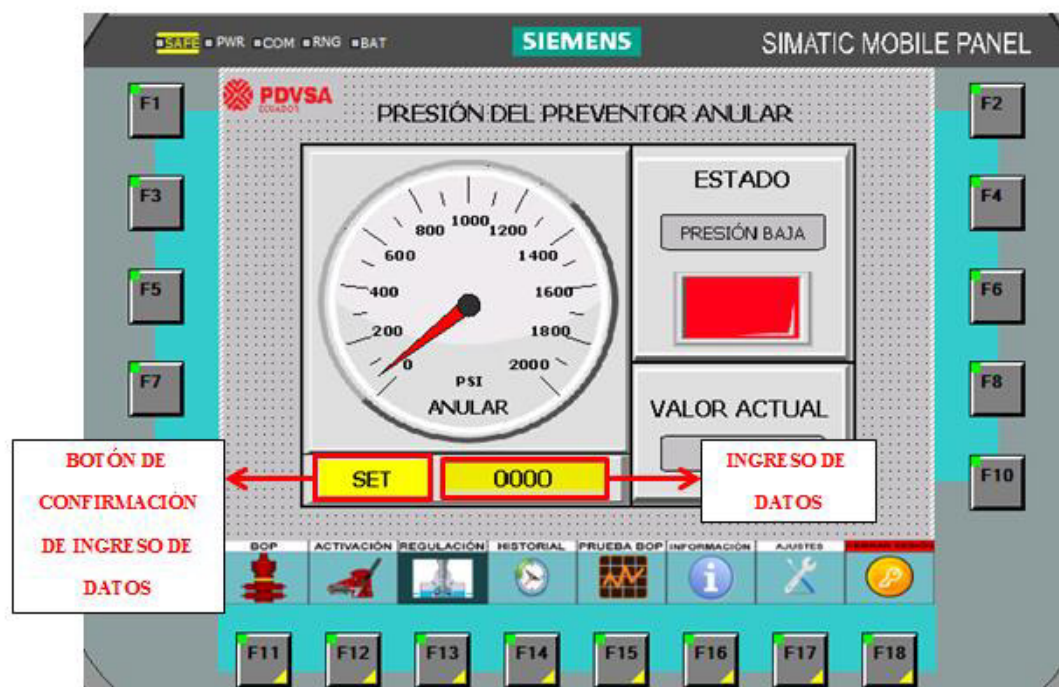


Figura 3.129. Secuencia de ingreso de datos para presión del preventor anular.

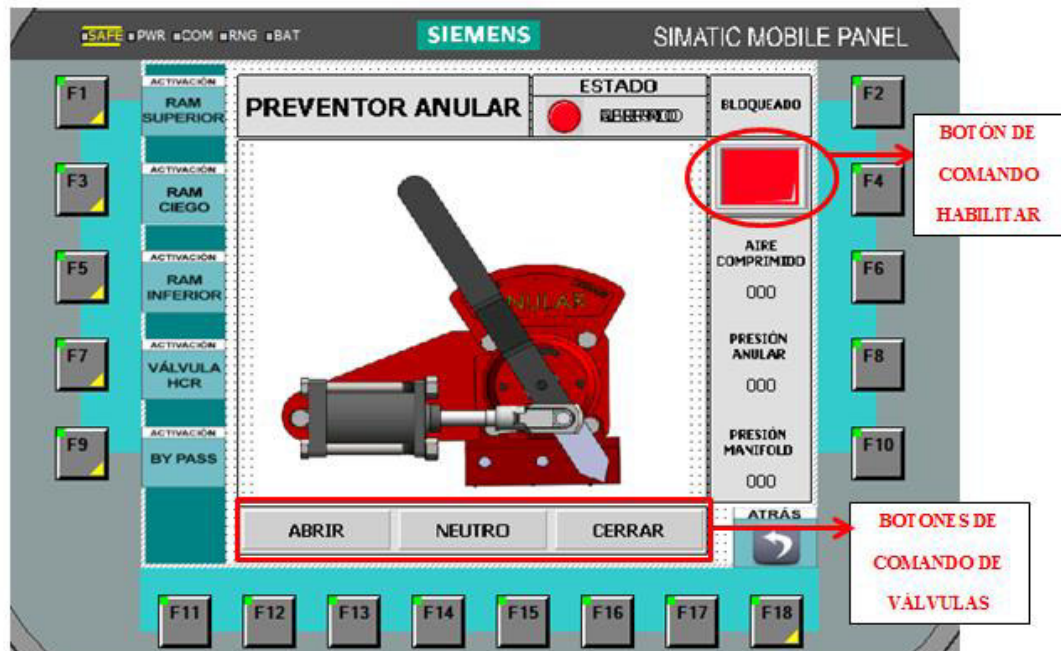


Figura 3.130. Secuencia de accionamiento de válvulas.

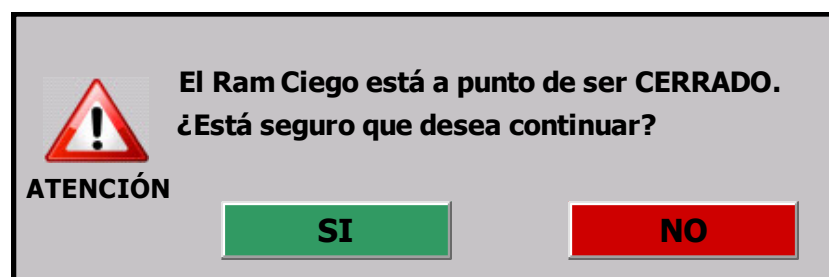


Figura 3.131. Cuadro de diálogo para cierre del ram ciego.

Alarmas.

Las alarmas junto con la representación del estatus de los equipos y de los valores analógicos del sistema constituyen los principales elementos con los que se informa al operador sobre el estado de la planta. Las alarmas

son muy importantes ya que alertan al operador sobre las situaciones anómalas que se presentan en el proceso e implican una intervención de él. En caso de que exista una situación informativa que no requiera una intervención del usuario, entonces será definido como un mensaje en vez de una alarma.

Las directrices que de manera general deben observarse al definir las alarmas son las siguientes:

- Los mensajes y las alarmas deben ser congruentes con los estándares de color, fuentes, texto, tamaño, espaciado y alineamiento predefinidos.
- Se debe evitar el exceso de alarmas y mensajes superfluos al operador
- El código de colores de alarmas debe complementarse con otros elementos como un icono, la visibilidad de un texto, su posición en pantalla o un sonido.

Resumiendo, en esta etapa se deben establecer las características principales del sistema de alarmas y mensajes al operador, el esquema de sus prioridades, la ubicación del listado de alarmas y completar la simbología relativa a la representación de las alarmas y mensajes sobre los sinópticos de proceso. En relación al desarrollo específico de la interfaz, en esta fase se deben finalizar los prototipos de los sinópticos de proceso a parte de definir los prototipos de la ventana del sistema de alarmas. (Ferrandiz, 2005)

Las alarmas que serán implementadas en el HMI son las siguientes:

- Alta y Baja Presión del Acumulador de Presión
- Alta y Baja Presión del Manifold.
- Alta y Baja Presión del Preventor Anular.
- Baja Presión de Aire comprimido.
- Alto y bajo nivel de Aceite Hidráulico en el Reservorio.

Alarma de Alta y Baja Presión del Acumulador de Presión:

El acumulador de presión presente en el taladro CPV-23 tiene una presión de trabajo de 3000 PSI, la misma que es suministrada por dos bombas (Hidroeléctrica e Hidroneumática). Es importante que la presión del acumulador se mantenga en este valor, tomando en cuenta que cuando es activada una de las válvulas de control para accionar los RAMs la presión disminuirá aproximadamente un 20% de la presión de trabajo, la misma que debe recuperarse en un tiempo máximo de 1 minuto según la norma API RP-53. En base a esto los parámetros de diseño de la alarma son los siguientes:

- Presión mínima: 2400 PSI
- Presión máxima: 3600 PSI



Figura 3.132. Indicador de estado de alarma de presión del acumulador.



Figura 3.133. Alarmas representadas en el historial.

Alarma de Alta y Baja Presión del Manifold:

La presión a la que normalmente debe mantenerse el Manifold de suministro de los RAMS es de 1500 PSI. Al igual que el acumulador esta

presión se va a ver reducida cuando sea activada alguna de las válvulas de accionamiento de los RAMS, y debe recuperarse en un tiempo máximo de un minuto. Así mismo esta presión no debe superar los 1700 PSI. En base a esto los parámetros de diseño de la alarma son los siguientes:

- Presión mínima: 1000 PSI.
- Presión máxima: 1700 PSI.



Figura 3.134. Indicador de estado de alarma de presión del manifold.

Alarma de Alta y Baja Presión del Preventor Anular:

El Preventor Anular que forma parte de la unidad BOP del taladro CPV-23 posee un rango de presión de cierre, la cual debe regularse dependiendo del diámetro de la tubería de perforación que se esté utilizando. El rango lo especifica la Figura 3.135 proporcionada por el fabricante.

Pipe O.D. Inches	7-1/16-3M	7-1/16-5M	7-1/16-10M	7-1/16-15M	7-1/16-20M	9-3M	9-5M	9-10M	11-3M	11-5M	11-10M	13-5/8-3M	13-5/8-5M
6-5/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350	-	700	600
5	-	400	-	-	-	-	-	350	450	450	500	800	650
4-1/2	350	400	350	2100	2200	400	450	380	450	450	500	900	650
3-1/2	400	450	550	2100	2200	500	600	570	550	525	700	1000	700
2-7/8	400	450	750	2100	2200	550	650	760	650	800	800	1100	750
2-3/8	500	500	850	2100	2200	650	750	860	750	900	1100	-	950
1 9/8	600	600	900	-	-	750	850	850	920	-	-	-	1000
1 6/8	700	700	1000	-	-	850	950	1000	950	-	-	-	1000
CSO	1000	1000	1150	-	-	1050	1150	1150	1150	1150	1500	1200	1150

Figura 3.135. Presión Promedio de Cierre Del Preventor Hydril GK

En base a la tabla anterior podemos establecer un rango de presiones de cierre, el cual va desde los 700 PSI a los 1150 PSI, por lo cual, las especificaciones para el diseño de la alarma son las siguientes:

- Presión mínima de cierre: 700 PSI
- Presión máxima de cierre: 1150 PSI



Figura 3.136. Indicador de estado de alarma de presión del preventor anular.

Alarma de Baja Presión de Aire Comprimido:

La bomba hidroneumática, así como los cilindros de doble efecto del acumulador trabajan con una alimentación de aire comprimido que posee una presión de 120 PSI. Por lo cual es de suma importancia que la misma no baje de los 80 PSI para garantizar el correcto funcionamiento de la bomba.

En base a esto los parámetros de diseño de la alarma son los siguientes:

- Presión menor a 80 PSI

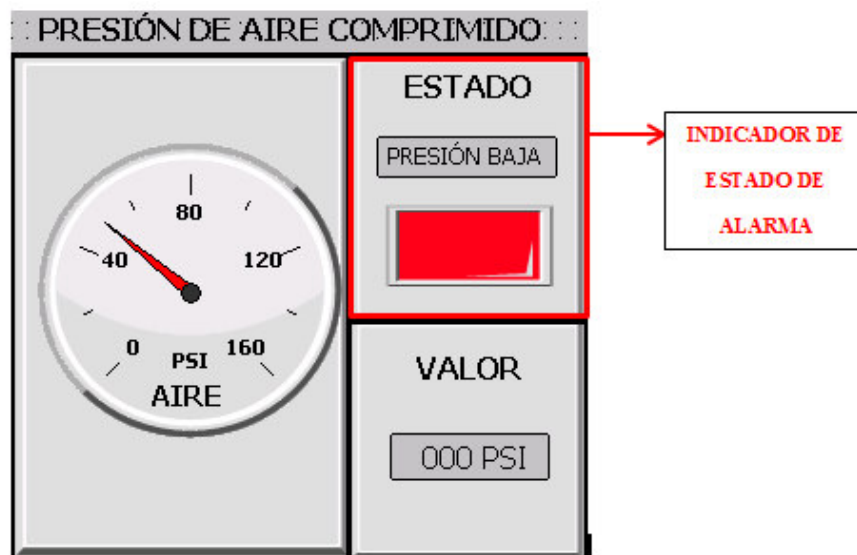


Figura 3.137. Indicador de estado de alarma de presión de aire comprimido.

Alarma de Alto y Bajo Nivel de Aceite Hidráulico en el Reservorio:

Según la norma API RP-53, el sistema BOP debe tener suficiente volumen fluido hidráulico utilizable (con bombas apagadas) para cerrar un preventor de tipo anular, todos los preventores tipo rams desde una posición totalmente abierta, y abrir una válvula HCR. La presión restante debe ser superior a la mínima presión de precarga recomendada en 200 o más PSI,

es decir no debe bajar de los 1200 PSI, ya que la presión de precarga de los cilindros del acumulador de presión es de 1000 PSI.

Se debe realizar el cálculo del volumen de fluido hidráulico que debe tener el acumulador de presión tomando en cuenta el stack de la unidad BOP presente en el taladro CPV-23, el mismo que se detalla a continuación:

- Preventor Anular Hydril GK 5000 PSI 13 5/8" (Empernado).
- BOP Cameron Tipo U Sencilla 10000 PSI 13 5/8".
- BOP Cameron Tipo U Doble 10000 PSI 13 5/8".
- Válvula HCR 10000 PSI 4 1/16".

Cada uno de estos elementos requiere cierto volumen de aceite hidráulico para realizar su apertura y cierre. En la tabla 3.47 se especifican estos valores.

Tabla 3.47. Volumen de cierre y Apertura de Rams.

EQUIPO	VOLUMEN DE CIERRE [Gal]	VOLUMEN DE APERTURA [Gal]
Preventor Anular	17.98	14.16
BOP Sencilla	5.54	5.2
BOP Doble	12.32	11.56
HCR	0.59	0.59

En base a esto se procede a aplicar el método de cálculo mencionado anteriormente con la siguiente ecuación:

$$Volumen\ Total = (Anular_{close} + Rams_{close} + HCR_{open}) * (1.5)$$

$$Volumen\ Total = [17.98 + (5.54 + 12.32) + 0.59] * 1.5$$

$$Volumen\ Total = 54.65\ gal$$

El volumen mínimo de fluido hidráulico que debe existir en el reservorio del acumulador de presión es de aproximadamente 55 Galones.

Así mismo se debe calcular el volumen máximo de aceite hidráulico con el que se debe llenar el reservorio. Para ello se toma en cuenta el criterio que el nivel de fluido debe estar 5 centímetros (2 pulgadas aproximadamente) por debajo del punto inferior de los tapones de inspección de cuatro pulgadas que posee el reservorio.

El volumen total del reservorio es de 280 Galones, y el centro de los tapones de inspección se encuentra a 70 centímetros de altura desde el fondo, como lo indica la figura 3.138.

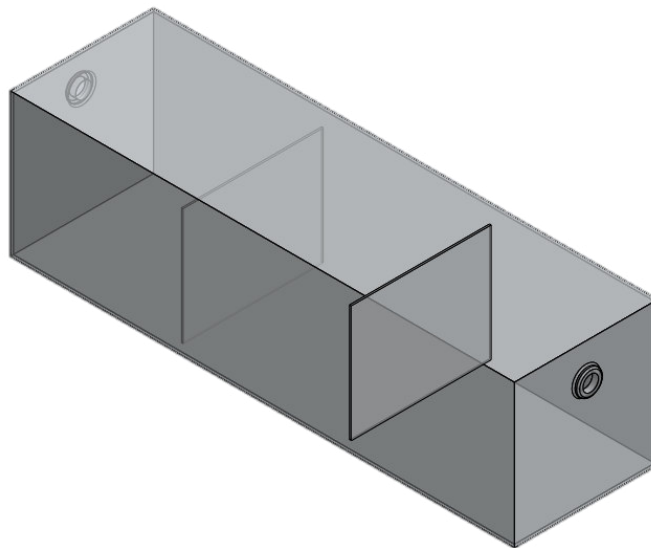


Figura 3.138. Reservorio de Aceite Hidráulico.

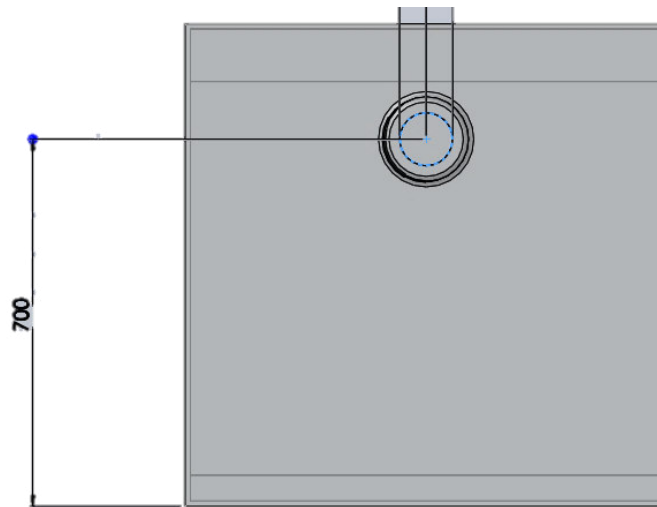


Figura 3.139. Altura del Tapón de Inspección.

En base a esto se calcula el volumen máximo de fluido que debe tener el reservorio, el mismo que no debe superar los 60 centímetros de altura.

$$Vol. \text{ Máximo} = (324cm * 36cm * 60cm) * \left[\frac{1lt}{1000cm^3} \right] * \left[\frac{1gal}{3.78lt} \right]$$

$$Vol. \text{ Máximo} = 185.14 [gal]$$

Una vez realizados estos cculos se pueden establecer los parámetros de diseño de la alarma de alto y bajo nivel de fluido hidráulico:

- Volumen Máximo: 185 [gal]
- Volumen Mínimo: 55 [gal]

El nivel del aceite presente en el reservorio del acumulador de presión se medir con la ayuda de un sensor de nivel de ondas guiadas TDR, el

mismo que enviará la lectura del nivel al PLC, la cual que es normalizada de 4 a 20 mA y escalada por el PLC a un rango de 0 a 280 Gal.

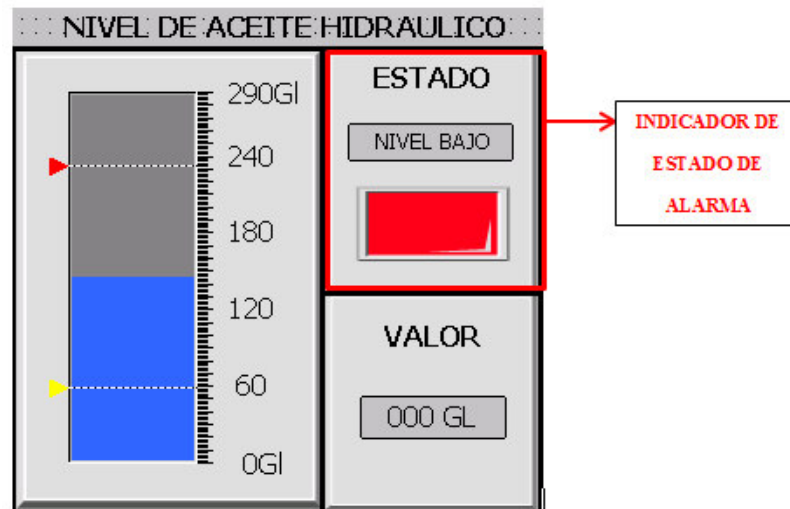


Figura 3.140. Indicador de estado de alarma de nivel de aceite hidráulico.

3.4.4.5 Evaluación de la Interfaz

Los diez indicadores pueden agruparse en una tabla de forma que el operario encargado de aplicar la guía GEDIS pueda medir cada uno de ellos para obtener un índice global.

Medida del Indicador:

Cada uno de los indicadores del Anexo 3, se miden en una escala de 1 a 5. El experto dispone en este punto de información concreta sobre el indicador, de forma que ya puede valorar las necesidades de mejora. Los valores de los indicadores pueden agruparse de manera que la guía GEDIS ofrezca la evaluación global de la interfaz y pueda ser comparada con otras.

En una primera aproximación, se ha considerado el valor medio entre indicadores expresado en la fórmula mostrada a continuación. Es decir, a cada indicador se le asigna un peso idéntico ($p_1 = p_2 \dots = p_{10} = 1$) aunque ello permitirá en futuros estudios valorar la importancia de algunos indicadores por encima de otros. La evaluación global se expresa en una escala de 1 a 5. Atendiendo a la complejidad de los sistemas de supervisión industrial y al hecho de que un diseño ineficaz de la interfaz puede provocar el error humano, la evaluación global de una interfaz de supervisión debería situarse en un valor inicial de 3-4 y proponer medidas de mejora para acercarse al 5. (Pere Ponsa)

$$Eval_global = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_i ind_i}{\sum_{i=1}^{10} p_i}$$

Se realizaron 3 evaluaciones para verificar el diseño del HMI, las personas seleccionadas para llenar esta evaluación fueron: Supervisor de 24 horas, Supervisor 12 horas y Supervisor de Mantenimiento; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.48. Personal que realizó la evaluación del HMI.

EVALUADOR	PUNTAJE
Supervisor 24 horas	4.7
Supervisor 12 horas	4.9
Supervisor de Mantenimiento	4.5

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

El sistema de comunicación dentro de la automatización industrial juega un papel esencial, ya que de éste depende la funcionalidad total del proyecto; es decir, la comunicación industrial es la encargada de transmitir, enviar y recibir datos entre los equipos que conforman un sistema automatizado.

El objetivo primario del sistema de comunicación es el de proporcionar el intercambio de información (de control) entre dispositivos y garantizar la estabilidad de una comunicación continua.

3.5.1 IWLAN

Dado que algunas de las ventajas de este proyecto son, la portabilidad y la eliminación de cableado y tuberías; la comunicación del sistema deberá acoplarse a éstas características. Es por esto que el enlace de comunicación será inalámbrico y dentro de una red local privada. A continuación se detallan algunas de las razones que sustentan el uso de comunicaciones inalámbricas:

- **Movilidad:** Los usuarios móviles pueden conectarse desde cualquier punto dentro de la cobertura de la red local.
- **Fácil instalación:** La ausencia de cableado hace que la instalación sea mucho más sencilla.
- **Reducción de costos:** Al no tener que realizar instalaciones con cable se ahorran gastos por tomas, borneras y cables.

- Escalabilidad: Si se desea ampliar el sistema, se pueden agregar más equipos a la red sin tener que hacer cambios en el sistema.
- Disminución de fallas: Al ser el medio de transmisión el aire, no está propenso a fallas por rotura de hilos, puntos calientes y cables aplastados

Esto se puede lograr gracias a la tecnología IWLAN (Industrial Wireless LAN) de Siemens, que proporciona equipos de comunicación fiables, robustos y seguros para ambientes rudos de trabajo. Las IWLAN utilizan la tecnología Wi-Fi, que es un sistema que envía datos utilizando ondas de radio; estas ondas se propagan en línea recta y en varias direcciones al mismo tiempo y pueden atravesar obstáculos como paredes y objetos.

3.5.1.1 Características de las IWLAN

Propagación:

Las señales de radio se propagan tridimensionalmente en el espacio como ondas electromagnéticas. Como indica la figura 3.141, cuando las ondas de radio chocan con algún objeto, se reflejan completamente si el objeto es de un material conductor; mientras que cuando chocan con un objeto no conductor, una parte de las ondas se refleja, otra parte es absorbida por el objeto y el resto atraviesa el objeto. Además, cuando estas ondas chocan en bordes de objetos, se dispersan en todas las direcciones.

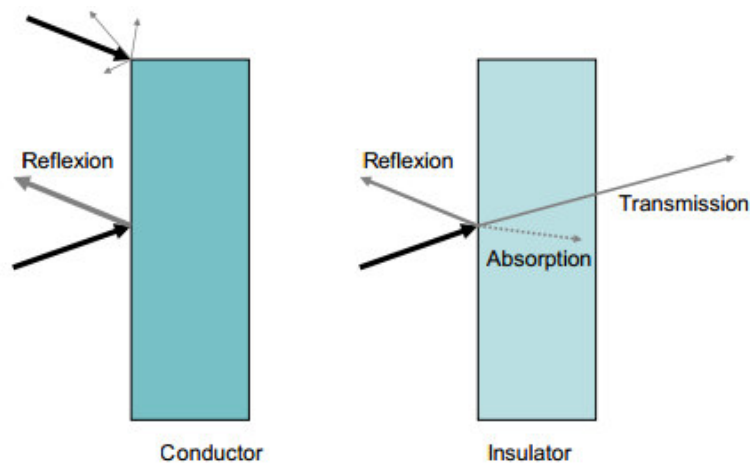


Figura 3.141. Propagación de ondas de radiofrecuencia

Interferencia:

Cualquier objeto que se encuentre en el radio de cobertura de la red inalámbrica puede interrumpir la red si éste envía señales en la misma frecuencia que el transmisor. Las redes de radiofrecuencia son susceptibles a interferencias por cualquier dispositivo en su entorno, el cual, ya sea continua o intermitentemente, puede emitir radiaciones por limitados canales. Estos dispositivos incluyen transmisores Bluetooth, hornos microonda, equipos de soldadura, etc. Por ello, la manera de prevenir interferencias en la red es realizando una planificación y estudio de todos los equipos que pueden ocasionar inconvenientes. (Rodil Jiménez & Pardo de Vega)

Rango de transmisión:

Básicamente, el rango de transmisión en los transmisores de onda corta (alta frecuencia) es más pequeño que en los transmisores de onda

larga. Las señales de onda corta se comportan de manera similar a la luz, que se puede propagar sólo en línea recta y es completamente absorbida o reflejada en los objetos. Esto resulta en un considerable decrecimiento de la calidad de la señal y en la línea de visión entre el transmisor y el receptor. Para incrementar el rango de transmisión es recomendable usar antenas direccionales.

Tasa de Datos:

La máxima tasa de datos que se puede transmitir es proporcional a la frecuencia de transmisión. Es decir, a una mayor frecuencia del transmisor, se obtendrá una mayor tasa de datos. Los transmisores que se encuentran a 2,4 GHz pueden alcanzar un rango de transmisión de entre 30m o 100m, en interiores y exteriores respectivamente; alcanzando una tasa de envío de datos de hasta 54 Mbps.

El uso de la tecnología Wireless en un entorno industrial difiere en gran medida del el uso que pueda darse en un entorno doméstico; existen factores como la temperatura, humedad y radiaciones que deben tomarse en cuenta a la hora de seleccionar los equipos.

Wi-Fi utiliza un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11:

- 802.11b: aprobado en 1999. Opera a una velocidad máxima de 11Mbps.

- 802.11g: aprobado en 2003 y compatible con el estándar 802.11b. Opera a una velocidad máxima de 54 Mbps.
- 802.11n: aprobado en 2009 y compatible con el estándar 802.11g. Opera a una velocidad máxima de 600 Mbps.

	802.11 "a"/"h"	802.11 "b"	802.11 "g"	802.11 "n"
Frequency band	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz 5 GHz**)
Gross data rate	54 Mbits/s	11 Mbits/s	54 Mbits/s	600 Mbit/s
Net data rate approx.	23 Mbit/s	4,3 Mbit/s	19 Mbit/s	74 Mbit/s
Modulation / multiplex method*)	OFDM	DSSS	OFDM	MIMO

Figura 3.142. Estándares para redes inalámbricas.

3.5.1.2 Seguridad en las IWLAN

Las redes inalámbricas pueden crear un sentimiento de inseguridad al usuario al pensar que, por ejemplo, para un intruso no sería necesario ingresar a una fábrica para acceder de alguna manera a la información privada que maneja la empresa, ya que cualquiera que se encuentre en el radio de la red podría acceder a ella. Esta situación también puede darse en redes cableadas (LAN), ya que la mayoría de redes LAN están conectadas al internet y por ello son potencialmente objeto de ataques informáticos.

Es por esto que, debido a los avances en seguridad, estándares y capacidades de los componentes de una red inalámbrica, hoy en día las redes inalámbricas son consideradas igual o más seguras que las redes cableadas. (SIEMENS, Basics of Setting up an Industrial Wireless LAN, 2013)

La seguridad en las conexiones inalámbricas es muy importante, ya que los datos viajan por el aire que es un medio al que puede acceder cualquier persona. Para que los datos no viajen por el aire de forma legible, hay que encriptar y codificar la comunicación y para lograr esto existen 3 tipos de encriptación:

- WEP (Wired Equivalent Privacy): está basado en el algoritmo de encriptación RC4 y utiliza claves de 64 bits, 128 bits o 256 bits. Este algoritmo no es muy seguro y existen programas que rompen este cifrado en pocos minutos.
- WAP (Wi-Fi Protected Acces): esta encriptación fue creada temporalmente para mejorar el cifrado WEP. Utiliza el mismo algoritmo que WEP pero incorpora un vector de inicialización de 48 bits y además distribuye claves diferentes a cada usuario.
- WAP2: Está basado en el algoritmo de cifrado AES que utiliza cálculos más complejos que el algoritmo RC4.

Además de encriptar la comunicación hay otras recomendaciones para aumentar la seguridad de la red:

- Desactivar la difusión del SSID: Si esta opción no es desactivada, cada 10 ms el punto de acceso propaga el SSID por la red. Si lo descativamos, solamente los usuarios que conozcan el nombre de la red van a poder acceder a ella.
- Utilizar filtrado de direcciones MAC: En una red local donde el número de equipos que se unen a la red es fijo, se pueden guardar sus

direcciones MAC en el punto de acceso para evitar que otros equipos con diferentes MAC se conecten a la red.

3.5.1.3 Requerimientos para redes desarrolladas en ambientes industriales

- Volumen de información: A diferencia de usos en oficina, donde los archivos que se manejan están en el orden de los Megabytes, en las aplicaciones industriales los paquetes de datos son normalmente mucho más pequeños.
- Velocidad de transmisión: Durante la comunicación entre equipos de oficina, un retraso temporal, por ejemplo cuando se envía un documento a imprimir, no causa ningún problema. Pero en el ambiente industrial los valores que se están midiendo y los controles de mando (Paro de emergencia), deben obligadamente ser ejecutados en rangos de milisegundos.
- Fallas de seguridad y fiabilidad: La pérdida o alteración de información durante una transmisión en ambiente de oficina normalmente no es crítico ya que se mantienen respaldos de la información y la transmisión puede repetirse. En el caso de las plantas industriales, los retrasos por transmisiones fallidas y sus repeticiones no son aceptados, ya que procesos dependen de ellas.
- Interferencias de fuentes externas: Los ambientes domésticos no tienen mayor interferencia por dispositivos que no forman parte de la red. No así en locaciones industriales donde se pueden encontrar

algunos equipos que ocasionen interferencias como arcos de soldadura, convertidores de frecuencia, relés y controladores.

3.5.2 Bandas de Frecuencia

3.5.2.1 Banda de 2,4 GHz

Esta banda de frecuencia que puede ser usada sin una licencia en la mayoría de países. Debido al relativo bajo costo de fabricación de dispositivos de 2,4 GHz, esta tecnología es muy popular y es usada no sólo para redes inalámbricas sino, para otras aplicaciones. (Rodil Jiménez & Pardo de Vega)

Distribución de canales:

Esta banda está normalmente dividida en 13 canales que mantienen una distancia de 5.5 MHz entre sí. Sin embargo esto no significa que están disponibles 13 frecuencias para cada WLAN.

Para tasas de datos de hasta 54 Mbps, cada transmisor usa una banda con un ancho de más de 40 MHz. Esto quiere decir que para evitar que los transmisores en la red se interrumpan unos con otros, es necesario que mantengan al menos esta distancia en frecuencia. Así, se reduce el número de frecuencias que pueden ser usadas independientemente de otras a 3: los canales 1, 7 y 13 (figura 3.143).

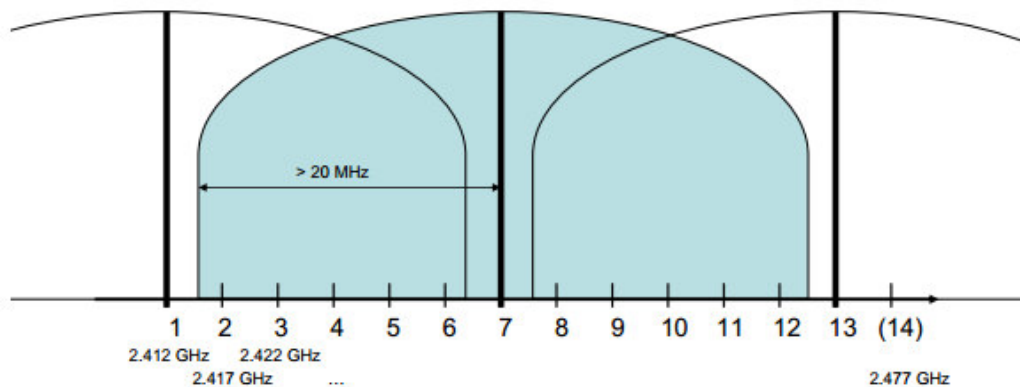


Figura 3.143. Ancho de banda e interferencia de canales.

Cuando en una red existen muchos puntos de acceso, se recomienda usar estos canales que son independientes unos con otros. En este caso también es recomendable cambiar de frecuencia de banda a 5 GHz, que ofrece un mayor número de canales independientes.

3.5.2.2 Banda de 5 GHz

Para esta frecuencia de banda están aprobados diferentes números de canales en varias regiones del mundo. Generalmente las ondas de 5 GHz son más fuertes, es decir su comportamiento es similar a los rayos de luz; existe menos difracción alrededor de los objetos, la absorción es mayor y la profundidad de penetración es menor que para las ondas de 2,4 GHz. Por ello, generalmente los rangos de transmisión de 5GHz son un poco menores a los de 2,4 GHz. Y, comparando las 2 bandas, la banda de 5 GHz es claramente, por decirlo así, menos ocupada y consecuentemente existirían menos interferencias en la red. (Rodil Jiménez & Pardo de Vega)

3.5.2.3 Comparación de las bandas de 2,4 GHz y 5GHz

Seguridad de conexión (Interferencia de otros dispositivos): La gran popularidad de la banda de 2,4 GHz se traduce en el hecho de que un gran número de dispositivos que no tienen nada que ver con una IWLAN, también transmiten en este rango; y pueden ser dispositivos Bluetooth, microondas, teléfonos inalámbricos, etc. Esto puede causar problemas en configurar una WLAN. Dependiendo del tipo de la fuente de interferencia, puede ser recomendable cambiar a la banda de 5GHz.

Tasa de datos:

La tasa de datos en ambas frecuencias están aproximadamente en el mismo rango, 54 Mbps. Pero, dado que la banda de 5 GHz es menos ocupada por fuentes que pueden interferir y tiene más canales de transmisión independientes, tiene un mayor flujo de datos.

Rango:

El rango en los dos sistemas es aproximadamente igual, entre rangos de 30m a 100m. Sin embargo los sistemas de 5GHz se ven afectados por atenuaciones por obstáculos, entonces puede concluirse que tienen un rango un poco menor a los sistemas de 2,4 GHz.

Tamaño:

Debido al uso de ondas más cortas en componentes de 5 GHz, los tamaños de fabricación también se reducen, por ello se consiguen

dispositivos más pequeños de 5 GHz que de 2,4 GHz. Obviamente no aplica para dispositivos con banda doble (2,4 GHz y 5 GHz).

Costo:

Generalmente, los dispositivos de 5GHz son más costosos que los dispositivos de 2,4 GHz debido a la tecnología más costosa que utilizan, sin embargo, existen componentes que combinan las dos tecnologías en un solo dispositivo.

3.5.3 Selección de equipos

Para este proyecto se han seleccionado los equipos de comunicación de Siemens, SCALANCE W788-1, son enrutadores diseñados para gabinetes en ambientes industriales.



Figura 3.144. SCALANCE W788-1.

Entre sus características más importantes tenemos las siguientes:

- 3 puntos de conexión R-SMA para antena
- Estándar IEEE 802.11 a/b/g/h/n
- Banda doble (2,4 GHz y 5 GHz)
- Tasa de transmisión de hasta 450 Mbps
- Conexión RJ45
- Alimentación 24VDC
- Grado de protección IP30
- Consumo de corriente 0.45A
- Temperatura de operación de -20°C a 60°C
- Capacidad dual entre Punto de Acceso y Cliente
- Carcasa robusta de aluminio, a prueba de impactos y vibraciones, para requisitos mecánicos altos. (SIEMENS, Industrial Wireless LAN, SCALANCE W700 Web Based Management, 2012)

Al tener la capacidad dual de configurarse entre Punto de Acceso o Cliente, se seleccionarán 2 equipos de los mismos y así, uno actuará como el punto de acceso ubicado en la cajera principal del Acumulador de Presión, y el otro como cliente receptando y enviando información desde la cajera ubicada en la Casa del Perro.

Además se adquirirán antenas omnidireccionales ya que los equipos SCALANCE no incluyen antenas. Este tipo de antenas garantizan una comunicación directa entre los equipos e incrementan el rango de

transmisión de datos. Las antenas son accesorios que proporciona Siemens, fabricadas precisamente para cada Punto de Acceso. El modelo de las antenas es ANT795-6MT, y tiene las siguientes características:

- Antena tipo MIMO omnidireccional
- Banda dual de 2,4 GHz y 5 GHz
- 3 conectores QMA hembra
- Material de fabricación policarbonato
- Grado de protección IP 65
- Temperatura de operación de -40°C a 85 °C
- Ganancia 4dBi – 6 dBi para cada frecuencia respectivamente
- Ángulo de radiación horizontal 360°
- Ángulo de radiación vertical 65°
- Está diseñada para montaje en techo o (junto con la abrazadera de montaje incluida) bajo un tejado
- Adecuada para su uso con equipos móviles



Figura 3.145. Antena Omnidireccional ANT795-6MT.

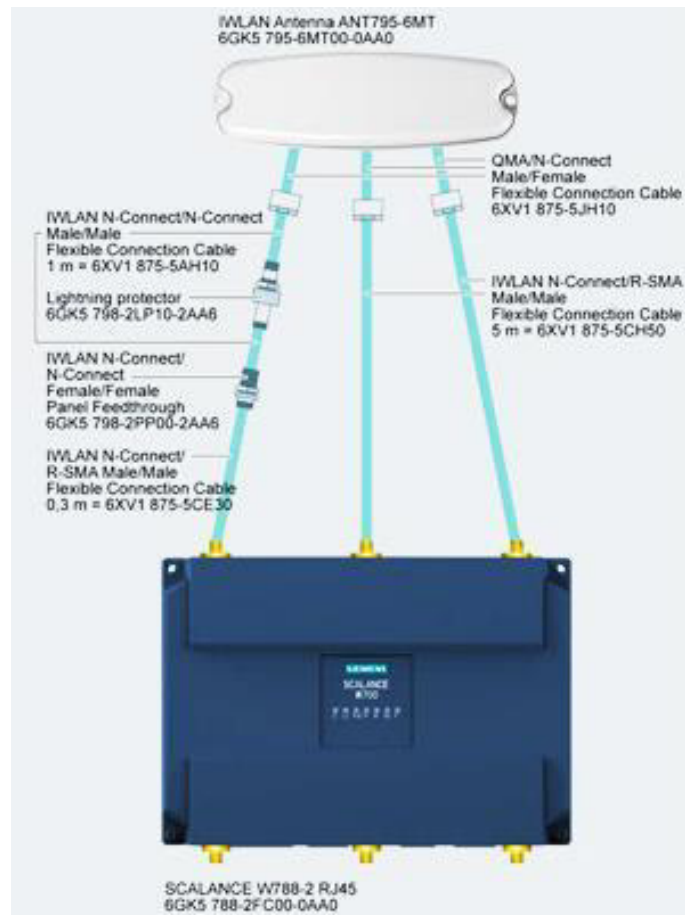


Figura 3.146. Conexión de antena y dispositivo Scalance

3.5.4 Cálculo del ancho de banda

Una vez seleccionados los equipos, podemos realizar un cálculo del ancho de banda para determinar si la transmisión de datos va a ser posible.

Para realizar este cálculo empezamos por determinar la resolución y el tiempo de muestreo de cada módulo análogo del PLC, como se muestra en la tabla 3.49.

Tabla 3.49. Resolución y tiempo de muestreo de módulos del PLC

MÓDULO	N° SENSORES CONECTADOS	RESOLUCIÓN	TIEMPO DE MUESTREO
Entradas Análogas del CPU	2	10 bits	4.17 ms
Entradas Análogas 1231	4	13 bits	4.17 ms
Signal Board 1232	1	12 bits	1.042 ms

Con estos datos procedemos a calcular el ancho de banda que ocuparía cada sensor análogo conectado a los diferentes módulos del PLC.

- Sensores (02) de las entradas análogas del CPU:

$$AB_1 = \frac{1 \text{ muestra}}{4.17 \text{ ms}} * \frac{1000 \text{ s}}{1 \text{ s}} * \frac{10 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 2398.08 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$$

$$AB_1 = 2398.08 \frac{\text{bits}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Mbit}}{1024 \text{ bits}} = 2.34 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}$$

- Sensores (04) del módulo de entradas análogas 1231:

$$AB_2 = \frac{1 \text{ muestra}}{4.17 \text{ ms}} * \frac{1000 \text{ s}}{1 \text{ s}} * \frac{13 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 3117.50 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$$

$$AB_2 = 3117.50 \frac{\text{bits}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Mbit}}{1024 \text{ bits}} = 3.04 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}$$

- Sensor del módulo SB 1232:

$$AB_3 = \frac{1 \text{ muestra}}{1.042 \text{ ms}} * \frac{1000 \text{ s}}{1 \text{ s}} * \frac{12 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 11516.31 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$$

$$AB_3 = 11516.31 \frac{\text{bits}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ Mbit}}{1024 \text{ bits}} = 11.24 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}$$

Para determinar el consumo máximo del ancho de banda que tendría la red, se suman todos los valores antes calculados del ancho de banda ocupado por cada sensor.

$$AB_{TOTAL} = (\#Sensores_1 * AB_1) + (\#Sensores_2 * AB_2) \\ + (\#Sensores_3 * AB_3)$$

$$AB_{TOTAL} = \left(2 * 2.34 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}\right) + \left(4 * 3.04 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}\right) + \left(1 * 11.24 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}\right)$$

$$AB_{TOTAL} = 28.08 \frac{\text{Mbits}}{\text{s}}$$

De los datos técnicos del dispositivo Scalance de comunicación se obtiene el ancho de banda, el cual es de 450 Mbits/s. Por este motivo se concluye que la transmisión de datos a través de la red inalámbrica no va a tener ningún inconveniente puesto que el máximo de ancho de banda consumido por los sensores es de 28.08 Mbits/s.

3.5.5 Infraestructura de la red

La infraestructura de la red determina la forma en la que los equipos de una red van a estar conectados. Esto depende de la funcionalidad del

sistema y la aplicación que se le dará. Para el caso de este proyecto se utilizará una infraestructura conocida como Stand-alone. La topología stand-alone consiste en un determinado número de clientes que están localizados dentro del radio de un solo Punto de Acceso. La función del punto de acceso está limitada a la coordinación del cliente. (SIEMENS, Basics of Setting up an Industrial Wireless LAN, 2013)

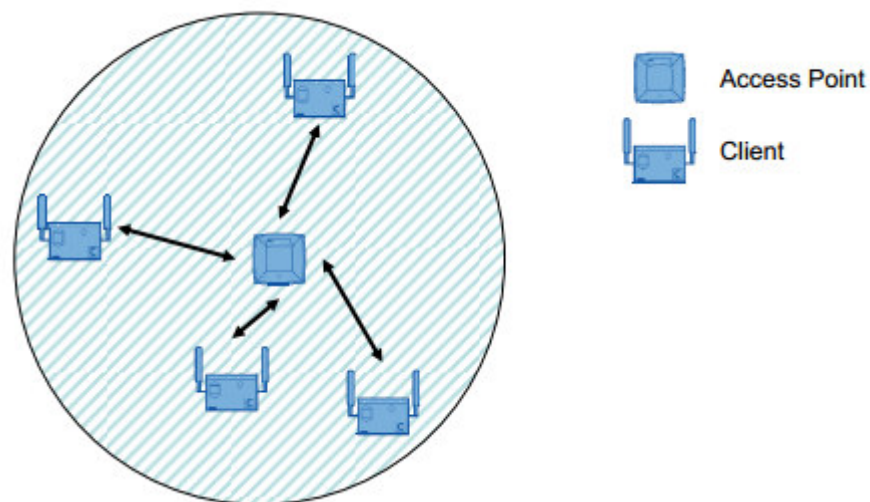


Figura 3.147. Topología de red Stand alone.

3.5.6 Configuración de la red

Una vez seleccionados los equipos que conformarán la red y determinado la topología de conexión, se procede con la configuración de los equipos. En primer lugar se configurará el Punto de Acceso para luego configurar el Cliente.

3.5.6.5 Configuración del Punto de Acceso:

El primer paso para la configuración de un SCALANCE W788-1 es la asignación de una dirección IP para poder ingresar a su panel de configuraciones. Con la ayuda del software Primary Setup Tool de Siemens (Figura 3.148), incluido con los equipos SCALANCE.

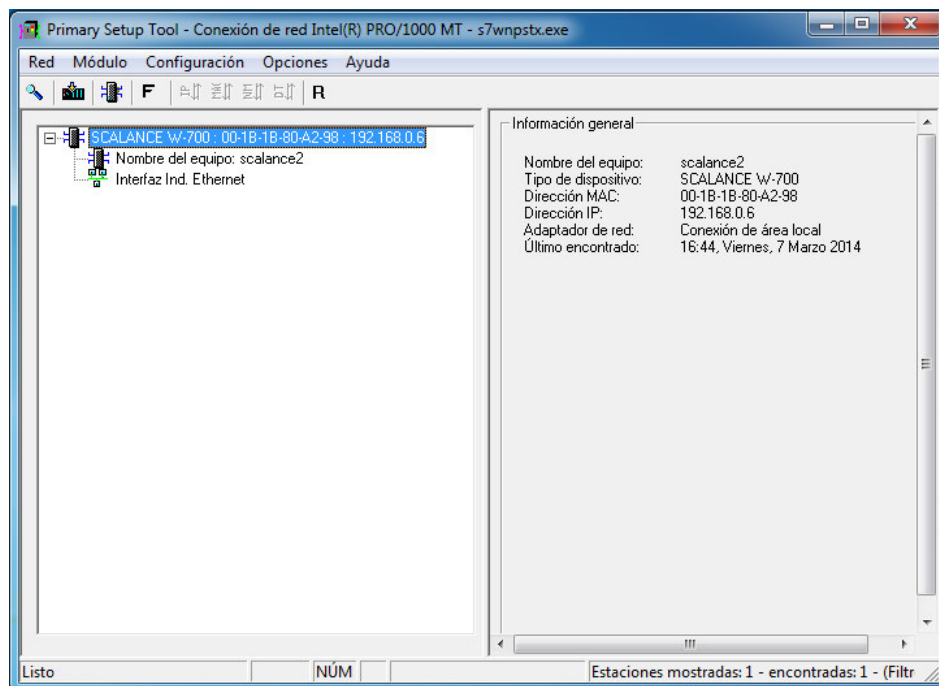


Figura 3.148. Primary Setup Tool.

Seleccionamos el equipo detectado y le asignamos una dirección IP y una máscara de subred. Además se debe establecer un nombre para el equipo (Figura 3.149)

Una vez asignados sus parámetros, el equipo está listo para ser configurado conforme a la red que se desea. Para esta configuración nos valemos de Web Base Management (WBM), herramienta con la cual se accede desde un navegador mediante la IP asignada a la configuración del equipo.

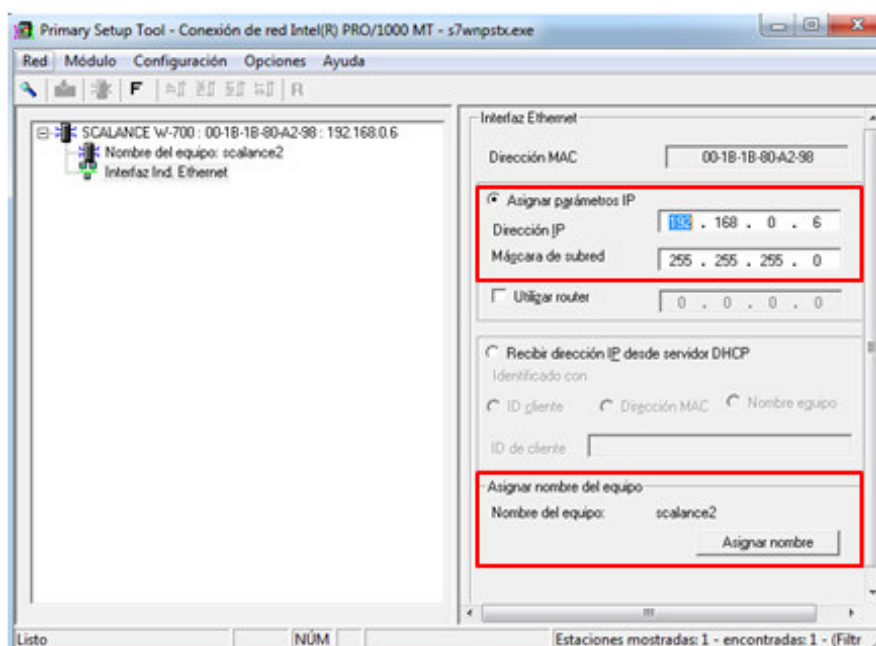


Figura 3.149. Asignación de IP y nombre de dispositivo.

Una vez dentro de la configuración, accedemos mediante usuario y clave suministradas por defecto por el fabricante. Seleccionamos de entre las opciones laterales, la pestaña Interfaces/WLAN y procedemos a configurar nuestros parámetros (Figura 3.150). Inicialmente seleccionamos el modo del dispositivo (para este caso: Access Point) y el país de uso. Luego determinamos la frecuencia de banda a la que va a trabajar nuestro sistema, como ya se describió antes, una banda de 5 GHz permite menos interferencias y más seguridad en la comunicación. A continuación, se selecciona el estándar de comunicación: 802.11 n, que es el estándar que

permite mayor tasa de datos neta y el más recomendado. Finalmente se elige la opción para Selección dinámica de frecuencias (DFS), la cual ayuda a cambiar de canal de transmisión en caso de una interferencia; y la opción para funcionamiento en exteriores (Outdoor Mode) que incrementa el rango de transmisión.

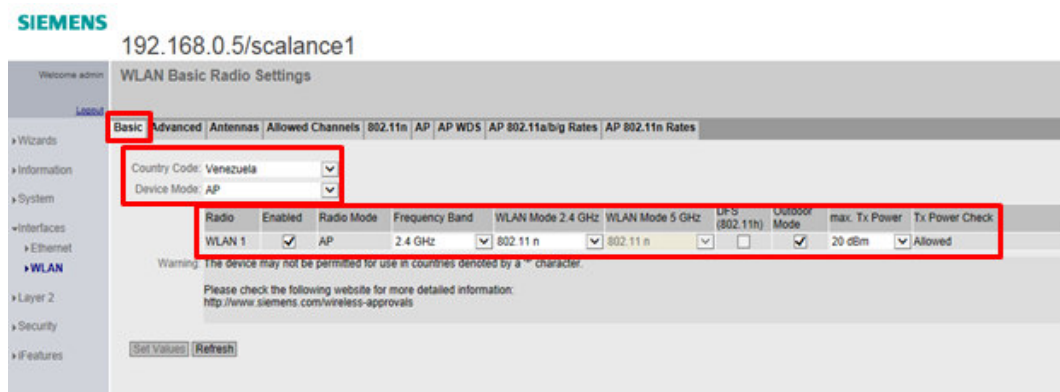


Figura 3.150. Configuración básica de Punto de Acceso.

El siguiente paso es configurar las antenas (Figura 3.151). Para esto seleccionamos el tipo de antena en base al modelo de nuestras antenas: ANT795-6MT, luego medimos la longitud del cable de conexión de la antena y colocamos en el casillero "Cable Length". Este tipo de antena posee una conexión triple, así que se configuran las 3 entradas de antena con el mismo tipo de antena.

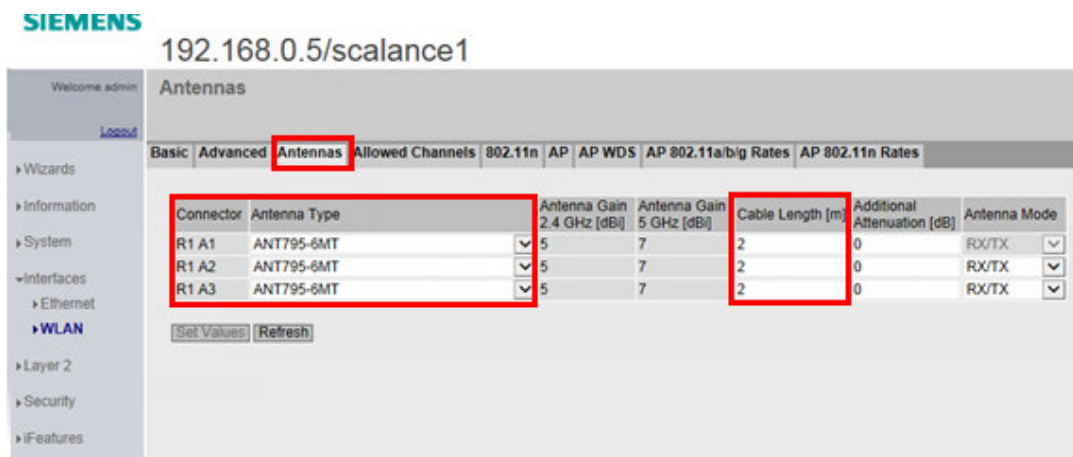


Figura 3.151. Configuración de antenas del Punto de Acceso

Luego se realiza la configuración del Punto de Acceso (Figura 3.152). Es aquí donde colocaremos el nombre de la red (SSID), se marcará la opción de ocultar el nombre de la red y se seleccionarán los canales de comunicación. Como medida de seguridad el nombre de la red se ocultará y además para garantizar que no exista superposición de frecuencias (overlapping) se seleccionan automáticamente los canales, que junto con la opción de DFS permiten un cambio de frecuencia de transmisión en caso de interferencias.

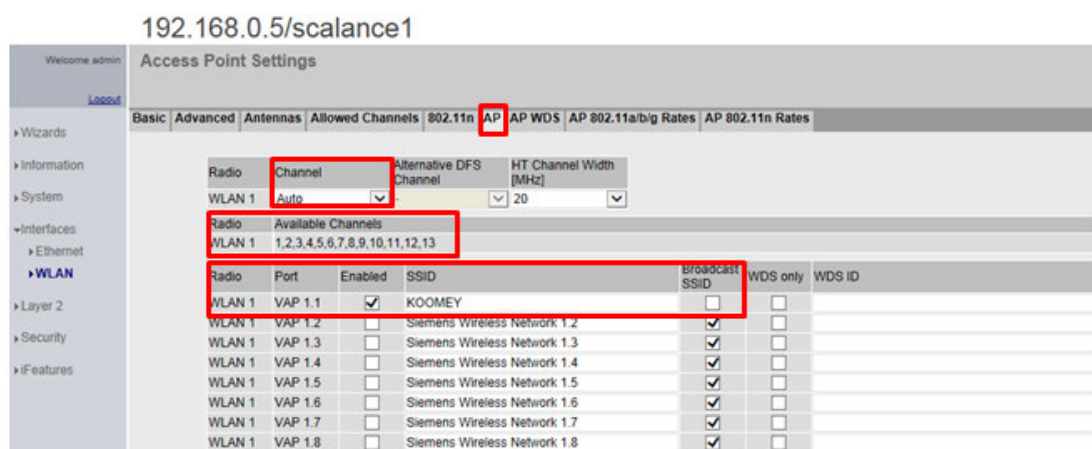


Figura 3.152. Configuración parámetros Punto de Acceso.

Por último se le agrega seguridad a la red con una clave de acceso del tipo WPA2, con el fin de proteger el acceso de cualquier otro dispositivo a la red, accediendo al menú lateral Security/WLAN (Figura 3.153). Así concluye a configuración del Punto de Acceso y ahora se procederá a configurar el cliente.

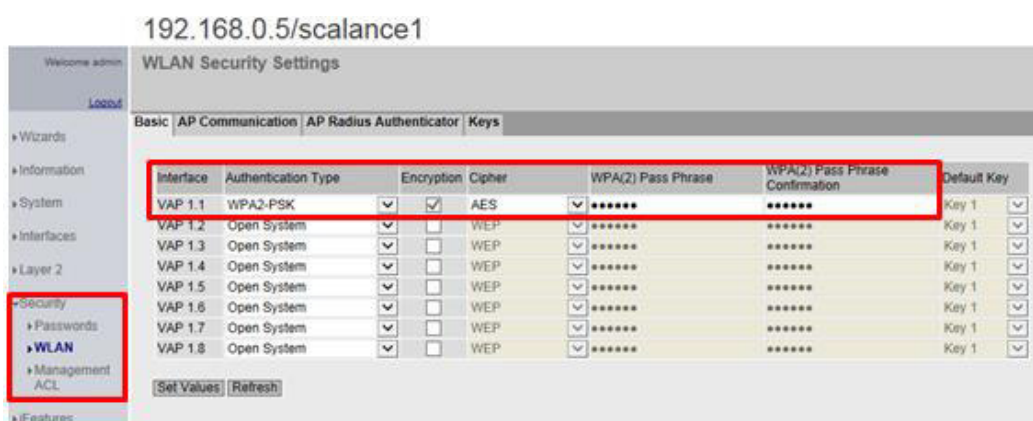


Figura 3.153. Configuración de seguridad del Punto de Acceso.

3.5.6.2 Configuración del Cliente:

Al igual que el Punto de Acceso, antes de configurar el dispositivo, se debe asignar una dirección IP y nombre del equipo. Cabe recalcar que la dirección IP asignada al Cliente, debe estar dentro del rango de direcciones IP que se asignó al Punto de Acceso.

Una vez que se asignó una IP y nombre al cliente, ingresamos a su configuración por WBM y procedemos con su configuración. Como muestra la Figura 3.154 iniciamos la configuración en la pestaña Basic del menú Interfaces/WLAN; seleccionamos el país y el modo del dispositivo, que para

este caso, será Cliente. Luego colocamos la frecuencia de banda: 5 GHz, el estándar de comunicación: 802.11n, la opción DFS y el modo para exteriores activados al igual que en el Punto de Acceso.

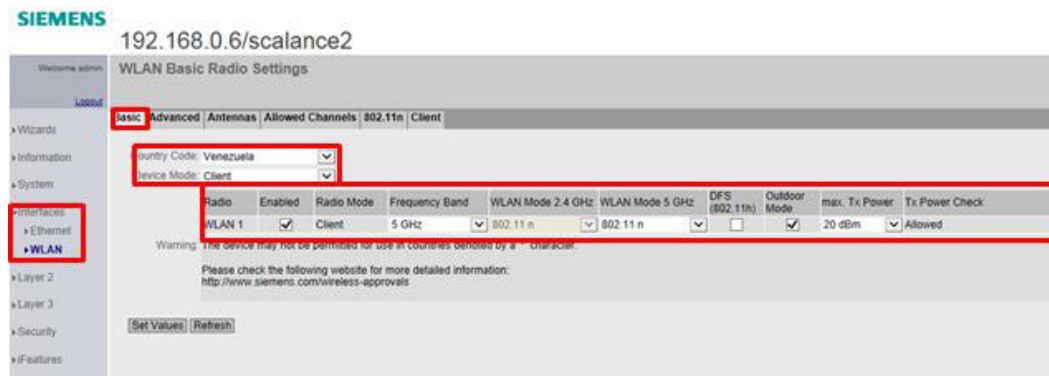


Figura 3.154. Configuración básica del Cliente

Ahora procedemos a la configuración de las antenas del dispositivo cliente, y al ser el mismo equipo, posee las mismas antenas y por ende la misma configuración antes realizada (Figura 3.155).

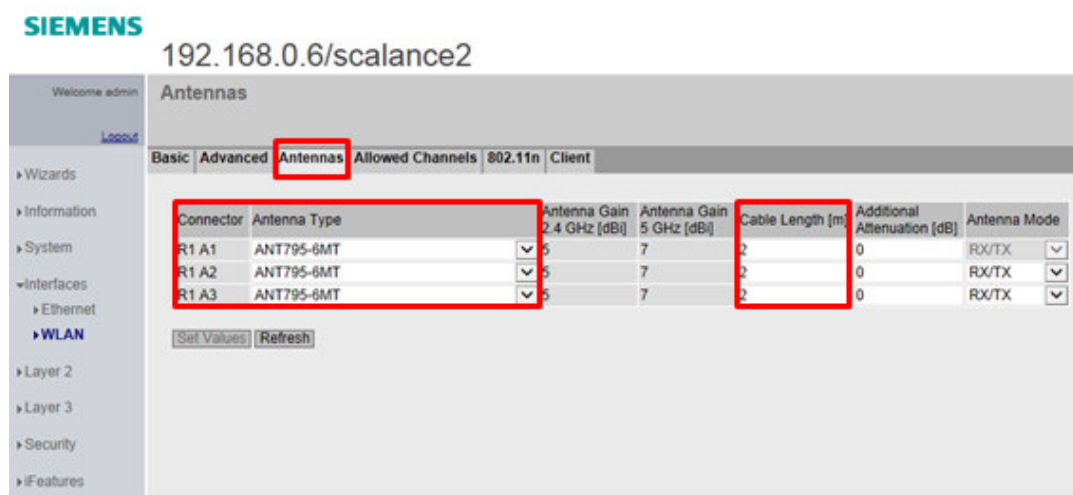


Figura 3.155. Configuración de antenas del Cliente.

A continuación, la configuración de las opciones del cliente. Aquí se selecciona la forma en la que el cliente se comunicará con el Punto de

Acceso; entonces, para garantizar una comunicación directa se configurará la dirección MAC de la red WLAN a la que debe conectarse el cliente en modo manual.

Esta dirección se obtiene del Punto de Acceso, en información de nuestra WLAN creada. Además se debe quitar la opción de conectarse a cualquier red (Any SSID) ya que el cliente debe permanecer siempre conectado a su único Punto de Acceso. Al quitar esta opción, se debe ingresar el nombre de la red a la que se conectará, debido a que en el Punto de Acceso se configuró para que no se difunda el nombre de la red. Así mismo se seleccionan los canales automáticamente para su cambio dinámico por DFS.

SIEMENS 192.168.0.6/scalance2

Welcome admin Client Settings

Logout

Basic Advanced Antennas Allowed Channels 802.11n Client

Radio	MAC Mode	MAC Address	Any SSID	Roaming Threshold	Background Scan Mode	Background Scan Interval (ms)
WLAN 1	Manual	00-1b-1b-80-a2-98	<input type="checkbox"/>	medium	disabled	5000

Radio	Scan Channels
WLAN 1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13

Radio	SSID	Enabled
WLAN 1	KOOMEY	<input checked="" type="checkbox"/>
WLAN 1		<input type="checkbox"/>
WLAN 1		<input type="checkbox"/>
WLAN 1		<input type="checkbox"/>

Warning: The approval process may not be finished in current country for channels denoted by a "*" character.

Please check the following website for more detailed information:
<http://www.siemens.com/wireless-approvals>

Set Values Refresh

Figura 3.156. Configuración de parámetros del Cliente.

Y para finalizar, se coloca la misma seguridad colocada al Punto de Acceso para que pueda ingresar a la red, por lo tanto es indispensable que

la clave de acceso sea la misma que en el Punto de Acceso y del mismo tipo de autenticación.

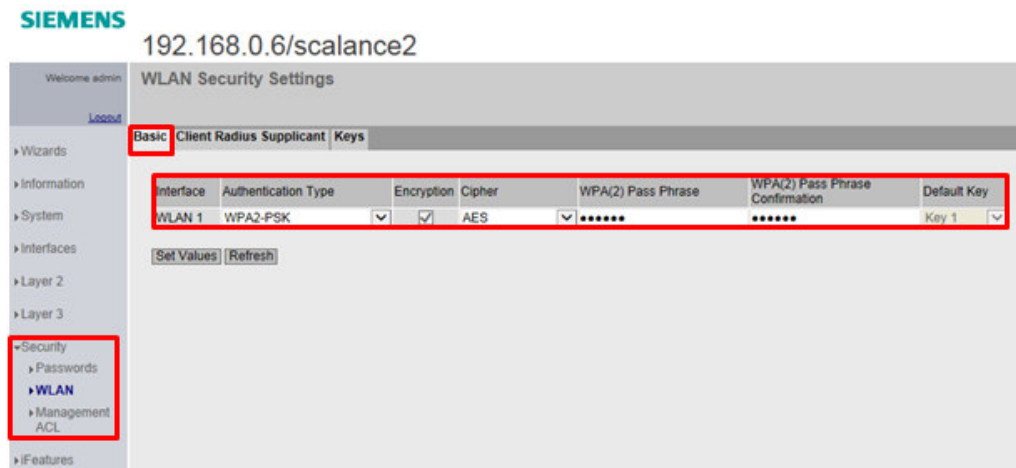


Figura 3.157. Configuración de seguridad del Cliente.

Una vez finalizadas las configuraciones, los equipos se encuentran listos para formar la red de comunicación inalámbrica conectando vía Ethernet los equipos controladores de entradas y salidas. De manera ilustrativa la red inalámbrica quedaría conforme la Figura 3.158. El plano de comunicación se encuentra en el Anexo 4

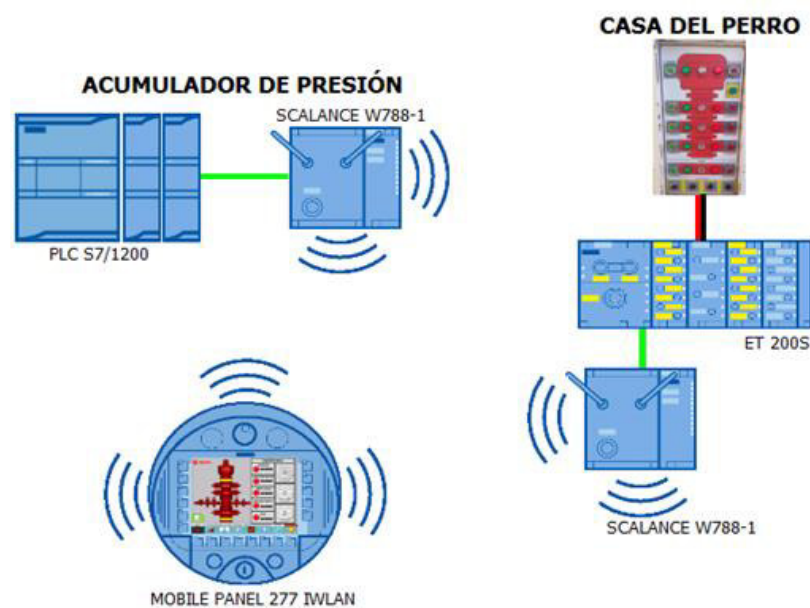


Figura 3.158. Esquema de red inalámbrica de equipos.

CAPÍTULO 4: INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS

4.1 INTRODUCCIÓN

La etapa final del proyecto es la instalación de todos los equipos señalados anteriormente, para integrar un solo sistema automático que cumpla con las características de diseño y los objetivos planteados. En este capítulo se tratará acerca del montaje de los equipos, la interconexión de sistemas, pruebas de funcionamiento y presentación final del proyecto.

Es importante señalar que, debido a las operaciones normales del taladro y a que el equipo a modificar es un equipo principal del taladro, se debe esperar a cada mudanza para instalar los equipos y realizar pruebas. Esto quiere decir, que aproximadamente cada 30 días, se tienen 5 días que el equipo permanece sin operación y apto para cualquier modificación, lo cual tuvo una gran influencia en el tiempo de instalación estimado.

4.2 INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Antes de iniciar con la instalación, es indispensable contar con 2 cajas o gabinetes donde se instalarán y montarán todos los equipos. Estas cajas, como se indicó en el capítulo 3, fueron adquiridas en base a las necesidades del proyecto y estarán ubicadas, una en el acumulador de presión y la otra en la casa del perro.

4.2.1 Cajera del Acumulador de Presión:

Partiremos esquematizando la disposición de los equipos dentro de la cajera, tratando de distribuir el espacio lo mejor posible con el fin de dar estética y funcionalidad a la instalación final como muestra la Figura 4.1.

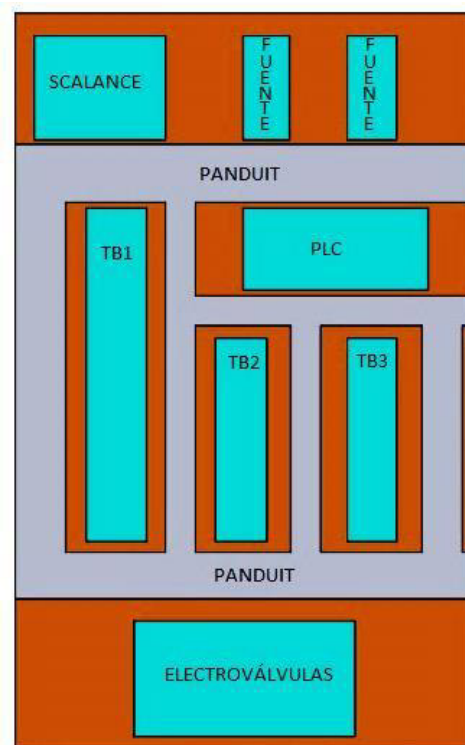


Figura 4.1. Disposición de equipos en gabinete del acumulador de presión.

Una vez que se tiene la disposición planteada se prosigue al montaje de los equipos en su lugar. Todos los elementos van sujetos a un riel DIN y éstos atornillados a la placa de la cajera. En las siguientes figuras se muestra el avance de la instalación y montaje de los equipos.



Figura 4.2. Gabinete del acumulador de presión

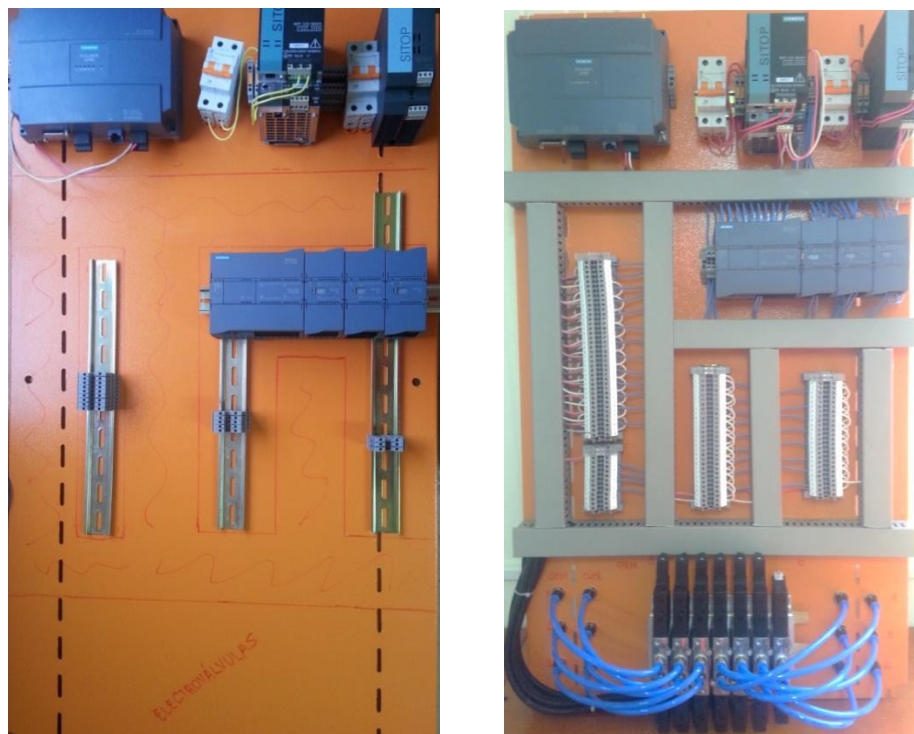


Figura 4.3. Armado de gabinete del acumulador de presión.

4.2.1.1 Adecuaciones Mecánicas

Debido al hecho que el sistema diseñado es una implementación a un sistema ya existente, fue necesario realizar algunas adecuaciones para

realizar las instalaciones. Estas adecuaciones se las ejecutó sin alterar la funcionalidad de ningún elemento del sistema original, dejándolo como sistema de respaldo en caso de una eventual falla de algún equipo del sistema automático o un apagón de electricidad inesperado.

La primera adecuación fue diseñar, construir y montar un marco y soporte para la cajera que irá instalada en el acumulador de presión. Por lo que con ayuda del equipo de suelda se fabricó dicho soporte que se detalló en el capítulo 3.

El soporte se soldó a la base lateral derecha del Acumulador de Presión, con el fin de tener un acceso fácil a la cajera y que la puerta de la misma pueda abrirse sin obstáculos. Adicionalmente se colocaron los aisladores de vibración en el soporte de la cajera como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 4.4. Aisladores de vibración en gabinete del acumulador de presión.



Figura 4.5. Aisladores inferiores del gabinete del acumulador de presión

Se colocaron los pernos de sujeción de la caja junto con la base fabricada y el resultado final se muestra en las siguientes imágenes.

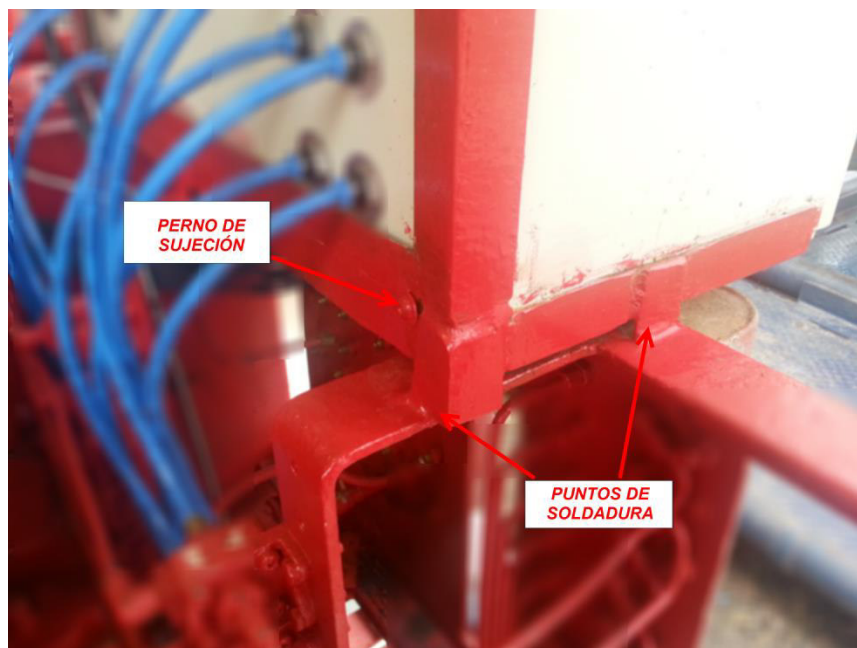


Figura 4.6. Sujeción de caja del acumulador de presión.



Figura 4.7. Instalación final del gabinete del acumulador de presión.

La siguiente adecuación fue el diseño, construcción e instalación de los soportes para los sensores inductivos en cada una de las válvulas del Acumulador de Presión. Estos soportes se adecuaron a la parte inferior de las válvulas y sujetaron mediante pernos pasantes (Figura 4.8). Además para una detección efectiva de cada sensor se instaló una placa adherida a la palanca de las válvulas del Acumulador de Presión, quedando la adecuación final como se muestra a continuación.

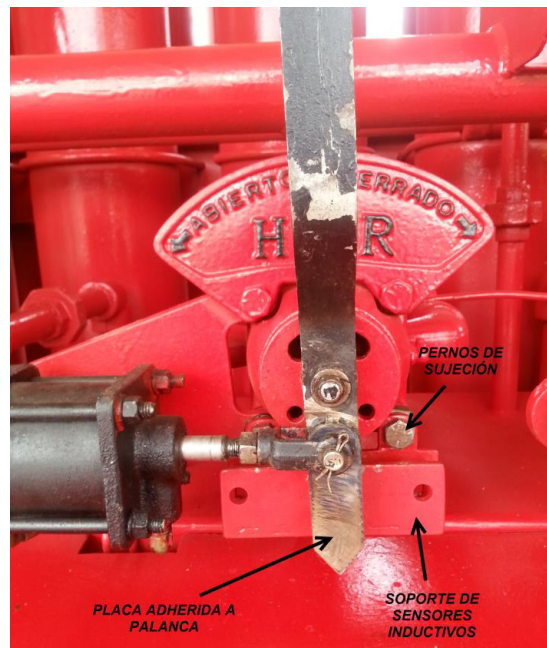


Figura 4.8. Instalación de soporte de sensores en válvulas de 4 vías.

4.2.1.2 Sistema Neumático

Ya instalados los equipos en la caja se procede a iniciar la instalación. Partiremos por la red de aire neumática, anteriormente estudiada, que nos proporciona una presión de aire de 120 PSI en promedio. Para preservar nuestros equipos y darle un mejor funcionamiento al sistema se colocará un filtro regulador de aire en la línea principal de suministro de aire, como muestra la Figura 4.9.



Figura 4.9. Unidad FRL de la línea principal.

La línea principal de alimentación neumática a la cajera es de tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada, para garantizar suficiente caudal de aire. Esta línea ingresa a la cajera de conexiones donde es conectada al banco de electroválvulas para la distribución de las mismas. Además, se toma esta línea de ingreso para conectarla al sensor de presión que lleva la señal de aire comprimido del sistema al PLC como se observa en las siguientes imágenes.

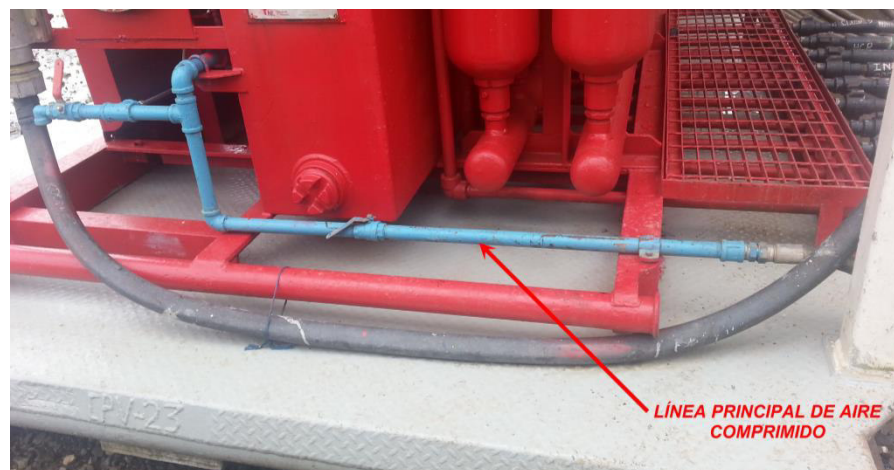


Figura 4.10. Línea principal de aire comprimido del acumulador de presión.

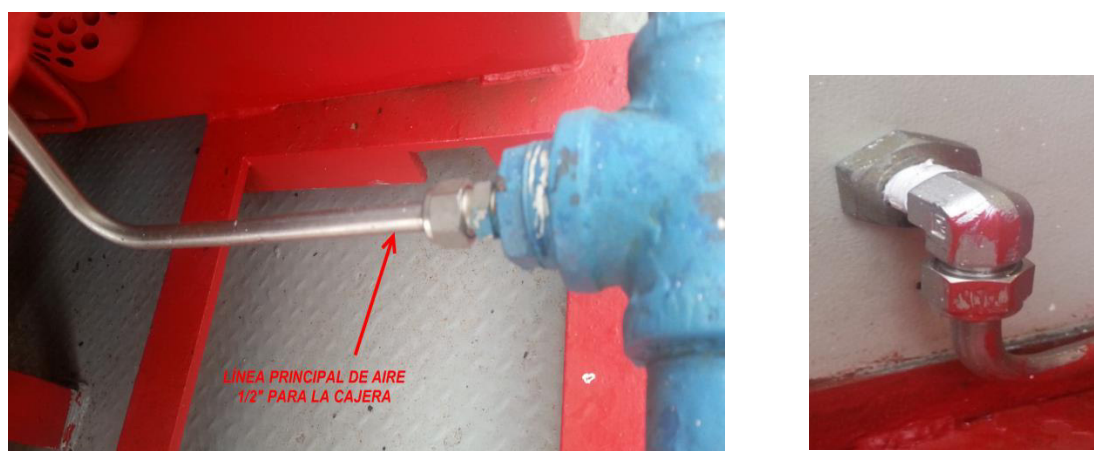


Figura 4.11. Línea principal de aire de la cajera del acumulador de presión



Figura 4.12. Conexión de sensor de aire comprimido y banco de electroválvulas.

Para que las señales de aire comprimido que salen de las electroválvulas, lleguen a los cilindros neumáticos, fue necesario realizar perforaciones en la parte posterior de la caja para sacar las mangueras por ahí. Se utilizaron conectores pasamuros para evitar que las perforaciones afecten al hermetismo del gabinete como muestran las imágenes a continuación.

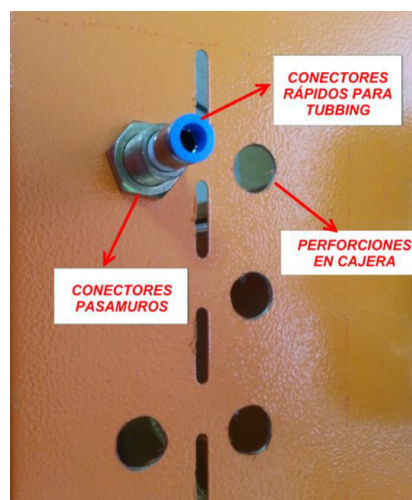


Figura 4.13. Conectores pasamuros de caja del acumulador de presión



Figura 4.14. Armado de mangueras a través de los pasamuros.



Figura 4.15. Conexión externa de conectores pasamuros

4.2.1.3 Sistema Electro-neumático

Este sistema está compuesto básicamente por las electroválvulas, la válvula proporcional eléctrica y los transductores de presión. Los equipos electro-neumáticos se caracterizan por ser controlados eléctricamente pero su actuador es neumático; entonces, para el caso de las electroválvulas, estarán conectadas eléctricamente al PLC para su control, y conectadas neumáticamente a la base de las electroválvulas para tomar el suministro de aire y permitir el paso del mismo hacia los cilindros neumáticos. El cuerpo de válvulas tiene 2 líneas de desfogue de aire, a las cuales se les colocó

silenciadores. En la figura a continuación, se puede observar el ensamble de electroválvulas en su respectivo cuerpo.

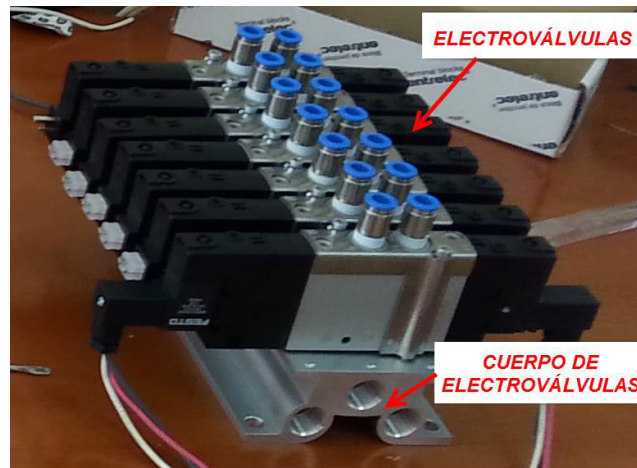


Figura 4.16. Armado de electroválvulas en banco de alimentación

La válvula proporcional necesita una línea de alimentación neumática, la cual se tomó de la línea principal de aire del acumulador de presión, que además contiene otra unidad de filtrado y regulado (Figura 4.17). La salida del aire ya controlado por la válvula, se conecta directamente a la válvula reguladora de presión del preventor anular en el acumulador de presión.



Figura 4.17. Unidad FRL para la válvula proporcional.

Por otro lado el control eléctrico de la válvula proporcional se conecta a la salida análoga del PLC que también se puede ver en la Figura 4.18, desde donde se emitirá la señal eléctrica de corriente, que define el grado de apertura de la válvula proporcional y por ende la presión de aire que ingresa a la válvula reguladora del preventor anular. Cabe recalcar que se utiliza una válvula selectora que permite conmutar entre ésta válvula proporcional y una válvula reguladora manual, en caso de una eventual falla o daño eléctrico que impida regular la presión con la válvula eléctrica.

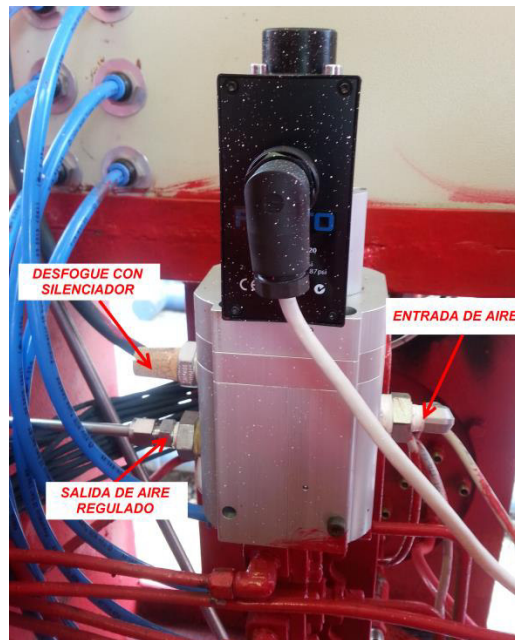


Figura 4.18. Instalación de válvula proporcional

4.2.1.4 Sistema Eléctrico/Electrónico

El sistema eléctrico lo comprenden: el PLC y todas sus conexiones, ya sean entradas o salidas, las fuentes de alimentación y los sensores inductivos. Cabe recalcar que en el capítulo anterior se realizó el estudio de cargas eléctricas para su distribución dentro del gabinete.

La alimentación eléctrica principal de todo el sistema fue tomada de las líneas que llegan al alumbrado del acumulador de presión. Esta toma es de 110V e ingresa a la caja de conexiones por un conector glándula CGB; y se distribuye hacia las dos fuentes de 24 VDC,. En la siguiente Figura se puede observar el circuito de alimentación del sistema.

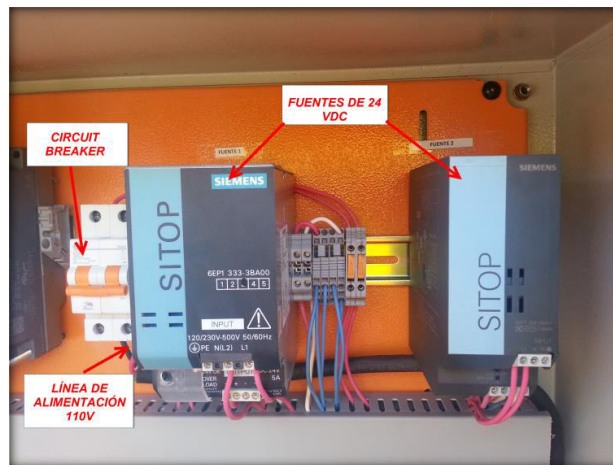


Figura 4.19. Alimentación y protecciones eléctricas.

Las conexiones del PLC deben estar organizadas, ya que son muchos cables que se ubicarán dentro de las canaletas. Para esto se agruparon las conexiones dependiendo su slot en el PLC y se las envolvió con el fin de formar conductores uniformes y fáciles de manipular, como se muestra en la Figura 4.20



Figura 4.20. Organización de cableado de control.

Luego se instalaron los rieles DIN (barra de metal normalizada de 35 mm de ancho con una sección transversal en forma de sombrero; muy usado para montaje de elementos eléctricos de protección y mando en aplicaciones industriales), donde irán montadas las clemas o borneras de conexiones como se ilustra en la Figura anterior. Una vez montadas las clemas, se colocan las canaletas por donde irán los cables y el paso final es realizar las conexiones conforme a los planos eléctricos (Figura 4.21).



Figura 4.21. Montaje de equipos y conexiones eléctricas.

Para finalizar la instalación eléctrica se deben conectar los sensores inductivos que provienen de cada una de las válvulas del acumulador de presión. En primer lugar, se arman los sensores con cableado interno (Figura 4.22) para luego montarlos en los soportes fabricados y ubicados en cada válvula del acumulador de presión como se ilustra en la Figura 4.23



Figura 4.22. Conexión de cableado de sensores inductivos

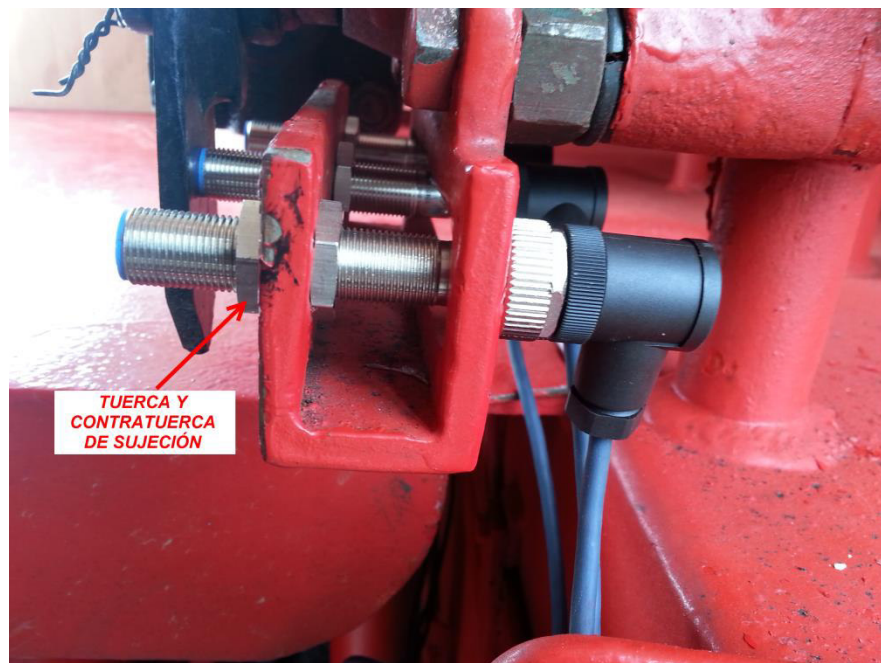


Figura 4.23. Montaje de sensores inductivos en soporte de sensores.

Con la tuerca y contratuerca de sujeción se calibra la longitud que el sensor sale del soporte para que pueda ser detectado por la palanca; la distancia de sensado es de 0,6 mm por lo cual se colocan lo más cerca posible al paso de la palanca como muestra la Figura 4.24

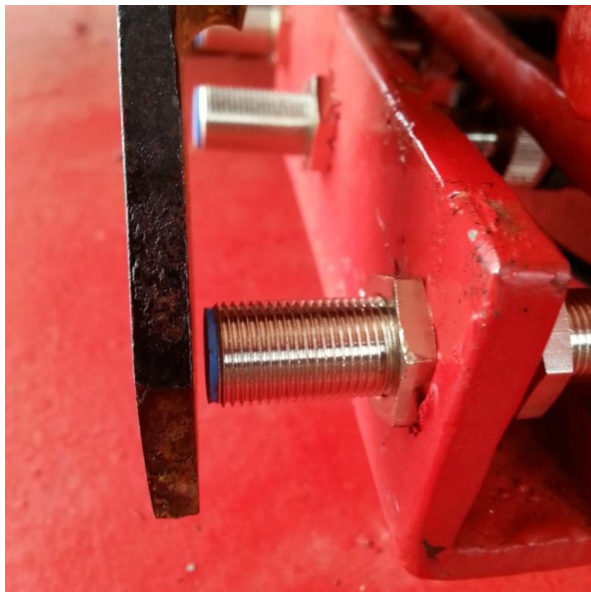


Figura 4.24. Calibración de distancia de sensado.

Una vez instalados todos los sensores inductivos, llevamos los cables hasta la caja, ingresando por un conector de glándula CGB (Los conectores de glándula son usados como un medio para pasar cables al interior de una caja evitando que ingrese agua o partículas) ubicado en la parte inferior de la misma. Todos los cables son conectados a las borneras correspondientes conforme los planos eléctricos.

Por último se instala el sensor de nivel dentro del reservorio y se realiza su conexión eléctrica. Para su instalación se deben tomar algunas indicaciones, como la distancia mínima de la probeta al fondo del reservorio, que debe ser mayor o igual a 10mm como muestra la figura 4.25. Esta probeta será utilizada en conjunto con un tubo coaxial como indican las figuras 4.26 y 4.27, recomendado para mediciones donde las paredes del reservorio a medir están muy cerca a la probeta y ocasionan interferencias.

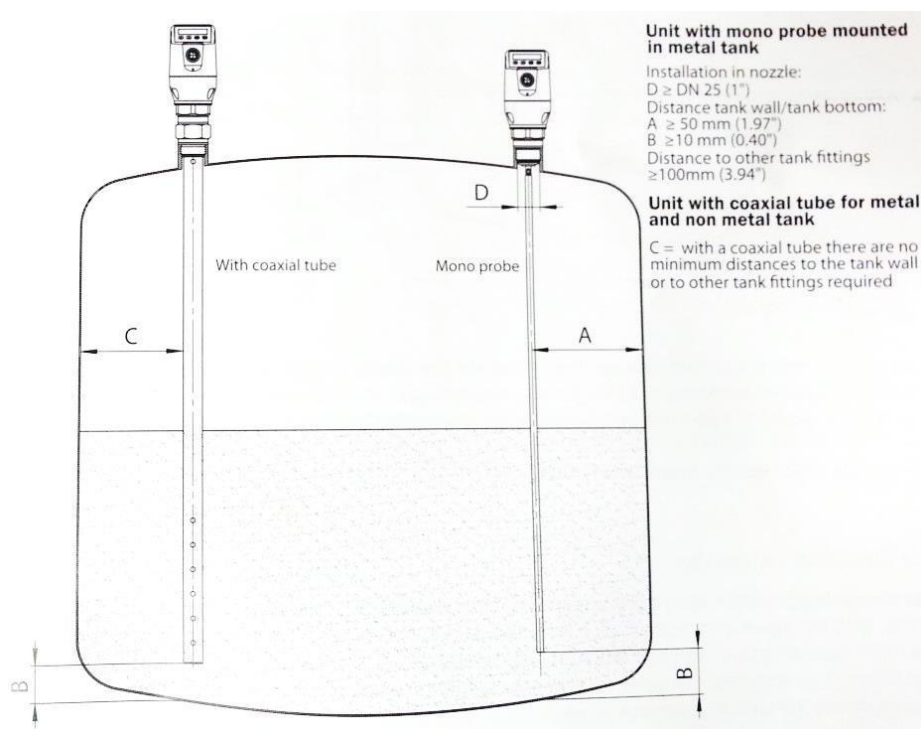


Figura 4.25. Distancias mínimas de instalación de sensor TDR.

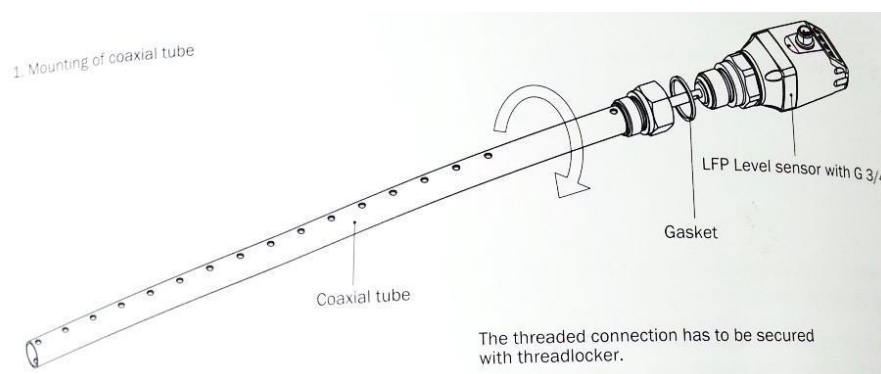


Figura 4.26. Ilustración de instalación de tubo coaxial de sensor TDR.



Figura 4.27. Instalación de tubo coaxial de sensor TDR.

La instalación del tubo coaxial requiere un centrado de la probeta con el fin de que esta no tope el tubo y ocasione medidas alteradas; en la figura 4.28 se muestra la manera de centrar la probeta con el accesorio indicado. La instalación final se ilustra en la Figura 4.29

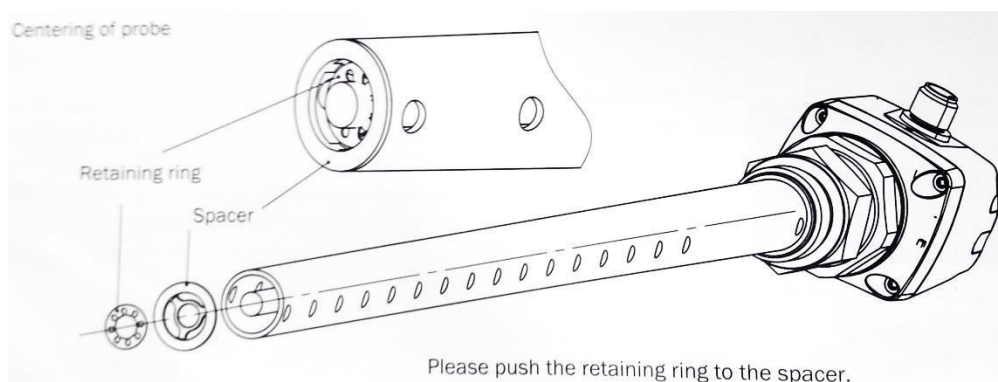


Figura 4.28. Centrado de tubo coaxial de sensor TDR.



Figura 4.29. Instalación final del sensor de nivel TDR en el reservorio.

4.2.1.5 Sistema de Control

A este sistema lo compone principalmente el PLC; se conectan los slots de entradas y salidas al CPU del PLC para luego montar todo el conjunto sobre el riel DIN (Figura 4.30) y luego en la caja. Ya ubicado en la caja procedemos a realizar todas las conexiones desde el PLC hacia las borneras y desde las fuentes de alimentación al PLC conforme a los planos eléctricos (Figura 4.31).



Figura 4.30. Montaje de PLC en rieles DIN



Figura 4.31. Conexión del cableado del PLC

4.2.1.6 Sistema de Comunicación

La instalación del sistema de comunicación incluye el equipo enrutador Scalance con sus respectiva antena, la conexión con el sistema de control (PLC) y la conexión con el panel táctil inalámbrico. El Punto de Acceso se ubica dentro de la cajera sujetado con un riel DIN y es alimentado por una fuente de 24 VDC. La conexión con el sistema de control se la realiza por medio de cable Ethernet industrial (Figura 4.32). Además se conectan los tres cables para la antena, que por medio de conectores pasamuros salen de la cajera (Figura 4.33), ubicando la antena en un lugar abierto y así obtener un mayor rango de transmisión. La antena fue colocada en el techo del Acumulador de Presión, a una altura suficiente para que el enlace sea correcto.

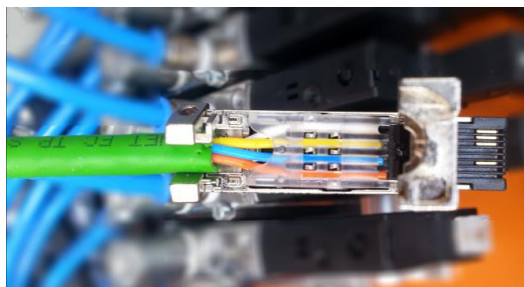


Figura 4.32. Armado de cable Ethernet industrial

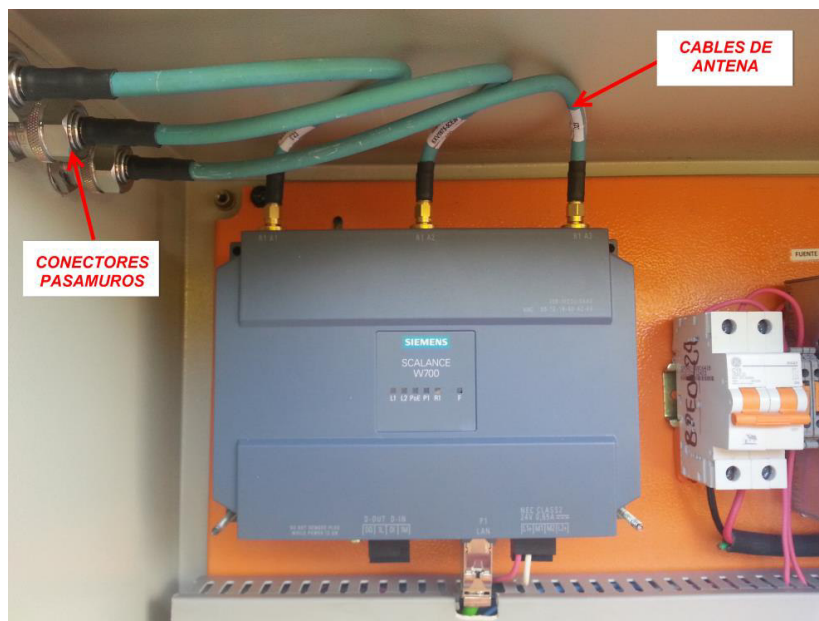


Figura 4.33. Conexión de antena a través de conectores pasamuros.

Por otro lado, se verifica la conexión inalámbrica entre el panel táctil y el Punto de Acceso, además de la intensidad de señal (Figura 3.34), rangos de transmisión y tiempos de respuesta.



Figura 4.34. Intensidad de señal a 100 metros de distancia.

4.2.2 Caja de la Casa del Perro

Esta caja se ubica en un depósito en la planchada del taladro, junto al perforador, es decir, en un ambiente cerrado y ventilado. Inicialmente se plantea un diseño para la distribución de los equipos que irán instalados dentro de esta caja como se muestra en la Figura 4.35.

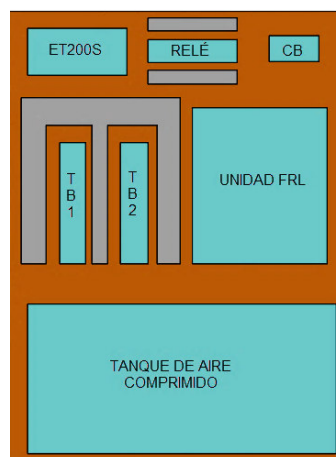


Figura 4.35. Distribución de equipos en caja de la Casa del Perro.

Una vez empotrada en la pared de la casa del perro, se procede a instalar los equipos para esta caja como muestran las siguientes imágenes.



Figura 4.36. Montaje de equipos en caja de la Casa del Perro.



Figura 4.37. Cajera de la Casa del Perro

Es importante señalar que el sistema de comunicación se instaló fuera de la cajera y montado en la pared interna de la casa del perro por efectos de distribución y su grado de protección (Figura 4.38). Así mismo, la antena de comunicación se ubicó en la pared exterior para permitir una comunicación sin interferencias con el Punto de Acceso ubicado en el Acumulador de Presión, por lo que se fabricó un soporte para la antena que se soldó al exterior como muestra la Figura 4.39.



Figura 4.38. Instalación del sistema de comunicación de la Casa del Perro.



Figura 4.39. Antena de la Casa del Perro

Por otro lado se instalaron las luces piloto y pulsadores en el panel de control remoto eléctrico que irá ubicado en la parte exterior de la casa del perro. Se detalla su armado en vista frontal y trasera con las siguientes imágenes.



Figura 4.40. Conexión de luces piloto y pulsadores del panel eléctrico.

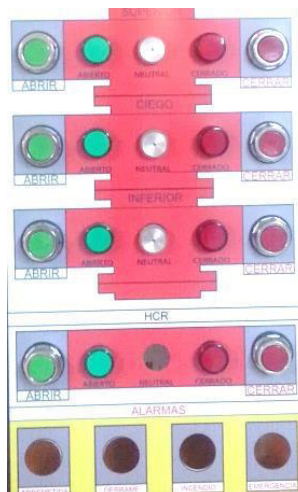


Figura 4.41. Luces piloto y pulsadores del panel eléctrico, Casa del Perro.

4.2.2.1 Adecuaciones Mecánicas

Para la instalación de esta estación se necesitaron hacer algunas modificaciones a las instalaciones del taladro, que permitan la inclusión del

sistema a las operaciones normales de perforación, y tomando en cuenta las normas de seguridad para áreas clasificadas.

De esta manera se procedió a instalar el panel fabricado, realizando un corte en la pared frontal de la casa del perro (Figura 4.42). Una vez soldado, se aplicó una capa de pintura base anticorrosiva y luego pintura marina para ambientes hostiles, con el fin de prevenir oxidaciones y daños por radiación como se muestra en la Figura 4.43. Luego se instaló la placa de acero inoxidable con el diseño gráfico del BOP con remaches en cada esquina para su sujeción. La adecuación final se ilustra con la Figura 4.44.



Figura 4.42. Corte en pared frontal de la Casa del Perro



Figura 4.43. Instalación de panel fabricado.

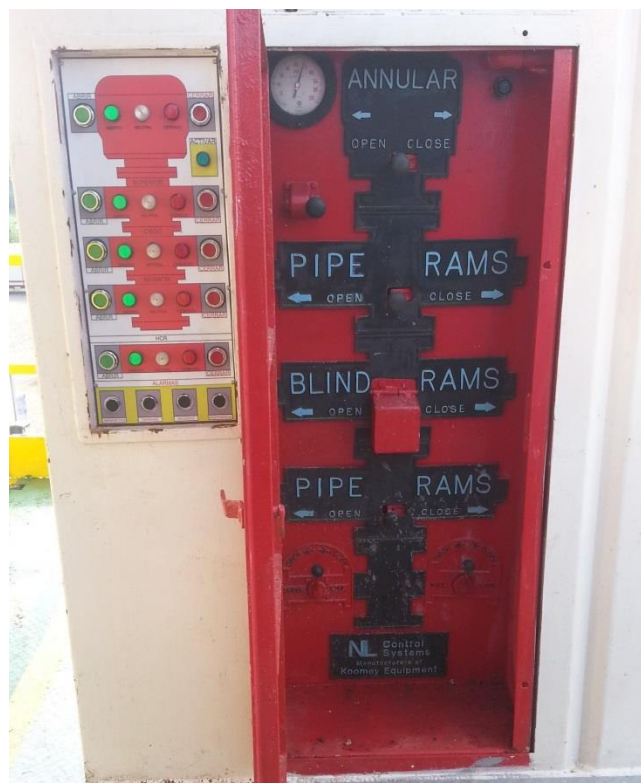


Figura 4.44. Instalación final del panel remoto eléctrico de la Casa del Perro.

Continuando con las adecuaciones, se instaló el soporte fabricado para las cornetas en el techo de la casa del perro, para que el sonido emitido se distribuya por todo el taladro y cumpla su función de alertar alguna emergencia o evento. En la Figura 4.45 se muestra el soporte instalado con las cornetas colocadas.



Figura 4.45. Cornetas instaladas en soporte.

4.2.2.2 Sistema Neumático

El sistema neumático de esta cajera lo compone principalmente el tanque de almacenamiento de aire comprimido fabricado, la unidad FRL, el suministro de aire y las cornetas. El cilindro de almacenamiento se ubicó dentro de la cajera en la parte inferior (Figura 4.46), con el fin de mantener la

menor distancia posible desde este hasta los actuadores neumáticos; debido a esto se realizó una perforación en la pared inferior de la cajera para poder evacuar, mediante la válvula de descarga, la condensación que se produce dentro del cilindro. Este cilindro cuenta con una válvula de seguridad configurada a 150 PSI en caso de una sobrepresión del sistema y con un manómetro para verificación de la presión actual del cilindro, lo cual nos ayudará a verificar si el accionamiento puede efectuarse.

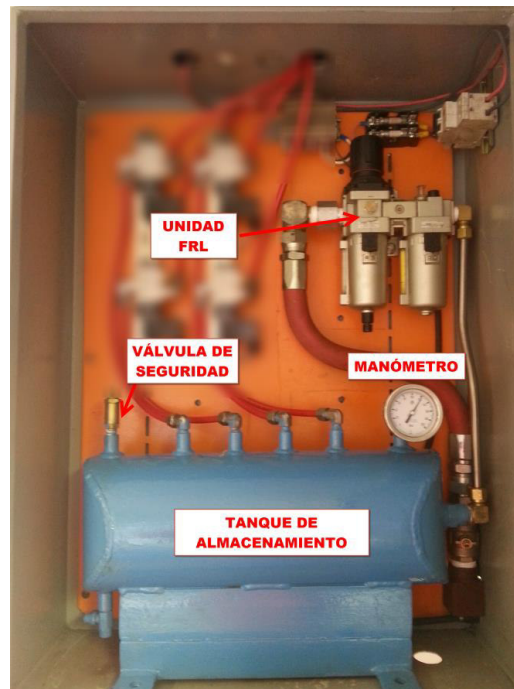


Figura 4.46. Instalaciones neumáticas de la cajera de la Casa del Perro.

La unidad de filtrado, regulación y lubricación es importante en esta estación también, ya que el mecanismo, tanto de las electroválvulas como de las cornetas, necesita un aire tratado para su mejor mantenimiento y funcionamiento; por lo que se ubica antes del tanque de almacenamiento. El suministro de aire se conecta a la entrada de la unidad FRL con manguera

de 1" de diámetro para asegurar un caudal suficiente a nuestro sistema. Por último las cornetas como se indicó anteriormente se montaron sobre el soporte fabricado y se les colocó manguera de 3/8" para la alimentación neumática.

4.2.2.3 Sistema Electro-neumático

Este sistema está formado por las 4 electroválvulas, las cuales están conectadas cada una a una salida del tanque de almacenamiento para su alimentación, y a la salida cada una va hacia una corneta neumática. Se las ubico en línea y sujetadas a un riel (Figura 4.47) y este a la pared superior de la cajera, debido a la facilidad para enviar las mangueras a través del techo hacia las cornetas.



Figura 4.47. Montaje de electroválvulas del sistema de alarma general.

4.2.2.4 Sistema Eléctrico/Electrónico

Para detallar este sistema, empezaremos por la alimentación eléctrica de la cajera, la cual es de 220VAC, esta alimentación pasa por un breaker y luego por fusibles en cada línea para proteger las electroválvulas. Además

esta señal de 220V alimenta la fuente de poder que transforma esta señal a 24 VDC para la alimentación del sistema de control y comunicación de la cajera.

Por otra parte se instalaron las borneras para conexiones y su respectiva canaleta para ocultar los cables. Se instaló el relé de activación de las electroválvulas y todo el circuito eléctrico en base a los planos realizados, quedando el sistema eléctrico como se muestra en la Figura 4.48. Además desde las borneras se conectaron los cables que van hacia las luces piloto y pulsadores del panel remoto ubicado fuera de la casa del perro (Figura 4.49); estos cables salen de la cajera a través de una perforación y se extienden a lo largo de canaletas que guían el cableado. También por esta canaleta salen los cables de alimentación y comunicación para el equipo Cliente de comunicación.

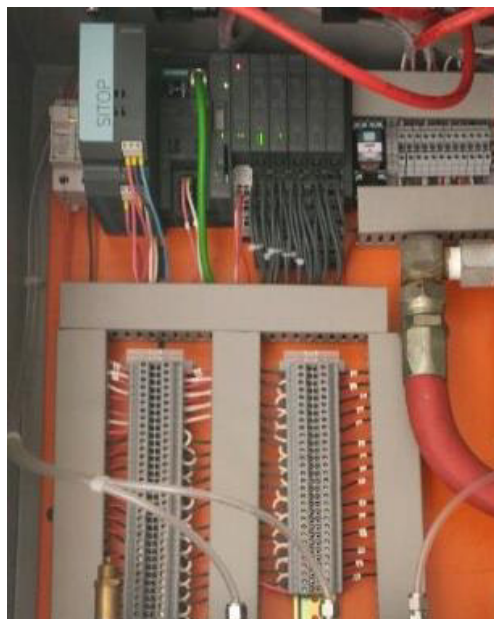


Figura 4.48. Instalación del sistema eléctrico de la cajera de la Casa del Perro.



Figura 4.49. Tendido eléctrico para el panel eléctrico remoto.

4.2.2.5 Sistema de Control

El control de esta estación lo realiza la estación de periferia descentralizada ET200s, se armó la periferia con sus respectivas tarjetas de entradas y salidas como se muestra en la Figura 4.50, con su cable Ethernet para la comunicación y su alimentación tanto de la periferia como del módulo de poder. Se coloca al final del ensamblaje una tapa de fin de módulos y se monta sobre el riel de la cajera.



Figura 4.50. Instalación de módulos en el dispositivo periférico ET200S

4.2.2.6 Sistema de Comunicación

La comunicación de esta cajera, al igual que la cajera del acumulador de presión, consta de un equipo Scalance w700 y su respectiva antena. Se montó el equipo de comunicación en la pared interior de la casa del perro, fuera de la cajera por razones de espacio, y los cables de la antena salen de la casa del perro como ya se detalló en las modificaciones mecánicas de esta estación. La antena está direccionada hacia la antena del acumulador de presión para asegurar una buena comunicación sin pérdidas de señal.

4.2.3 Estación del Panel inalámbrico

La estación del panel inalámbrico está compuesta por el sistema de carga del panel táctil, el mismo que incluye una fuente de 24 VDC con su respectiva cajera y la estación de carga, donde se mantendrá el panel mientras no se está utilizando. La estación está ubicada dentro del camper de Operaciones del taladro (Figura 4.51), el mismo que normalmente se ubica en la primera fila de campers, con vista directa al taladro aproximadamente a unos 100m de distancia. Esto es importante, ya que minimiza una gran pérdida de señal y asegura una buena comunicación.



Figura 4.51. Montaje de estación de carga en oficina de Operaciones

4.3 PLAN DE PRUEBAS

Una vez instalados todos los componentes de las 3 estaciones se procede con el plan de pruebas previo al arranque y puesta en marcha del sistema. Este plan de pruebas consiste en una serie de procedimientos que se ejecutan con el fin de comprobar conexiones eléctricas, conexiones neumáticas, comunicación, alcance, etc. Para una mejor organización se han dividido por sistemas cada una de las pruebas.

4.3.1 Sistema Neumático

Para iniciar las pruebas del sistema neumático, lo hacemos desde el suministro de aire comprimido, que son los compresores de aire; aquí verificamos la secuencia de carga y descarga de los mismos. Luego comprobamos la presión de aire comprimido en los tanques de almacenamiento (pulmones) y finalmente la presión que ingresa a nuestro sistema después de pasar por la unidad FRL. Los datos medidos en esta prueba se muestran resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Pruebas de presiones de aire comprimido.

PRUEBA	RESULTADO
Presión de carga de compresores	110 PSI
Presión de descarga de compresores	120 PSI
Presión de aire en pulmón #1	115 – 120 PSI
Presión de aire en pulmón #2	115 – 120 PSI
Presión antes de unidad FRL	118 PSI
Presión después de unidad FRL	105 PSI

Ya comprobado el suministro de aire comprimido, procedemos a verificar que no existan fugas en las conexiones neumáticas de nuestro

sistema, por lo que se realiza un reajuste de las cañerías y accesorios neumáticos para garantizar una buena conexión. Además se comprueba que el aire esté alimentando el cuerpo de electroválvulas, y que este no tenga obstrucciones en el desfogue.

4.3.2 Sistema Electro-neumático

Para este sistema probaremos principalmente las electroválvulas. Primero se realizaron pruebas previas a la instalación donde verificamos las conexiones eléctricas y el sello de los conectores para que no ingrese humedad y pueda ocasionar un corto circuito. Luego procedemos a realizar la activación manual de las electroválvulas presionando el botón de prueba que estas incluyen, descartando así una posible falla de fábrica de las electroválvulas.

Luego se inician las pruebas eléctricas de activación para verificar el estado de las bobinas de cada electroválvula. Como se muestra en la Figura 4.52 se conectó cada electroválvula a la fuente de 24 VDC y se accionó mediante un pulsador observando la excitación de la bobina.

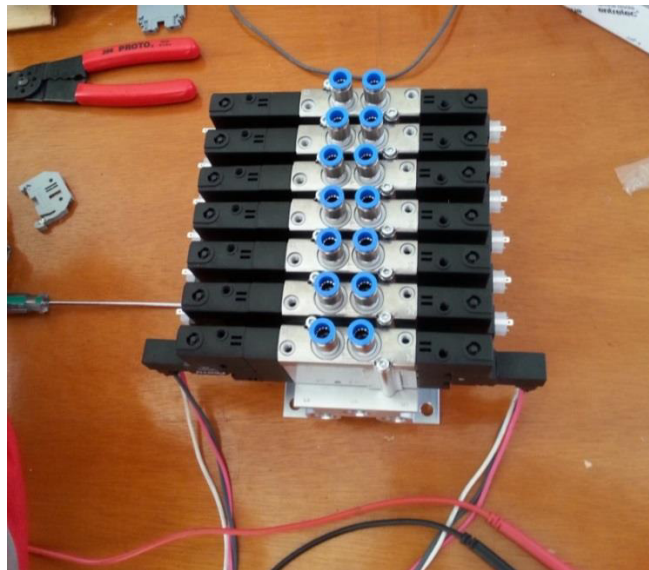


Figura 4.52. Prueba de electroválvulas.

Después de instalar el sistema, se realizaron las pruebas de funcionamiento; aquí el objetivo es verificar el correcto accionamiento de las electroválvulas, regular el caudal de aire hacia los cilindros neumáticos y por ende confirmar que los cilindros realizan los movimientos deseados (abierto, neutro y cerrado) como se muestra en las siguientes imágenes.

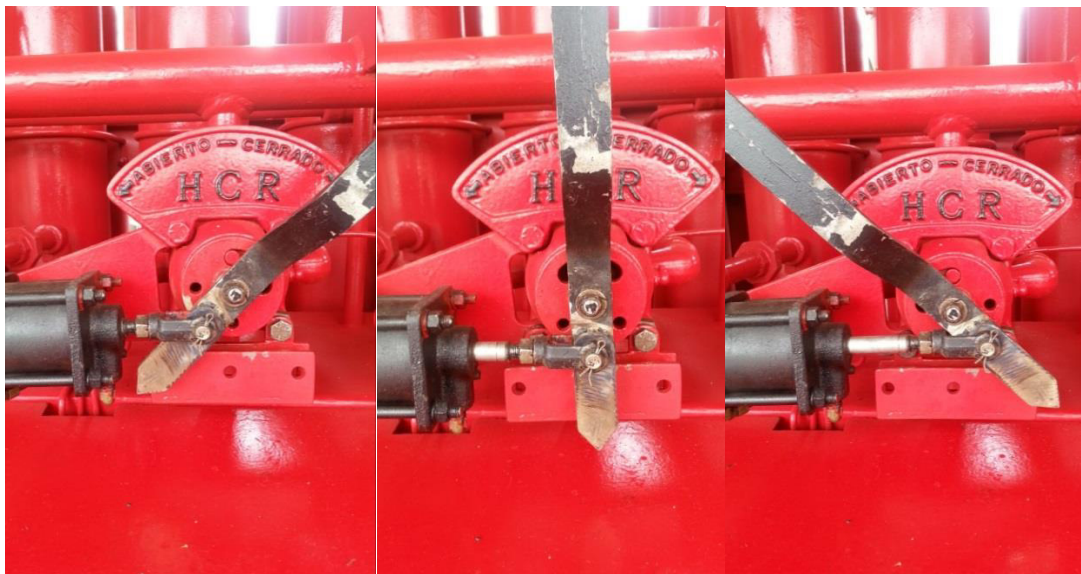


Figura 4.53. Accionamiento de electroválvulas (abierto, neutro y cerrado)

4.3.3 Sistema Eléctrico/Electrónico

Las pruebas del sistema eléctrico y electrónico se las realizaron primero antes de su instalación para verificar el estado y comportamiento del sistema. Empezamos probando las fuentes de alimentación, aplicando una tensión de 120VAC y midiendo su salida en voltaje continuo, los cuales se visualizan en la siguiente tabla.

Tabla 4.2. Pruebas de tensiones en fuentes de alimentación.

PRUEBA	TENSIÓN ENTRADA	TENSIÓN SALIDA
Fuente SITOP 6EP1-333-3BA00	118.3 VAC	24.6 VDC
Fuente 1 SITOP 6EP1-333-2AA01	118.3 VAC	24.7 VDC
Fuente 2 SITOP 6EP1-333-2AA01	118.3 VAC	23.8 VDC

Estos datos medidos nos garantizan una tensión de 24 VDC para alimentación de todos los equipos y sensores.

Luego se realizan pruebas a los sensores inductivos, aplicando la alimentación desde una fuente y pasando un objeto metálico por su cara frontal para su detección. Se visualiza un led incluido en el sensor que se enciende ante la detección como indica la Figura 4.54, y además se mide la salida del sensor que marque 24 VDC.



Figura 4.54. Verificación de sensado de palanca de válvulas.

Continuando con las pruebas eléctricas, se arma el panel remoto eléctrico y se conectan los pulsadores y luces piloto a una fuente de 24 VDC, simulando la detección de los sensores inductivos hacemos encender las luces piloto, y presionando los pulsadores medimos el paso de voltaje para su comprobación. En la Figura 4.55 se ilustra la prueba de luces piloto y pulsadores realizada antes de su montaje.



Figura 4.55. Prueba de luces piloto y pulsadores del panel eléctrico.

4.3.4 Sistema de Control

Las pruebas al sistema de control básicamente consisten en verificar el correcto funcionamiento de los bloques de programación del PLC y del HMI. Para esto utilizamos la herramienta de visualización online de los bloques de programación mientras el PLC está en modo RUN (Figura 4.56). Con esto conseguimos visualizar en tiempo real el estado de todos los contactos, memorias, bobinas, etc. para detectar alguna posible falla de programación. Se realizan accionamientos de las electroválvulas y se simula la detección de los sensores inductivos para efectos de pruebas. Aquí se revisan secuencias de accionamientos, bloques de temporizadores, enclavamientos de variables, lectura y escritura de datos, etc.

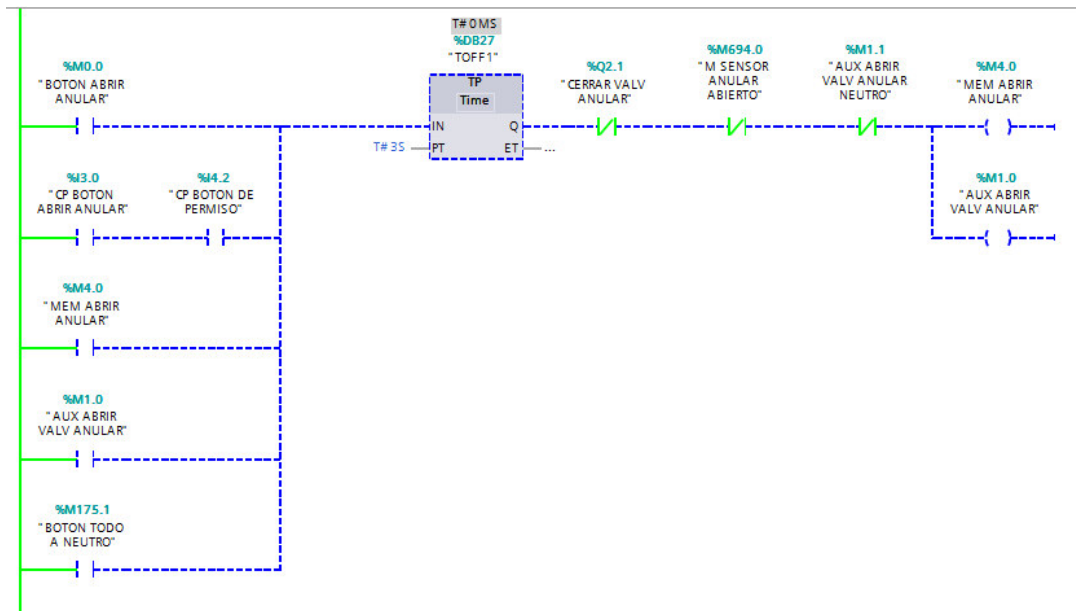


Figura 4.56. Verificación on-line del programa del PLC

Así mismo, el controlador nos permite diagnosticar fallas de comunicación, conexión o parametrización del PLC, estado de memoria y eventos con su herramienta “online y diagnóstico” que se muestra en las siguientes imágenes.

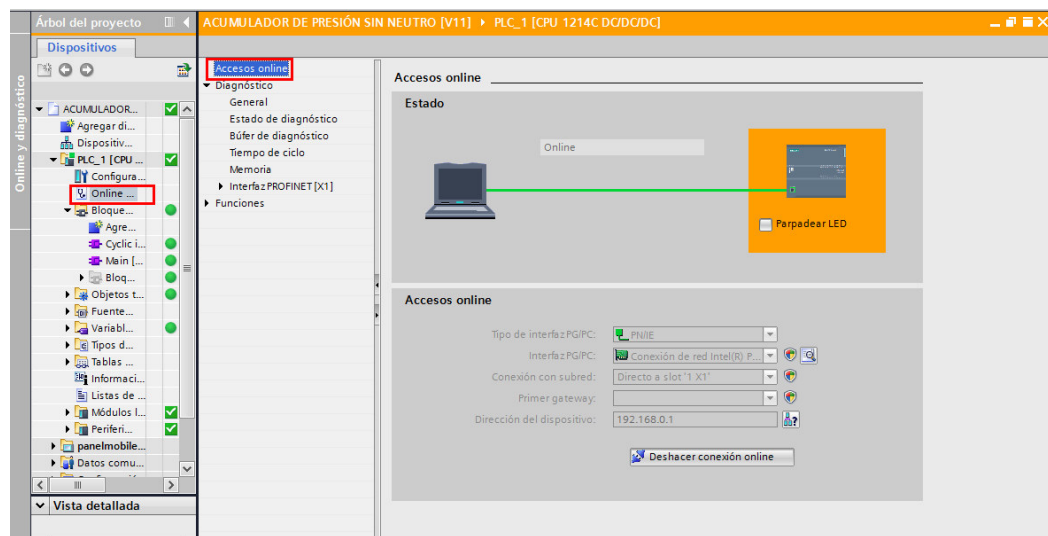


Figura 4.57. Ventana on-line y diagnóstico.

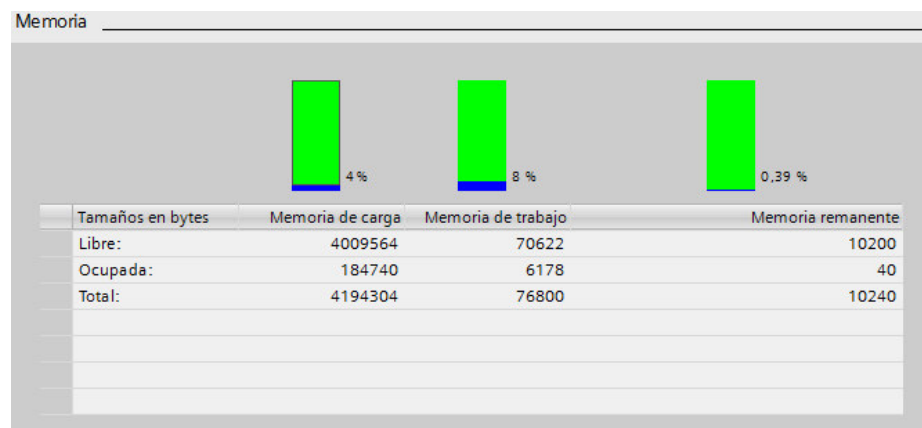


Figura 4.58. Verificación del uso de memoria del PLC (on-line).

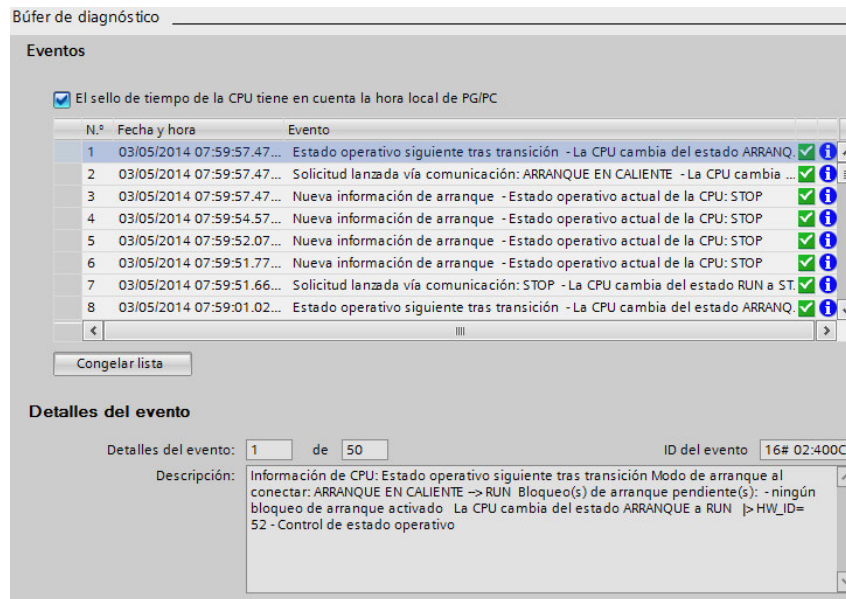


Figura 4.59. Buffer de diagnóstico del PLC (on-line).

4.3.5 Sistema de Comunicación

Las pruebas de comunicación se las realizó antes y después de la instalación final, ya que se debe tomar en cuenta la configuración más óptima y los rangos de alcance de las antenas. Estas pruebas se las debe realizar minuciosamente, por el hecho de que hay que conseguir la configuración de los equipos de comunicación, que sea más robusta y menos propensa a interferencias. Para esto se probó diferentes canales de transmisión y recepción de datos, diferentes modos de cliente, accesos autorizados por dirección MAC de equipos, seguridades de la red, tasas de transmisión, frecuencias de funcionamiento y hasta configuraciones de país, que determinaron al final el comportamiento deseado de la red.

14	3d 18:11:23	Client 00:1b:1b:67:e7:0d 'scalance2' disassociated with reason (Disassociated because sending STA is leaving (or has left) BSS)
14	3d 18:11:23	Client 00:27:22:d8:0f:22 disassociated with reason (Disassociated because sending STA is leaving (or has left) BSS)
14	3d 18:08:51	Client 00:1b:1b:67:e7:0d 'scalance2' associated successfully

Figura 4.60. Registro de diagnóstico de comunicación.

Se detectaron interferencias de comunicación eventuales aun después de todas las previsiones del caso. Revisando el registro de diagnóstico de los dispositivos Scalance, se encontraron fallas de autenticación (Figura 4.60); esto debido a la detección de otras redes inalámbricas cercanas configuradas como Puntos de Acceso. Por esta razón se cambió la configuración del Cliente para que evite el escaneo de Puntos de Acceso ajenos a su red con los parámetros “Roaming Threshold” y “Background Scan Mode” como muestra la Figura 4.61. La configuración final, tanto del Punto de Acceso, como del Cliente se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4.3. Parámetros de configuración de comunicación.

PARÁMETRO	PUNTO DE ACCESO	CLIENTE
País	España	España
Modo de Operación	Access Point	Client
Frecuencia de operación	5 GHz	5 GHz
Estándar de comunicación	802.11 n	802.11 n
Ancho de Banda	20 MHz	20 MHz
Seguridad de red	WPA2 SPK	WPA2 SPK
Difusión de SSID	No	-
Filtrado de direcciones MAC	-	Manual
Selección de canales de transmisión	Automático	Automático
Roaming Threshold	-	High
Background Scan Mode	-	Disabled

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de comunicación encendemos los equipos y conectamos sus respectivos cables Ethernet de comunicación. Una vez establecida la comunicación entre dispositivos, los leds indicadores de cada uno se estabilizan y es posible la transmisión y recepción de datos.

Radio	MAC Mode	MAC Address	Any SSID	Roaming Threshold	Background Scan Mode	Background Scan Interval [ms]
WLAN 1	Manual	00-1b-1b-67-e7-0d	<input type="checkbox"/>	high	disabled	5000
Radio	Scan Channels					
WLAN 1	36,40,44,48,52,56,60,64,100,104,108,112,116,132,136,140					
Radio	SSID					Enabled
WLAN 1	SCALANCEW					<input checked="" type="checkbox"/>
WLAN 1						<input type="checkbox"/>
WLAN 1						<input type="checkbox"/>
WLAN 1						<input type="checkbox"/>

Warning: The approval process may not be finished in current country for channels denoted by a "*" character.

Please check the following website for more detailed information:
<http://www.siemens.com/wireless-approvals>

Figura 4.61. Configuración "Roaming Threshold" y "Background Scan Mode"

4.3.6 Sistema integrado

Luego de probar cada sistema por separado, se realizó una prueba global del sistema integrado previo a su instalación, para determinar su correcto funcionamiento y corregir eventuales fallas. Para esto procedemos a montar y conectar todos los equipos; energizamos las fuentes y encendemos los dispositivos. El banco de pruebas montado se aprecia en las imágenes siguientes, con todos los equipos conectados para el inicio de las pruebas globales.

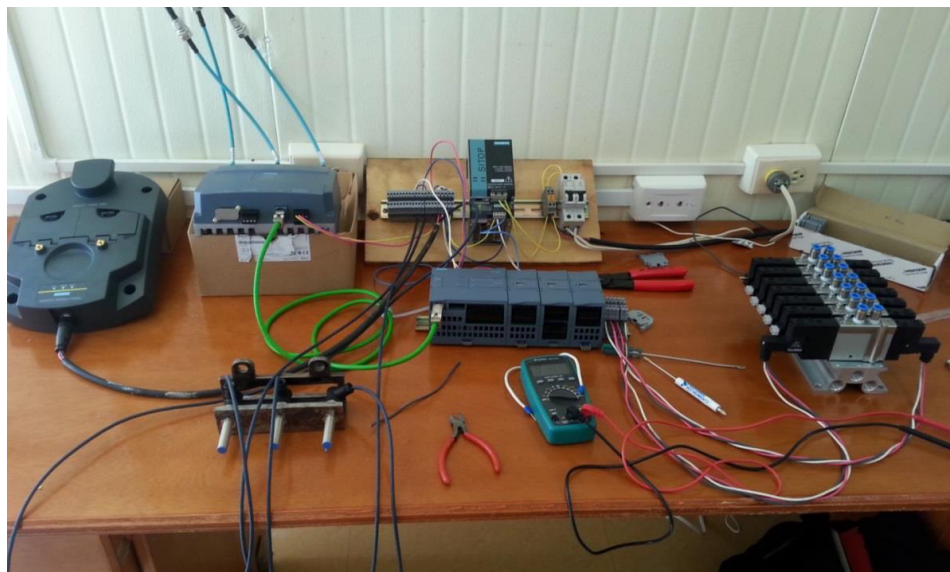


Figura 4.62. Banco de pruebas Estación #1.

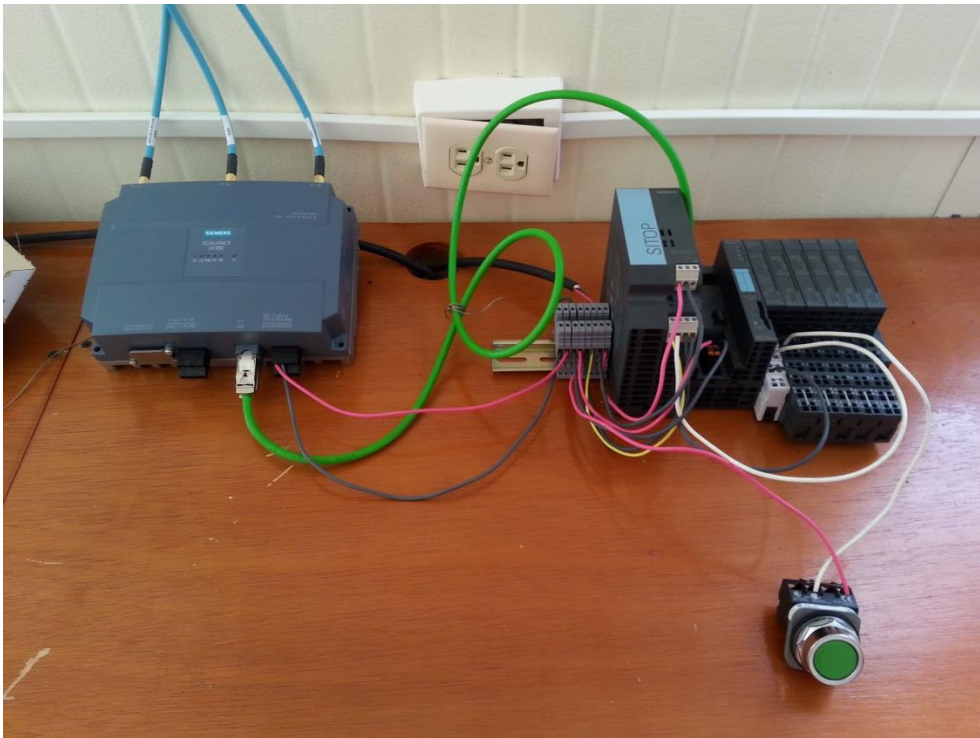


Figura 4.63. Banco de pruebas Estación #2.



Figura 4.64. Banco de pruebas sistema unificado.



Figura 4.65. Banco de pruebas con simulación desde computadora.

Los resultados después de las pruebas globales nos ayudan a corregir algunos puntos críticos como la comunicación, determinar el alcance de las antenas, la respuesta de las electroválvulas, luces y pulsadores, además probar los accionamientos desde el panel inalámbrico y determinar cambios en el diseño del HMI.

Realizadas estas pruebas y corregidos los puntos antes detallados, procedemos a realizar la instalación de los equipos en su ubicación final y su prueba en sitio. El sistema instalado completamente se muestra en la Figura 4.66, donde se ve el conjunto automatizado del Acumulador de Presión con su respectivo panel inalámbrico.



Figura 4.66. Instalación final del Acumulador de Presión.

En la Figura 4.67 se muestra, por otro lado, la estación de la Casa del Perro luego de la instalación final.



Figura 4.67. Instalación final Panel Remoto eléctrico en la Casa del Perro.

La etapa final del proyecto es la calibración de los sensores midiendo parámetros reales, ya que debido a varios factores ambientales, físicos y electrónicos, los sensores no se comportan idealmente frente a situaciones reales. Para corroborar nuestras mediciones, nos apoyamos en la medición mecánica que realizan los manómetros en cada una de las líneas de presión; estos manómetros nos aseguran una medición correcta ya que son certificados y calibrados cada 6 meses.

De esta manera nos conectamos en modo on line desde una computadora hacia el PLC y visualizamos las líneas de programación de la medición, escalado y normalizado de los sensores análogos. Aquí podemos realizar variaciones en los parámetros medición y conseguir la medida que marcan los manómetros para cada una de las líneas de presión. La Figura 4.68 ilustra la calibración en sitio de los sensores.



Figura 4.68. Calibración de sensores en sitio desde computadora.

Para el caso del sensor de nivel, la calibración final se la realiza tanto desde el modo on line (Figura 4.69) del PLC, como desde el sensor mismo (Figura 4.70), ya que incluye una pantalla de calibración, donde se pueden modificar las condiciones de medición y parámetros que pueden afectar las mediciones. En esta configuración se ingresa la medida de la probeta del sensor, la altura del reservorio, el tipo de salida del sensor y otros datos que se muestran en la tabla 4.4.

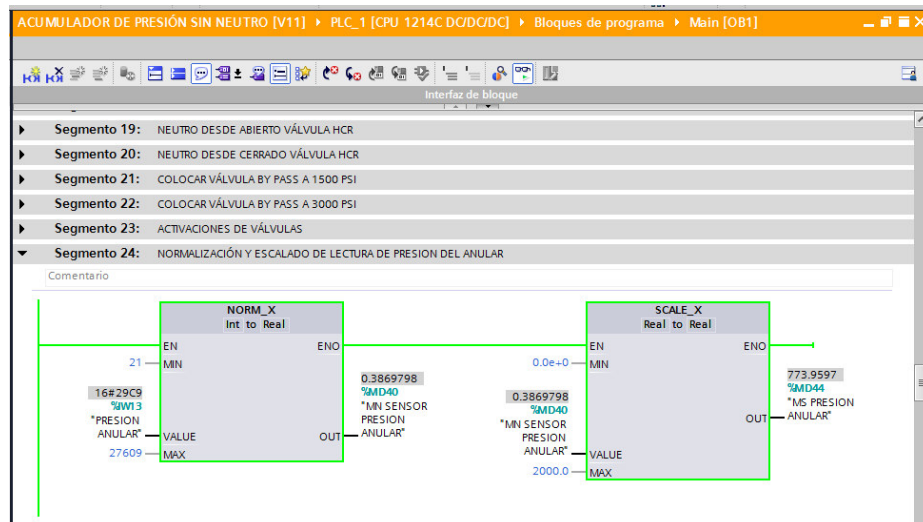


Figura 4.69. Calibración del sensor de nivel en modo on-line.



Figura 4.70. Calibración del sensor de nivel TDR desde su pantalla.

Tabla 4.4. Parámetros de configuración del sensor de nivel TDR.

PARÁMETRO	VALOR
Largo de probeta (Length)	960 mm
Modo de medición (Measuring mode)	HiSpd
*Interferencias estáticas (CalRng)	760 mm
Tipo de salida (QATYP)	4-20 mA
Límite superior 20 mA (QAHigh)	920 mm
Límite inferior 4 mA (QALow)	0 mm
**Calibración de tanque vacío (CalEmp)	OK
Valor de presentación (DspVal)	Distan
Filtro (Filter)	600 ms

*Determina la distancia en la cual se ubica algún tipo de interferencia como tuberías, conectores, soldaduras, etc.

**Una vez vaciado el reservorio se aplica este comando para enseñar al sensor cuándo el tanque se encuentra vacío

CAPÍTULO 5: COSTOS

5.1 LISTA DE EQUIPOS

La cotización de los equipos utilizados en la instalación del sistema se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 5.1. Costos del proyecto.

ELEMENTO	CAN T	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
IWLAN Access Point Scalance	2	\$ 1.103,00	\$ 2.206,00
SIMATIC S7-1200 CPU	1	\$ 422,00	\$ 422,00
SIMATIC S7-1200 8DI 24VDC	1	\$ 106,00	\$ 106,00
SIMATIC S7-1200 16 DO RELAY 2A	1	\$ 168,00	\$ 168,00
SIMATIC S7-1200 4AI SM1231	1	\$ 218,00	\$ 218,00
SIMATIC S7-1200 4A0 SM1231	1	\$ 94,00	\$ 94,00
SIMATIC Mobile Panel 277 IWLAN	1	\$ 5.989,00	\$ 5.989,00
Charging Station for Mobile Panel	1	\$ 377,00	\$ 377,00
Main Battery 7.2V for Mobile Panel	1	\$ 251,00	\$ 251,00
Sitop Modular Power Supply 24VDC/5A	2	\$ 169,00	\$ 338,00
SIMATIC STEP 7 Basic V12	1	\$ 438,00	\$ 438,00
SIMATIC WINCC Comfort V12	1	\$ 1.081,00	\$ 1.081,00
IWLAN Antenna NT 795-6MT MIMO	2	\$ 316,00	\$ 632,00
SIMATIC NET IWLAN QMA / N-Connect Male Female Flexible Connection	2	\$ 129,00	\$ 258,00
SIMATIC NET IWLAN N-connect Male Male Flexible connection	6	\$ 42,00	\$ 252,00
IWLAN RCOAX N-Connect/N-Connect Female Female Panel Feddthorough	6	\$ 19,00	\$ 114,00
IWLAN N-Connect R-SMA Male Male Flexible Connection Cable	6	\$ 43,00	\$ 258,00
SIMATIC DP Interface Module 1M151-3PN for ET200S	1	\$ 275,00	\$ 275,00
SIMATIC DP Power Module PM-E ET200S	1	\$ 38,00	\$ 38,00
SIMATIC DP Electron Modules 8DI	2	\$ 47,00	\$ 94,00
SIMATIC DP Electron Modules 8DO Sink Output	3	\$ 55,00	\$ 165,00
SIMATIC DP Terminal Module TM-P15523-A1	1	\$ 9,00	\$ 9,00
SIMATIC DP 5 Universal Terminal Module	2	\$ 55,00	\$ 110,00

⇒ Continúa

ELEMENTO	CAN T	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
SIMATIC NET IE TP Standard cable GP 2X2 RJ45	20	\$ 3,00	\$ 60,00
IE FC RJ45 Plug 180 2x2 Plug Conect	6	\$ 20,00	\$ 120,00
Industrial Ethernet Fast Connect Stripping tool	1	\$ 73,00	\$ 73,00
Pilot Devices Nema 30mm Red Buttons	7	\$ 40,00	\$ 280,00
Pilot Devices Nema 30mm Green Buttons	7	\$ 40,00	\$ 280,00
Electroválvulas 5X3	7	\$ 207,90	\$ 1.455,30
Placa de Alimentación	1	\$ 54,20	\$ 54,20
Pieza de Fijación	7	\$ 12,99	\$ 90,93
Racor Recto Exag Int	20	\$ 4,32	\$ 86,40
Regulador de Presión Proporcional	1	\$ 1.901,18	\$ 1.901,18
Conector Válvula Proporcional	2	\$ 67,21	\$ 134,42
Sensor de Presión 200 PSI	4	\$ 195,71	\$ 782,84
Regulador de Caudal	7	\$ 29,11	\$ 203,77
Tubo Poliuretano 10	40	\$ 2,08	\$ 83,20
Tubo Poliuretano 8	10	\$ 4,50	\$ 45,00
Racor Recto	3	\$ 4,21	\$ 12,63
Silenciador G3/8 Bronce	2	\$ 8,66	\$ 17,32
Sensor Inductivo	21	\$ 43,58	\$ 915,18
Sensor de Nivel TDR	1	\$ 1.300,00	\$ 1.300,00
Conector Angular M12 4PIN	21	\$ 18,06	\$ 379,26
Cable Mando TPE	115	\$ 2,34	\$ 269,10
Sensor Presión 2000 PSI	2	\$ 195,71	\$ 391,42
Sensor Presión 5000 PSI	3	\$ 195,71	\$ 587,13
Pasa Muros 1/4"	14	\$ 7,35	\$ 102,90
Manguera 5000 PSI Parker 3/8" (m)	15	\$ 25,56	\$ 383,40
Conectores Rápidos 3/8" Alta Presión Check M	3	\$ 28,54	\$ 85,62
Gabinete Beaucoup Doble Fondo 60X100X30	2	\$ 302,22	\$ 604,44
Conectores Rápidos 3/8" Alta Presión Check H	3	\$ 28,31	\$ 84,93
Gabinete Beaucoup Doble Fondo 20X20X10	1	\$ 45,36	\$ 45,36
Conectores Electroválvulas	14	\$ 8,93	\$ 125,02
Luces Piloto Verdes LED	10	\$ 12,35	\$ 123,50
Luces Piloto Rojas LED	10	\$ 12,35	\$ 123,50
Luces Piloto Amarillas LED	10	\$ 12,35	\$ 123,50
Borne para Fusible 5x20mm	30	\$ 9,83	\$ 294,90
Borne de carril de paso	200	\$ 1,02	\$ 204,00
Tira Zack 10 Unidades (1 a 10)	14	\$ 0,83	\$ 11,62

⇒ Continúa

ELEMENTO	CAN T	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
Tira Zack 10 Unidades (11 a 20)	14	\$ 0,83	\$ 11,62
Tira Zack 10 Unidades (21 a 30)	14	\$ 0,83	\$ 11,62
Tira Zack 10 Unidades (31 a 40)	10	\$ 0,83	\$ 8,30
Tira Zack 10 Unidades (41 a 50)	10	\$ 0,83	\$ 8,30
Tira Zack 10 Unidades (51 a 60)	8	\$ 0,83	\$ 6,64
Tira Zack 10 Unidades (61 a 70)	8	\$ 0,83	\$ 6,64
Tope Final de Borneras con Marcador	20	\$ 0,65	\$ 13,00
Marcador de Regletas	20	\$ 1,02	\$ 20,40
Din Rail	4	\$ 8,96	\$ 35,84
Wiring Duct	10	\$ 7,89	\$ 78,90
Puentes para borneras 20 Pines	8	\$ 7,06	\$ 56,48
Puentes para borneras 10 Pines	8	\$ 3,46	\$ 27,68
Puentes para borneras 5 Pines	10	\$ 1,55	\$ 15,50
Puentes para borneras 3 Pines	6	\$ 1,02	\$ 6,12
Cable 3x14AWG (Metros)	30	\$ 3,45	\$ 103,50
Cable 8X18AWG Apantallado (Metros)	12	\$ 6,65	\$ 79,80
Cable 3X18AWG Apantallado (Metros)	12	\$ 4,34	\$ 52,08
Placa Acero Inoxidable	1	\$ 110,00	\$ 110,00
Fabricación Soporte de sensores	6	\$ 210,00	\$ 1.260,00
Fabricación placa adherida	6	\$ 45,00	\$ 270,00
Herramientas Varias	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Transporte	1	\$ 180,00	\$ 180,00
		Subtotal	\$ 28.290,39
		IVA (12%)	\$ 3.394,85
		TOTAL	\$ 31.685,24

El costo total de los equipos detallados fue asumido por la empresa PDVSA Ecuador, la cual es la beneficiaria directa de las prestaciones del sistema instalado en el taladro CPV-23.

5.2 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El costo total de implementación del sistema en el taladro CPV-23 de la empresa PDVSA Ecuador fue de \$31685,24, el mismo que fue cubierto en su totalidad por la compañía.

Como se analizó en el capítulo dos, el conjunto impide reventones BOP, constituye un elemento crítico dentro de un taladro de perforación, por lo tanto el control del accionamiento de los rams y preventor que lo conforman, debe brindar facilidad, efectividad, eficiencia y sobretodo seguridad en caso de presentarse un evento de arremetida durante operaciones de perforación.

Una de las causas de un posible evento de descontrol de un pozo en un taladro de perforación es el mal funcionamiento del sistema de control de accionamiento de la unidad BOP, lo cual puede provocar eventos de gran magnitud, como se puede observar en las figuras 5.1 y 5.2, como: grandes pérdidas en activos de la empresa y aún más importante puede ocasionar pérdidas de vidas humanas.



Figura 5.1. Incendio provocado por un reventón de pozo.

Evidentemente el precio de una vida humana es invaluable, pero por otro lado el taladro está conformado por varios equipos de alto valor que en caso de presentarse un evento de esta magnitud se verían completamente afectados y dados a pérdida total. El costo promedio actual de un taladro completamente estructurado (Equipos de Potencia, Equipos de Circulación, Equipos de Izamiento, Equipos de Rotación y Equipos de Seguridad) está alrededor de los 18 millones de dólares, sin tomar en cuenta los costos de transporte e instalación del mismo, por lo que la inversión en la implementación del equipo de control y monitoreo inalámbrico estaría completamente justificada por el hecho que aumenta la seguridad y garantiza el correcto accionamiento de los rams y del preventor de la BOP, así como también permite el monitoreo en tiempo real de las presiones del acumulador de presión, nivel de fluido hidráulico y el estado de las válvulas hidráulicas de cuatro vías.

Para garantizar que la unidad BOP no presente fugas en caso que se presente un evento de descontrol del pozo, se realizan pruebas de presión a toda la unidad de seguridad BOP antes de comenzar con la perforación de la segunda sección del pozo. Es importante que la unidad de registro de presiones esté funcionando correctamente, caso contrario se pierde tiempo en la realización de las pruebas. El registro digital de estas presiones a través del panel remoto inalámbrico permite tener redundancia en el sistema, así como aumenta la precisión en la medida de las presiones de prueba, evitando pérdidas de tiempo innecesarias si el registrador mecánico no

funciona. La posibilidad del accionamiento inalámbrico de los componentes de la BOP, disminuyen considerablemente el tiempo de realización de las pruebas ya que permiten hacer todo el trabajo en el lugar donde se encuentra ubicada la unidad de prueba de presiones.

La mejora en el sistema de alarmas, constituye un factor de esencial importancia en el aumento de la seguridad durante operaciones de perforación en el taladro, ya que permite alertar al personal de la presencia de algún evento indeseado (Incendio, Arremetida, Derrame y Primeros Auxilios), aumentando el tiempo de respuesta en el control del mismo. Por ejemplo, si se da un evento de arremetida en el taladro, el perforador o supervisor de 12 horas simplemente deben presionar el botón de accionamiento de la alarma de arremetida y dedicarse al control del pozo con la ayuda de los paneles remotos de accionamiento de la BOP, a diferencia del sistema anterior en el cual se debía accionar las cornetas según la secuencia de alarma, provocando demoras en el tiempo de cierre del pozo, en donde segundos de reacción pueden causar la diferencia.

El sistema no necesita desconexión de cables, mangueras, o estaciones de control remoto de ningún tipo durante la mudanza, por lo que constituye un ahorro de tiempo considerable en estas labores, permitiendo que el taladro inicie operaciones de perforación en menor tiempo.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema mecatrónico instalado logró reducir en un 70% los componentes mecánicos presentes en el control de accionamiento de la unidad preventora BOP, además de eliminar por completo los tiempos de montaje y desmontaje durante mudanza, ya que la instalación del sistema es fija y no requiere de ningún tipo de desconexión adicional.
- El tiempo de activación promedio del panel remoto neumático antiguo era del alrededor de 30 a 40 segundos, dependiendo de la ubicación del panel. El tiempo de activación promedio del nuevo panel inalámbrico es de alrededor de 5 segundos, por lo cual este tiempo se redujo en aproximadamente 80%.
- La distancia máxima a la que se podía realizar el control de la activación del BOP con el panel neumático antiguo era de 40 metros en línea recta hacia el acumulador. El panel inalámbrico permite realizar el control del pozo, además de alertar al personal de la presencia de un evento a una distancia de 100 metros a la redonda, con la finalidad de precautelar la integridad física de las personas

encargadas de la activación de los rams de la BOP incrementando la seguridad durante estas operaciones.

- La eliminación de mangueras neumáticas de envío de señales de activación hacia el acumulador de presión y la instalación de equipos inalámbricos permite descartar completamente fallas en la activación causadas por fugas en las líneas, además de aumentar considerablemente el tiempo de respuesta.
- El tiempo de la realización de las pruebas de presión a la unidad BOP, se logró disminuir en un 40%, debido a que tanto el accionamiento de los rams como el registro de presiones se lo realiza directamente desde el panel remoto, además de evitar un paro en las pruebas causado por fallas en el registrador circular de presiones. La precisión de la medida de presión aumenta considerablemente ya que la apreciación de la lectura es de 1 PSI, a diferencia del manómetro de 20000 PSI de escala que tiene una apreciación de 200 PSI.
- Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento a todo el equipo y transcurridos 4 meses de operación, además de haber pasado la inspección realizada por técnicos de la operadora Río Napo, se aprobó la instalación de este sistema en el taladro CPV-16 de PDVSA, la misma que se realizará próximamente.

6.2 RECOMENDACIONES

- Una vez dictado el curso de capacitación al personal que está involucrado directamente en las operaciones de control del pozo, se recomienda seguir todas las instrucciones recibidas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- En el caso de tener alguna duda o de necesitar información adicional acerca de la operación del equipo remitirse al manual de usuario adjunto.
- Para garantizar un óptimo funcionamiento del sistema se debe seguir las instrucciones especificadas en la guía de mantenimiento adjunta en el manual de usuario.
- Dejar la línea de vista de las antenas de comunicación en lo posible sin obstáculos para no reducir el alcance en la comunicación.
- Durante actividades de limpieza del acumulador de presión y de la casa del perro, evitar dirigir chorros de alta presión de agua hacia los sensores inductivos, sensor de nivel, antenas de comunicación, luces piloto, pulsadores y gabinetes.
- Durante actividades de pintura del acumulador de presión evitar pintar los equipos electrónicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. (2005). Manual de equipo de control de pozo. Colombia.
- API, A. (3 de Marzo de 1997). API Standard RP 53. Recommended Practices for Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells.
- Azima. (2012). Vibration analysis reference.
- BEAUCOUP. (21 de Agosto de 2012). Catálogo de productos.
- CAMERON, C. (2002). Replacement Parts Catalog TC 1001.
- Carl T. Ulrich, S. D. (2008). *Product design and developments* (5ta Ed. ed.). McGraw-Hill.
- Chainflex. (s.f.). TPE Control cable CF9.
- COPCO, A. (2011). Manual de aire comprimido . Bélgica.
- ENGINEERING TOOL BOX*. (s.f.). Obtenido de http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html
- Ferrandiz, M. (2005). *Diseño ergonómico de una sala de control industrial. Memoria del proyectofinal de carrera. Universidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxiu/migrats/40473-1.pdf>
- FESTO. (Febrero de 2009). Solenoid Valves CPE, Compact Performance.
- FESTO. (s.f.). Proportional Valves, Proportional Pressure Regulators, G1/8 to G1/2.
- Hydrill. (2009). Blowout Preventers Catalog M-9402 D. Houston, Texas.
- Mazzone, V. (Marzo de 2002). Controladores PID. Quilmes, Argentina.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Pearson Education.
- Murchinson, W. J. (1994). *Well control for the man on the rig*. Albuquerque.

- NOSHOK, T. I. (s.f.). Electronic Measurement Solutions.
- Parker. (Enero de 2002). Manual de racordaje neumático, Catálogo 0093-ES.
- Pere Ponsa, A. (s.f.). DISEÑO DE PANTALLA, Universidad Politécnica de Catalunya. Catalunya, España.
- Rodil Jiménez, I., & Pardo de Vega, C. (s.f.). Operaciones auxiliares con tecnologías de la información y la comunicación.
- SICK. (Febrero de 2007). Inductive sensor, IME series, IME12, DC3-wire Standard series, Flush.
- SICK. (22 de Noviembre de 2013). Level sensors, TDR level sensor.
- SICK. (27 de Agosto de 2013). Pressure sensors, Pressure transmitter.
- SIEMENS. (Abril de 2007). Periferia descentralizada ET200S, Módulo de potencia PM-E DC24..48V/AC24..230V.
- SIEMENS. (Abril de 2008). HMI device, Mobile Panel 277 IWLAN Operating instructions.
- SIEMENS. (Octubre de 2009). Periferia descentralizada ET200S, Módulo electrónico digital 8DO DC24V,5A HF.
- SIEMENS. (Octubre de 2009). S7 1200 Easy Book.
- SIEMENS. (Agosto de 2010). Periferia descentralizada ET200S, Módulo interfaz IM151-3 PN.
- SIEMENS. (Abril de 2011). WinCC V12, Léame WinCC Manual de Sistema.
- SIEMENS. (Noviembre de 2012). Industrial Wireless LAN, SCALANCE W700 Web Based Management.
- SIEMENS. (Mayo de 2012). S7 Controlador programables s7-1200.

SIEMENS. (Diciembre de 2012). TIA Portal Step 7 Basic V12.

SIEMENS. (Mayo de 2013). Basics of Setting up an Industrial Wireless LAN.

SIEMENS. (Junio de 2013). Periferia descentralizada ET200S, Módulo electrónico digital 8DI DC24V.

SIEMENS. (s.f.). *Siemens Global Website*. Obtenido de www.siemens.com

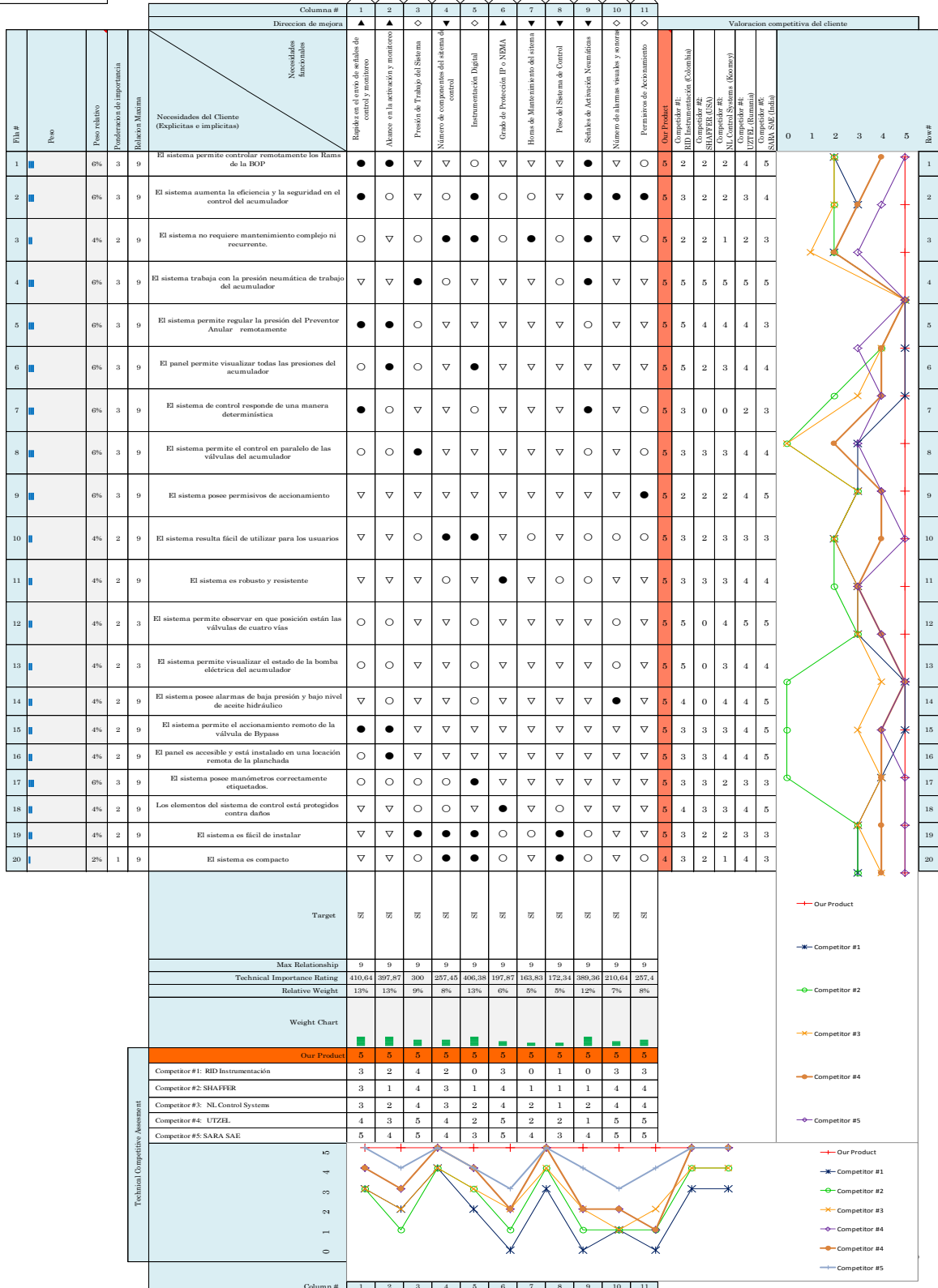
SIEMENS, S. (Abril de 2009). SIMATIC S7-1200 microcontrolador para Totally Integrated Automation. Catálogo ST 70 N.

Surcable. (s.f.). Cables apantallados de uso industrial.

ANEXOS

ANEXO 2. MATRIZ QFD.

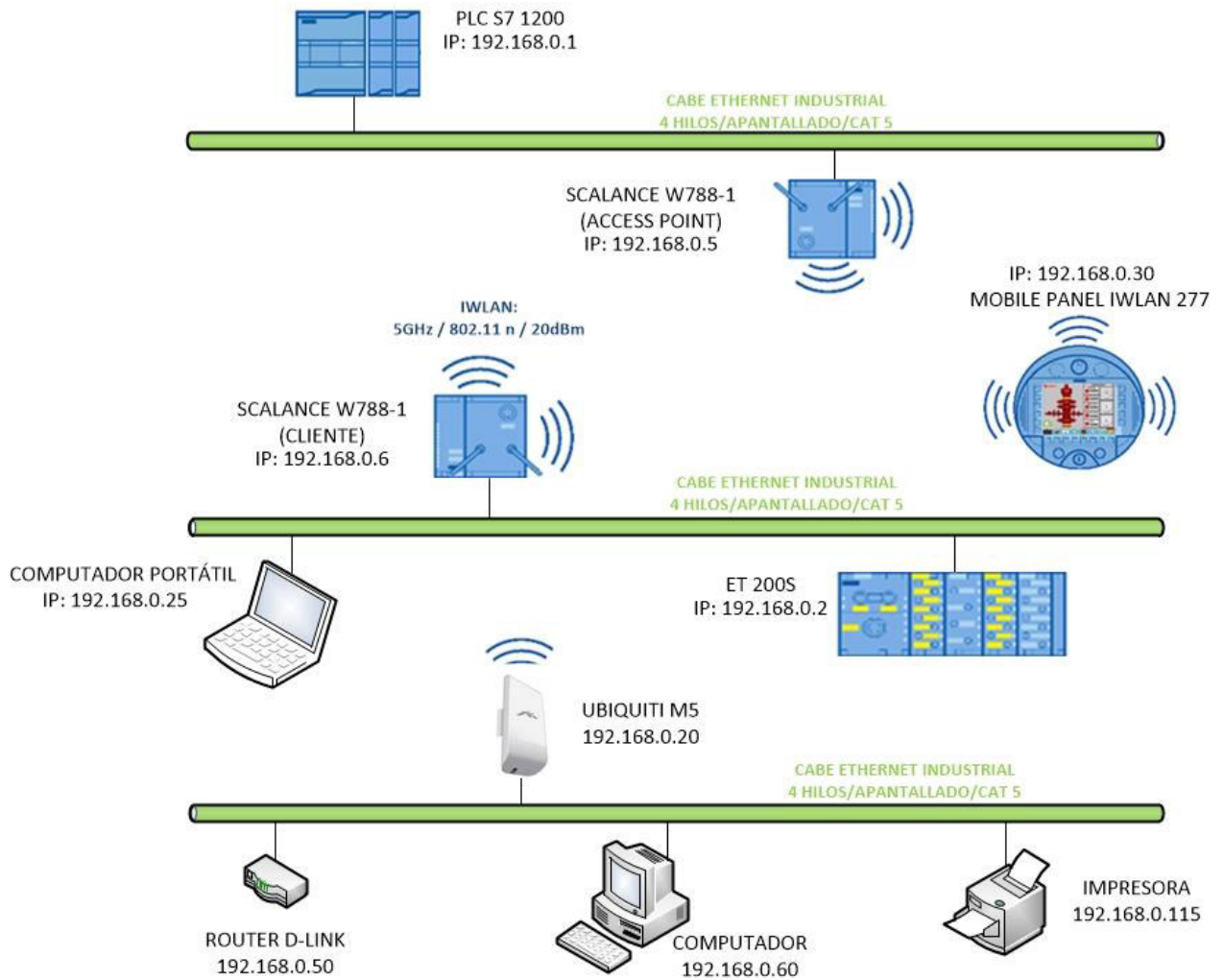
Correlaciones	
Positiva	+
Negativa	-
Sin correlacion	
Relaciones	
Fuerte	●
Moderada	○
Debil	▽
Direccion de Mejora	
Maximizar	▲
Enfocar	◇
Minimizar	▼



ANEXO 3. ÍNDICES DE EVALUACIÓN DEL HMI

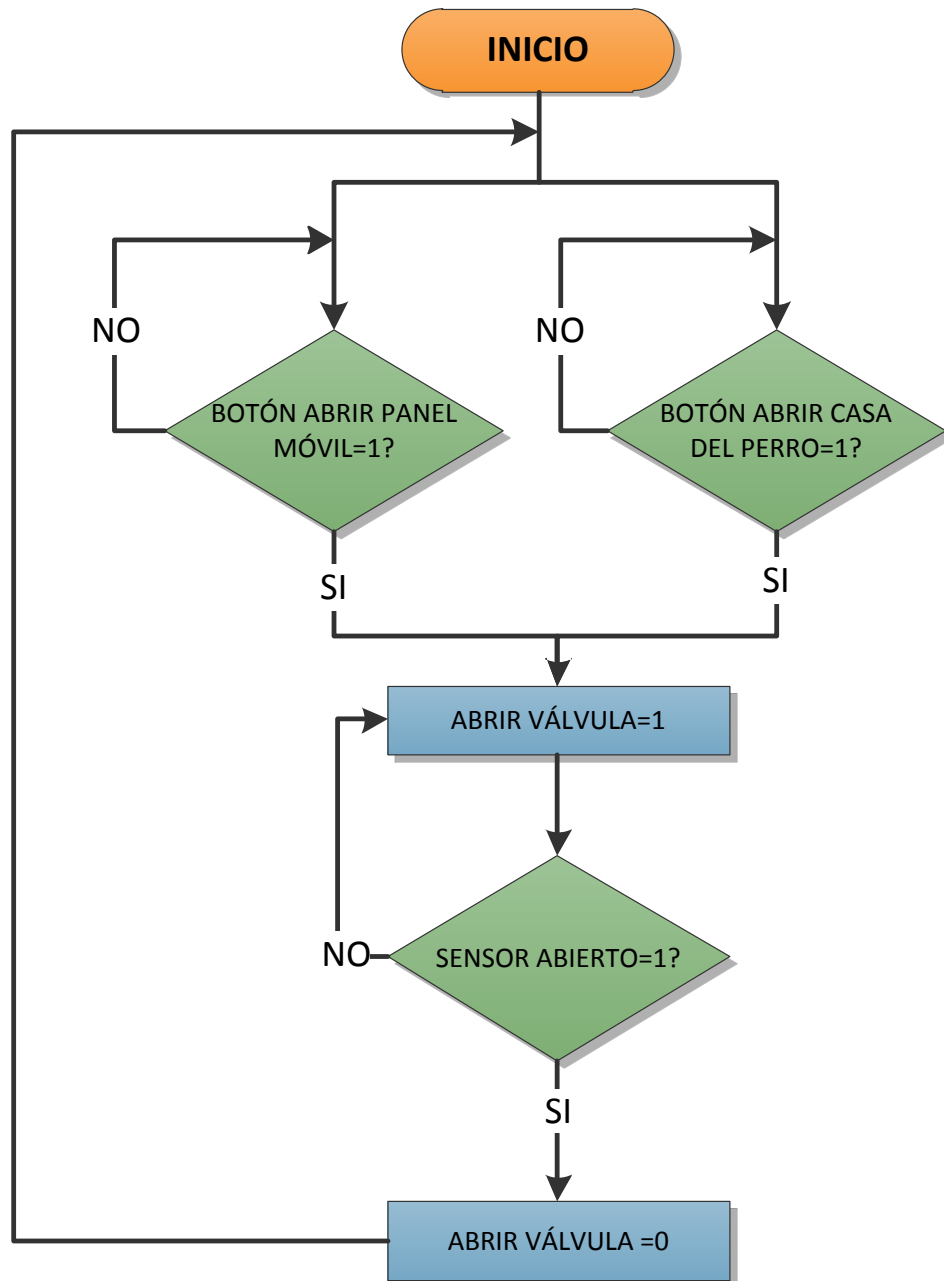
ELEMENTO	EVALUACIÓN	COMENTARIOS
1.- ARQUITECTURA		
1.1.- Correspondencia con la planta		
1.2.- Número de pantallas		
2.- DISTRIBUCIÓN		
2.1.- Densidad de objetos		
2.2.- Simetría y Balance de objetos		
2.3.- Ubicación de objetos		
3.- NAVEGACIÓN		
3.1.- Accesibilidad		
3.2.- Orden		
3.3.- Manejo y selección		
4.- USO DE COLOR		
4.1.- Visibilidad		
4.2.- Contraste de objetos		
4.3.- Número de colores		
4.4.- Diferenciable de colores		
5.- INFORMACIÓN TEXTUAL		
5.1.- Fuente utilizada		
5.2.- Tamaño de los textos		
5.3.- Color de los textos		
5.4.- Espaciamiento del texto		
5.5.- Alineación de los textos		
5.6.- Uso de énfasis en los textos		
6.- SÍMBOLOS Y REPRESENTACIÓN DE EQUIPOS		
6.1.- Facilidad de reconocimiento		
6.2.- Visibilidad del estado del equipo		
6.3.- Claridad en el significado del símbolo		
7.- VALORES ANÁLOGOS DEL PROCESO		
7.1.- Visibilidad		
7.2.- Ubicación		
7.4.- Representación gráfica		
8.- TABLAS Y GRUPOS DE TENDENCIAS		
8.1.- Formato		
8.2.- Visibilidad		
9.- COMANDOS E INGRESO DE DATOS		
9.1.- Visibilidad		
9.2.- Maniobrabilidad		
9.4.- Seguridad de accionamiento		
10.- ALARMAS		
10.1.- Accesibilidad a la ventana de eventos		
10.2.- Información de los textos de alarma		
10.3.- Facilidad de reconocimiento		
TOTAL		

ANEXO 4. PLANOS DE COMUNICACIÓN

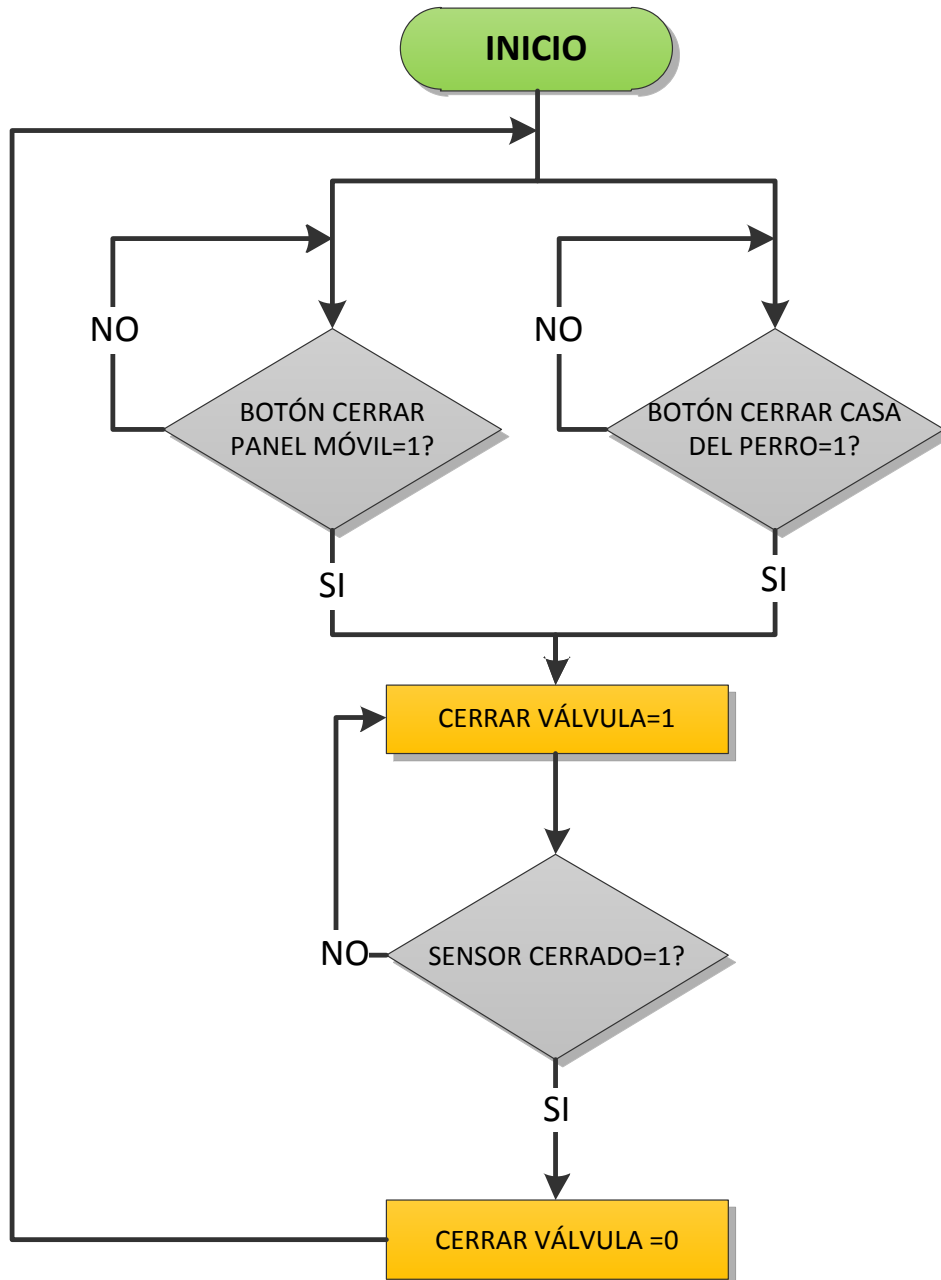


ANEXO 5. DIAGRAMAS DE FLUJO

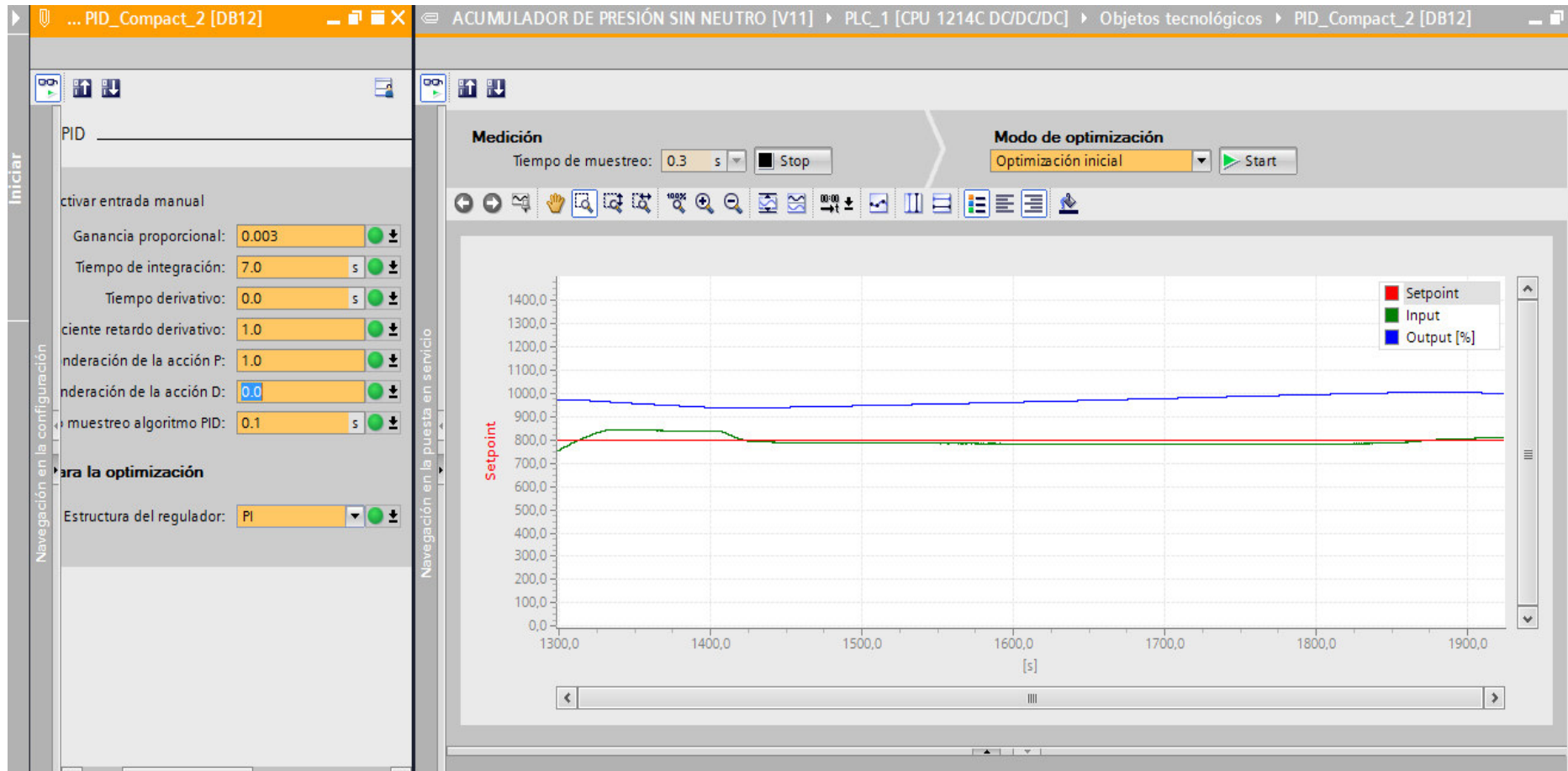
APERTURA DE VÁLVULAS



CIERRE DE VÁLVULAS



ANEXO 6. SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR PI ON-LINE



ANEXO 7. PLANOS ELÉCTRICOS

ANEXO 8. PLANOS MECÁNICOS

ANEXO 9. MANUAL DE USUARIO